

ZIRNSTEIN, Dr. rer. nat. GOTTFRIED

(Der von niemandem begutachtete Text wird noch weiter durchgesehen)

Naturforscher für und wider die Sintflut, das Inlandeis und die Kontinentalverschiebung

- Wie das Werden der Erdoberfläche aufgeklärt wurde

Zur Geschichte von Geologie, Paläontologie und Geomorphologie

”Es ist ein erhabenes, wundervolles Schauspiel, wenn ich nun über die Felder reite, da mir die Entstehung und Bildung der Oberfläche unsrer Erde und die Nahrung, welche Menschen draus ziehen, zu gleicher Zeit deutlich und anschaulich wird; erlaube, wenn ich zurückkomme, daß ich dich nach meiner Art auf den Gipfel des Felsens führe und dir die Reiche der Welt und ihre Herrlichkeit zeige”.

GOETHE aus Meiningen an CHARLOTTE von STEIN am 12. April 1782

”Die Geologie steht hinsichtlich der Größe und Erhabenheit der von ihr behandelten Gegenstände in der Reihe der Wissenschaften unstreitig der Astronomie am nächsten”.

J. F. W. HERSCHEL in ”Über das Studium der Naturwissenschaft”

Vorbemerkung in eigener Sache: Nirgendwo wird der Anspruch erhoben, bis zur heute geltenden Lehrmeinung und zu neuesten Forschungsergebnissen vorzustoßen. Es geht um Geschichte. Die Geschichte der Entdeckung der Phänomene, die Entdeckung der Probleme und eine Vorstellung der seinerzeitigen, heute teilweise aufgegebenen Lösungen.

Inhalt

1. Einleitung. Wege zur Erkenntnis in der Geologie
2. Erste wissenschaftliche Bekanntschaft mit der Erdkruste
3. Erdgeschichte im Banne der Sintflut - Physikotheologie
4. Die Schaffung der Grundlagen der neueren Geologie - Die ”Systeme”
5. Auf dem Wege zur Periodisierung der Erdzeitalter
6. Grundauffassungen Katastrophismus - Aktualismus und die moderne Gliederung der Erdzeitalter, die ’Formations’-/’System’-Tabelle

7. Institutionen, Kommunikation, Feldforschung, Allgemeinbildung
8. Die Faktoren der Erdkrustenentwicklung, bis Mitte 19. Jh.
9. Die Organismenwelt der Vergangenheit, Auffassungen bis etwa 1860
10. Vorstellungen zur allgemeinen Erdentwicklung vor und neben DARWIN
11. Die Entdeckung der Eiszeiten - junge und ältere
12. Die Herausbildung der Landschaften - Geomorphologie
13. Die Gesteine, auch die Lagerstätten
14. Böden - Auflage auf der Erdrinde. - Alte Landoberflächen
15. Fossile Organismen - Erforschung nach 1860
16. Zeitmaße der Erdgeschichte
17. Das Bild von der Erdgeschichte ab etwa 1860
18. Zusammenschau, Details, Zusammenhänge - bis etwa 1950
19. Kontinentalverschiebung und Plattentektonik
20. Der Geologe muß auch in den Kosmos blicken

Literatur

Personenverzeichnis

1. Einleitung, Wege zur Erkenntnis in der Geologie

Die Erdoberfläche mit ihrer Atmosphäre und den Meeren, mit den Bergen und Tälern, mit Wüsten, Ebenen und eisbedeckten Flächen ist neben der Gesellschaft der wichtigste Hintergrund im Leben der Menschen. Aus den Tiefen der Erde holen die Menschen die Bodenschätze. Was Wunder, daß die Entstehung dieser Erdoberfläche schon seit langem zum Nachdenken anregte und mit dem Aufkommen der Naturwissenschaften der Neuzeit bis ins einzelne erforscht wurde. Dabei mußte begriffen werden, **aus beobachtbaren heutigen Veränderungen auf der Erdoberfläche und Zeugen aus vergangenen Zeiten** das Werden, "einen in der Zeit verlaufenden Prozeß zu beobachten" (S. VON BUBNOFF 1954, S. 3), und nicht auf legendäre, sagenhafte Berichte sogenannter Heiliger Bücher zu vertrauen.

In der im 20. und 21. Jh. bestehenden Erkenntnis von der möglichen **Gesamtentwicklung des Weltganzen** von einem 'Urknall' aus, ist die Entwicklung, sind die **Umbildungen der Erdkruste** nur ein **kleiner Ausschnitt**, aber sie wurden von allem **Entwicklungsgeschehen in der Natur** zuerst erfaßt und waren am deutlichsten als Entwicklung, letztlich irreversible Umbildung in der Zeit, auszumachen. Ihr stark eingegliedert wurde dann die Umbildung der Organismen in der Zeit, **die Evolution der Organismen**, letztlich auch nur ein **kleiner Ausschnitt** im Entwicklungsgeschehen im Weltganzen, mit den sich immer deutlicher herauszeichnenden Umbildungen in der Sternenwelt. **Geschichte der Erdkruste und Evolution der Organismen** blieben von allem Entwicklungsgeschehen wohl aber **am besten dokumentiert und geklärt**, abgesehen von dem kurzen Abschnitt der bisherigen Menschengeschichte. **Evolution der Organismen** beruht auf einer **ganz anderen Grundlage** als die der anorganischen Welt, beruht auf den **Veränderungen der Vererbungssubstanz**, der DNA, und der Selektion der Abänderungen. Was sich **in der anorganischen Welt** herausbildet, an Gesteinen, an Landschaftsformen, an Böden, wird bestimmt von den vorhandenen Substanzen und diese wieder sind abhängig von den Parametern wie Druck und Temperatur, aber es gibt **nicht** eine schon in der Organismenwelt zweifelhafte Höherentwicklung und keine 'Anpassung' an irgendetwas, sondern nur Zwang aus den Umständen, etwa gehemmtes Kristallwachstum durch Nachbarkristalle.

Von den die Erdoberfläche bestimmenden "Sphären" ist es dabei allein die Gesteinssphäre, **die Lithosphäre**, ob Festland oder Meeresboden, die trotz auch Veränderungen und Bewegungen eine **so dauerhafte Struktur** aufweist, daß sie vergangene Ereignisse **über Jahrmillionen festhalten** konnte. Wie die biologische Forschung bestimmte Versuchsorganismen bevorzugt, sind auch für die Geologie **bestimmte Lokalitäten von ausschlaggebender Bedeutung gewesen**.

Es ist dabei der **Wechsel der Gesteine**, der die **Vorgänge bei der Erdkrustenbildung ablesen** läßt. Die aus Abtragungsmaterial oder chemischer Ausfällung gelösten Materials gebildeten Sedimentgesteine bilden selten einheitliche Komplexe. Die Gliederung der **Sedimente in Schichten, 'straten'**, samt ihrem Wechsel an Resten von Lebewesen lassen die Veränderungen in der Erdgeschichte deutlich werden. Unterliegende, eingeschaltete oder aufliegende Eruptivgesteine, so Granit, Porphyr, Basalt, liefern Weiteres über das erdgeschichtliche Geschehen, auch solches in größerer Tiefe.

Von dem, was die Geomorphologen **'Formgrößen'** nennen, **erhalten** diese **sich sehr unterschiedlich lange** (F. AHNERT 1996, S. 14/15). .Eindrücke von Regentropfen erhalten sich oft nur Sekunden, manchmal länger, und manchmal wurden sie in Sedimenten sogar über die Jahrmillionen bewahrt. Viel länger halten sich

Täler und Einzelberge, sehr lange Kontinentalschilde. Fließgewässer halten sich meistens länger als Binnenseen. Wie der Geograph JULIUS BÜDEL (1961, S. 313) bemerkte: "Wir kennen Sedimentgesteine, die eine Milliarde Jahre und Plutone, die noch mehr als doppelt so alt sind. Aus ihnen haben Geologie und Paläontologie das stolze Gebäude der Erdgeschichte errichtet." Die Altersgrenzen haben sich längst nach unten verschoben. Für jüngere Perioden sind auch **Landschaftsformen**, sind geomorphologische Befunde als **Zeugnisse der Vergangenheit** noch sichtbar. Das gilt auch für die allerdings nicht unumstrittenen Piedmonttreppen des Tertiär und auf jeden Fall für die Glazialzeiten. Vieles was die Gesteine auch abgesenkt in die Tiefe bewahrten ist 'Geomorphologie': Riffe, Vulkanreste, Vulkananschlote, Küstenbereiche, Dünen, Gewässer, Uralt-Moränen Mit der Einführung der Geographie in das Universitätsstudium traten neben den Geologen zunehmend auch Geographen, geologisch gebildete Amateure, in den Kreis der Erdgeschichtsforscher. Aus den Gesteinen, den geronnenen Zeugnissen der Erdgeschichte, kann jedoch nicht nur die Geschichte der Gesteinsbildungen, sondern auch von großen Teilen der **Hydrosphäre** abgelesen werden und Gesteine und ihre Fossilieneinschlüsse bewahrten auch für die Geschichte der **Erdatmosphäre** nutzbare Zeugnisse (M. SCHIDLOWSKI et al. 1973). Selten ist auch **vorzeitliches Wasser oder sind vorzeitliche Gase**, etwa atmosphärische **Luft, eingeschlossen in Gestein direkt** erhalten geblieben. Für Lufteinschlüsse trifft das zu auf die auch als Gestein anzusehenden polaren Eismassen. Gesteine sind auch die **Schlamm-massen** im Grund von Gewässern. Und ist das **Eis**, aus dem man bisher vor allem auf Grönland **Eisbohrkerne** herauschnitt, die man in entsprechend gekühlten Räumen als Eisbohrkern-Archiv aufbewahren kann. Hier wie bei Ablagerungen in Gewässern gibt es **Jahresringe** und läßt sich so das Geschehen vom einzelnen Jahr zum nächsten verfolgen. Im Eis Grönlands hat sich Jahr für Jahr erhalten, was aus der Atmosphäre niederschlug, etwa auch von Vulkanausbrüchen, deren Asche auch aus größerer Entfernung bis Grönland davongetragen wurde. **Jahresringe**, wie sie auch **Bäume** ausbilden und die bei alten Bäumen in entfernte historische Zeiten zurückreichen. Die ununterbrochene Fossilabfolge zeugt davon, daß die Atmosphäre immer so zusammengesetzt war, daß die kleine Kugel 'Erde' gegenüber dem kalten Weltraum die Wärmestrahlung von der Sonne und Wärme überhaupt so bewahren konnte, daß die mit dem Leben nicht vereinbaren **Unter- und Obergrenzen der Temperatur nie überschritten** wurden (A. P. COLEMAN 1926, S. XX), Zu diskutieren wäre, ob die **Erdkruste** eine sonst bei Himmelskörpern einschließlich der Planeten nicht vorhandene, **sehr eigenständige Entwicklung** erlebte, bestimmt von der Plattentektonik.

Wie in anderen Wissenschaften und namentlich den auf individuelle Objekte ausgerichteten Naturwissenschaften ist **Ordnung nötig**, um die Dinge, um die Welt zu erfassen, benötigt man Unterscheidung, **Klassifikation** und möglichst einheit-

liche Benennung der klassifizierten Objekte, **Nomenklatur**. Keine Klassifikation kann aber alles abdecken. Alle **Generalisationen** sind auch 'gefährlich' (R. C. SELLEY et al. 2005, S. 452), **haben Tücken**. Oft gilt es, über **die Schranken der Klassifikation hinauszusehen**. Ist etwa Vulkanasche auch ein Sediment oder nur als Vulkanit zu werten? Wohin einordnen? Auch eine Trennung in der Geologie in **historische und kausale Geologie**, wie es R. LAUDAN (zit. b. C. SMITH 1989, S. 51) vorschlug, hat ihre Tücken, denn ohne Kenntnis etwa der Ursachen von Sedimentation oder der Bildung von Plutoniten läßt sich die rein historisch-erdgeschichtliche Seite nur unzureichend erfassen.

Einen durchaus interessanten Gedankengang kann man nach einer Diskussion von 1967 von SCHLEGEL bei OTFRIED WAGENBRETH (1968, S. 83) nachlesen. In der Erdgeschichte gab es einerseits Unterschiede hervorbringende Vorgänge, **Differenzierungsvorgänge**. Das waren alle Arten von Gesteinsbildung, von tektonischen Lagerungsstörungen, Metamorphose, Art-Bildung. Diesen Vorgängen standen **Homogenisierungsvorgänge** gegenüber: Erosion, Regeneration konsolidierter Gebiete, Palingenesis, Teil der Metamorphose, Aussterben von Arten. Die **Homogenisierung löschte**, was die Differenzierung hervorgebracht hatte. Vollständige Homogenisierung bedeutete völlige Löschung des Vergangenen. "Die geologisch-erdgeschichtliche Forschung ist nur deshalb möglich, weil der Grad der Homogenisierung den der Differenzierung oft nicht erreicht", also etwa abgetragene Gebirge noch erkennbar sind. Die Erdgeschichte kann ermittelt werden, "wo die Homogenisierung schwächer als die Differenzierung ist." Vielleicht etwas einfacher hatte J. WALTHER (1891, S. 554) geschrieben: "Das Endziel aller Denudation auf der Erde, die durch Dislocationen oder vulkanische Thätigkeit erzeugten Höhenunterschiede auf der Erdoberfläche einzuebnen ..."

Man kann aber wohl auch fragen: Wenn alles immer gleich ist, keine neuen Phänomene in der Zeit auftreten, ist das Geschichte, faßbare Geschichte, oder - nur 'Zeitverlauf'?

Gewiß wurden immer wieder neue Steinbrüche, in die Erde eingeschnittene Verkehrsstrassen erschlossen, wurden die Länder systematisch kartiert und ferne Territorien wenigstens in Überblicken erkundet. Es gab also immer neue Fakten, gab zunehmend Möglichkeiten zu Vergleichen. Andererseits **blieben die "Felsen"**, etwa rings um die schottische Hauptstadt Edinburgh, wie sie waren und es **änderte sich ihre Interpretation**. Die Erfassung der Geschichte der Erde ist also verknüpft mit jener intellektuelle Geschichte von zunehmenden Fakten und neuartigen Ideen, mit denen die Geschichte der Erde versucht wurde aufzuklären.

Führende Geologen bis weit ins 20. Jh. haben sich oft mit vielen Sujets zur Erd- und Lebensgeschichte befaßt und mancher Name müßte in den verschiedensten Kapi-

teln erscheinen. Nur in Zusammenschau konnten auch die grundlegenden Linien gefaßt werden, etwa der Uniformitarismus/Aktualismus und sein hauptsächlich Begründer, LYELL, war ein weit informierter Gelehrter. Was mit dem Namen mancher enger verknüpft ist, bildet bei etlichen nur einen Teilaspekt ihres Lebens und Lebenswerkes. Gerade das 20. Jh. hat gezeigt, daß **die Geologie mit Theorien nicht so abgeschlossen** war, wie es um 1900, also etwa vor der allgemeinen Kenntnisnahme der Radioaktivität, erschien. Die Ideen von NIEUWENKAMP über den Kreislauf aller gesteinsbildenden Materie, die Plattentektonik, und weiteres über einst anderes Klima haben immer wieder neue Diskussionen veranlaßt.

Immer wieder und seit Anfang zeigt sich, daß der Weg zu Erkenntnissen über die Erdgeschichte ein Wechselspiel von **unvollständiger Faktenkenntnis, Hypothesenbildung** und durch **Hypothesen-Überprüfung zu neuer Faktenkenntnis und neuen Hypothesen oder Theorien** war. Also **Wechsel** oder Zusammenwirken **von Induktion und Deduktion**. Auch die Sintflut-Auffassung entsprang wohl Überflutungserfahrungen. Dann wurde ausgerüstet mit dieser auch als Hypothese zu betrachtenden Auffassung in der Natur nach Sintflutzeugnissen gefahndet und diese in den Fossilien und schrägen Gesteinsschichten vermeintlich auch gefunden. Aber es gab auch Widersprüche. So gibt es die Schichtgebundenheit der meisten Fossilien. So kam man zu neuen Hypothesen. Etwa die von mehreren Katastrophen, der fortdauernden Abkühlung der Erde, zur Nichtexistenz von Katastrophen und vielem anderen. Schon im 17. war auch von in China wirkenden Pateres vermerkt worden, daß es **in den chinesischen Annalen keine Sintflut** gab (W. REINHARD 1983, S. 199). Das also trotz der häufigen Überschwemmungen der großen Ströme, aber auch die Grenzen der Überflutungen wurden natürlich erkannt. Und ewige Sündhaftigkeit - Fehlanzeige! Das Fehlen der weltumfassenden Sintflut in der chinesischen Geschichtsschreibung kam französischen Aufklärern gerade recht.

Um in **historischen Wissenschaften zu "Gesetzen"** zu gelangen, muß auf sich **wiederkehrende ähnliche oder gar gleiche Ereignisse** geachtet werden. Wiederholungen sind da kaum Zufall. So wurden etwa von MARX und auch anderen Historikern Revolutionen in der Menschengeschichte miteinander verglichen und wiederkehrende Züge herausgelesen. Etwa die Vorgeschichte solcher Revolutionen ob 1789 oder 1830 und 1848, die Auseinandersetzungen unter den revolutionären Oppositionellen und der Verfall der Errungenschaften der Revolution. In der **Erdgeschichtsforschung** hat etwa DEECKE (1916) die **Meerestransgressionen** verschiedener Zeitalter **verglichen**. Er fand Wiederkehrendes und Unterscheidendes und beides führte zu Einsichten. Andere, STILLE etwa, verglichen die Gebirgsbildungen/Orogenesen verschiedener Zeitalter.

Es gibt kaum etwas in der Geologie, das nicht auch bezweifelt, ja anders gesehen worden ist!

Klima, Klimatypen - wichtig auch in der Geologie

Die Geologie befaßt sich mit der Geschichte, mit den Veränderungen der festen Erdkruste und mit der Hydrosphäre, also namentlich den Meeren. Die Atmosphäre spielt weniger hinein. Aber das Klima hat stets viele Vorgänge auf der Erdkruste stark beeinflußt und Kenntnisse über das **Klima** sind für den Geologen unabdingbar, auch wenn das Klima eigene Fachvertreter hat und mehr zur Geographie gehört. Klima-Klassifikationen wurden immer wieder versucht. PENCK unterschied 1910 (so zit. b. A. MAYER 1926, S. 213) 3 Typengruppen: **Humide, Aride, Nivale** Klimate. In den **humiden** Klimaten überwiegen die Niederschläge die Verdunstung, es gibt also Grundwasser-Ansammlung und Abfluß durch Flüsse. In den **ariden** Klimaten sind die Niederschläge geringer als die Verdunstung. Im semiariden Typ gibt es temporäre Flüsse und gibt es Oberflächenkrusten. Auch Nebel können von außen eindringen. Beim vollariden Typ fehlen die Krusten. Höhere Pflanzen können nur in Zeiten nach kurzen Niederschlägen erscheinen. Wüsten können winterkalt sein oder nicht. **Flüsse aus humiden Regionen können in aride Gebiete fließen** und dort mächtig wirken, so der aus dem Inneren Afrika kommende Nil, der die ägyptische Kultur ermöglichte, Ägypten war eben nicht wie das Innere der austrocknenden Sahara. Im **nivalen Klima** gibt es beim vollnivalem Typ nur schneeige Niederschläge und werden diese durch Gletscher abgeführt. Im seminivalem Typ gibt es Schnee und Regen.

2. Erste wissenschaftliche Bekanntschaft mit der Erdkruste

Bergbau von der Frühzeit bis in das 17. Jahrhundert

Mit der Nutzung von Mineralien, von Erzen, Steinen und anderen Bodenschätzen wurde der Blick für die Verschiedenheit der Erdkruste geweckt und wurde in Gruben auch ein Stück in das Erdinnere eingedrungen. Die alten Ägypter holten **Gold** aus Nubien. **Kupfer** war das erste durch einen metallurgischen Prozeß aus Erzen gewonnene Metall, so im anatolischen Hochland, angesetzt im 6. vorchristlichen

Jahrhundert. Um 1300 v. Chr. gab es das Kupferbergwerk Mitterberg im Salzburger Land. Im Neolithikum gab es in Mitteleuropa und im nordwestlichen Europa einigen **Bergbau auf Feuerstein**. In der antiken griechischen Kultur war **Blei** ein früh benutztes Metall für Schmuck und kam in den Bleierzen oft mit Silber vor. Das Blei vom Silber zu trennen wurde offenbar so früh oder noch früher bekannt als das Schmelzen von Kupfer (N. H. GALE et al. 1981). Silber - oder auch goldreiches Blei wurde in der Ägäis an manchen Stellen gefunden, viel auf der Insel Siphnos und in den vielleicht berühmtesten griechisch - antiken Bergwerken, denen von Laurion südöstlich von Athen. Die Römer hatten viele Eisenbergwerke und Steinbrüche, etwa am Siebengebirge am Rhein. In Rom kommen 7 der 8 Frontsäulen des zur Zeit von Kaiser HADRIAN 115 neu erbautem Pantheon aus einem Steinbruch ziemlich abseits vom Nil im östlichen Mittel-Ägypten, vom Mons Claudianus (M. DÖRING 1997). Hier konnten die benötigten Säulen aus Granodiorit gewonnen werden, die nur relativ weit voneinander entfernte Klüfte aufweisen und aus dem daher große ganze Säulen hergestellt werden konnten. Zur Auffindung dieses Steinbruchs müssen Prospektoren im östägyptischen Bergland unterwegs gewesen sein, von deren Suche auch noch zahlreiche Probeschürfe zeugen, also geologische Erkundung im römischen Imperium betrieben. In Mesoamerika wurde etwa in dem um die Zeitenwende blühenden Teotihuacan unweit des heutigen Mexico-City das vulkanische Glas Obsidian gewonnen und bearbeitet. Obsidian wird als der 'Stahl der Steinzeit' bezeichnet, war eben mehr als sogar ein scharfer Feuerstein.

Bergwerke wurden etwa im **mittelalterlichen Europa und in der Renaissance** in großer Zahl angelegt. Bergwerke auf **Eisenerze** gab es weit verbreitet, in allen Mittelgebirgen, an rechtsrheinischen Nebenflüssen im Lahn-Dill - Gebiet ebenso wie im Thüringer Wald und im Erzgebirge. Die Verbreitung des Namens 'Hammer' für Orte oder Gebäude belegt das noch. Man drang nicht sehr tief in die Erde ein, aber dafür gab es mehr Gruben. Einige Bergbauegenden hatten großen Ruf. **Kupfer** gewann man um Hettstedt und im Mansfeldischen.

Besonderen Reichtum versprach das **Silber**. Im 14. Jh. blühte der Bergbau um Kutna Hora (Kuttenberg) östlich von Prag. Vom Kuttenberger Bergbau zeugt neben zahlreichen Grubenfunden das Frontispiece eines in der Kuttenberger Sankt Barbara-Kirche vorhanden gewesenen großformatigen Gesangbuches, das Kuttenberger Kanzoniale, das sich nunmehr in Wien befindet, wo es etwa 1865 gefunden wurde. In Tirol waren Städte wie Hallstatt oder im Mittelalter Hall Bergbauorte. In Hall gab es **Salzbergwerke** im 13. Jh. und die Stadt übertraf mit bis 20 000 Einwohnern zeitweilig sogar Innsbruck. Die Silberstadt Schwaz nördlich von Hall galt zur Zeit von Kaiser MAXIMILIAN als die "Mutter aller Bergwerke". Aus der Stadt stammt aus der Zeit um 1556 die in 7 Exemplaren erhaltene Handschrift des "Schwazer Bergbuch". Auf 1199 wird der Beginn des Bergbaus auf Kupfer im



Abbildung 1: Alte Halden b. Mansfeld.



Abbildung 2: Altbergbau auf Zinnstein. Geyer.



Abbildung 3: AGRICOLA. Glauchau.

Mansfelder Gebiet angesetzt, wo im 14. und 15. Jh. eine Blüte erreicht wurde (H. CLAUS 1926). Im späten 15. Jh. und im 16. Jh. ertönte das 'große Berggeschrey' aus dem **sächsischen Erzgebirge**. Nach Silberfunden um 1168 bei Freiberg und späterem Bergbau etwa um Ehrenfriedersdorf, wurden nunmehr zahlreiche weitere Vorkommen erschlossen und Silber wie auch Zinnerz gewonnen. Im Jahre 1505 erschien pseudonym ein erstes Buch über den Bergbau in deutscher Sprache: "Ein nutzlich bergbuchley. Ein Collation von bergkgeschicke gehalten tzyschen daniel dem bergverstenigen und knappio seine bergjungen" (W. HERRMANN 1953). Den Namen des sich hier "Daniel" nennenden Verfassers enthüllte AGRICOLA als den Freiburger Stadtphysikus ULRICH RÜLEIN von Kalbe. Die Bücher von GEORGIUS AGRICOLA gehören zu den Spitzenwerken der Renaissance, namentlich das mit zahlreichen Holzschnitten ausgestattete Prachtwerk "De re metallica" von 1556. Im Jahre 1557 lieferte PHILIPP BECHIUS eine erste deutsche Übersetzung.

Zur Zeit von AGRICOLA mußten der Abbau vielerorts schon tiefer gelegt werden, da die oberflächennahen Vorkommen erschöpft waren. Die Wasserhaltung wurde zum Problem. Mit 'Erbstollen', die im Gebirge von tiefen Seitentälern aus in den Berg hineingeführt wurden, konnten Entwässerung und Durchlüftung bewirkt werden (W. SALOMON-CALVI 1933 b). AGRICOLA stellt im Holzschnitt dar, welche Maschinen das Wasser bis zur Ableitung in den Erbstollen oder bis übertage heben. Bergstädte, teilweise neu gegründet, wie Annaberg, Marienberg,

Schneeberg, Altenberg blühten im 16. Jh. auf. Für Annaberg und das noch heute durch das Schachtbrettmuster seiner Straßen ausgezeichnete Marienberg entwarf ULRICH RÜLEIN von Kalbe den Plan und zog hier den Pflug für die Umgrenzung. In dem damals reichen Erzgebirge wurden auch durch Kunstschatze ausgezeichnete Kirchen errichtet und Gymnasien gegründet. Der Geist verschwand also nicht hinter der schweren körperlichen Arbeit. Hier im Bergbaugebiet, in Annaberg, wirkte der aus Staffelstein in Franken stammende ADAM RIES, der "Rechenmeister des deutschen Volkes". Wie viele Bergwerke an einer Lokalität wenigstens zeitweilig bestanden zeigt das Gemälde von HANS HESSE an der Rückwand des 1521 gestifteten Bergaltars in der Sankt Annenkirche in Annaberg. Von der Menge an wenigstens kleinen Stollen und Bergwerken in einem Territorium wie Sachsen zeugen die Kapitel in dem umfangreichen Buch "Meißnische Land - und Bergchronik" aus dem Jahre 1589 von PETRUS ALBINUS. Man kann in der Nennung der Bergwerke und Mineralvorkommen bei ALBINUS einen Beginn der geologischen Erfassung eines Territoriums sehen, statt mit Karten noch mit Worten. Mit der Kolonialisierung Amerikas entstanden auch dort Bergzentren, so in Mexico oder im späteren Bolivien. Hier war es der für viele Menschen nicht reiche Berg bei Potosi, er war der 'Schreckensberg', der reiche Silberausbeute brachte und dafür viele Menschenleben forderte. Im mittleren Europa kamen nach einem Abklingen des Bergbaus in Sachsen der Oberharz und das oberungarische Bergbaugebiet mit Schemnitz (Banska Stiavnica) zu weiterer Blüte. Von seinen Erfahrungen im Oberharzer Bergbau stammt das Buch von GEORG ENGELHARD LÖHNEYß "Bericht vom Bergwerk..." von 1617.

Die Schriften über den Bergbau enthalten auch Ansichten über die Mineralien und Gesteine, namentlich über die Erze. Daß **Steine und Erze "wachsen"**, wurde angenommen. Die Bildung der Stalaktiten und Stalagmiten in Kalkhöhlen oder auch die Überzüge von Mineralien in aufgelassenen Bergwerken kamen der Ansicht von den 'wachsenden Erzen' entgegen.

Es war also immer wieder viel aufzuklären, und alles in allem konnte GÜMBEL 1877 (S. 12) zur Entstehung der Geognosie/Geologie richtig sagen, "dass der Bergbau ihr Vater" ist "und dass sie an den Brüsten der praktischen Erfahrung gross gezogen worden sei."

3. Frühe Auffassungen über die Erdgeschichte - Anfänge erdgeschichtlicher Betrachtung im Schatten der Bibel

Befunde und Ideen vor etwa 1669

Hat der Bergbau auch viel zu Überlegungen über die Zusammensetzung und das Werden der Erdkruste beigetragen, so ist die Erdgeschichtsforschung nicht nur aus dem Bergwesen entstanden. Berge und Täler, Felsen und die in ihnen manchmal ganz sichtbar enthaltenen Fossilien boten ebenso Anregung zum Nachdenken.

Manche Gelehrte früherer Zeit sahen in den Fossilien durchaus Reste einstiger Lebewesen und betrachteten marine Fossilien als Zeugen einer einst weiteren Meeresausdehnung, so im alten **Griechenland** XENOPHANES mit Kenntnis von Fossilien auf Malta und Paros (C. CHR. BERINGER 1954). Diese einst weitere Meeresausdehnung, der Wechsel von Meer und Festland, gehört zu den ersten Hypothesen oder Theorien, die zu einem geologischen Erdbild führen. Von dem römischen Dichter OVID wurden, zitiert etwa bei OTTO von GUERICKE 1672 (s.1968, S. 175), die Strophen überliefert

”Mit eignen Augen sah ich dort das Meer sich breiten,

Wo einstmals Festland war, sah Meer verkehrt in Land.

Seemuscheln gibt es fern der Küste, ja es fand

Sich im Gebirg’ ein Anker aus Urväterzeiten.”

In der **Antike** war auch bekannt, beschrieben etwa von dem um die Zeitenwende lebenden STRABO (s. dtsh. 1856, 1, S. 91), daß bei der Insel Thera (heute: Santorin) in der Ägäis nördlich von Kreta im Gefolge eines Vulkanausbruchs eine **neue**, ”aus glühenden Massen bestehende **Insel**” aus dem Meere emporwuchs - Santorin, ein Ort, wohin die Geologen noch manches Mal die Augen richteten. Bekannt waren anderswo Veränderungen im Gefolge von Erdbeben, bei denen Dörfer verschlungen wurden oder aus Sümpfen Seen entstanden und die Meerflut Troja überschwemmte.

In der Renaissance haben LEONARDO DA VINCI, J. KEN(N)TMANN und namentlich auch der Züricher Naturforscher CONRAD GESNER Fossilien gesammelt und beschrieben, GESNER im Buch ”Figurensteine”. GESNER bestieg den 2121 m hohen Berg Pilatus südlich von Luzern und sah hier die Felsen aus ”lauter” zerkrümelten steinernen Seemuscheln zusammengesetzt. Er wunderte sich, daß die

Berge nicht unter ihrer eigenen Last im Erdboden versinken (M. BROCKMANN-JEROSCH et al. 1952). Im 16. Jh hat BERNARD PALISSY sich für fossile Meeresorganismen interessiert und fossile Muschelschalen als solche gedeutet. PALISSY (s. 1957, A. LA ROCQUE) wurde geboren eventuell 1510 oder in einem Jahre um diese Zeit in einem Dorfe der Diözese Agen, wohnte aber seit früher Kindheit in Saintes, wo ihm im 19. Jh. Standbild errichtet wurde. Er begann die Anfertigung von farbigen Glasfenstern zu erlernen, kam aber später, wieder in Saintes, zur Keramik, über die er dann schrieb. Er wurde Hugenotte und war zunächst nur wegen höchster Patronage selbst von Seiten der Königsmutter KATHARINA VON MEDICI, die ihn auch in Paris arbeiten ließ, vor dem Tode bewahrt. Im Jahre 1590 starb er in der Bastille de Bussy. PALISSY schrieb auch über die Ablagerung von Sedimentschichten. Im frühen 18. Jahrhundert schrieb der deutsche Übersetzer von REAUMURS (dtsh. s. 1751, S. 236) Arbeit über die fossilen Muschelbänke in der Touraine in Mittelfrankreich über PALISSY: "Ein Töpfer, der weder Griechisch noch Latein wußte, war der erste gegen das Ende des 16ten Jahrhunderts, der in Paris, und allen Doctoren ins Gesicht zu sagen wagete, die ausgegrabenen Muscheln wären wahre Muscheln, welche das Meer an den Orten, wo man sie nun finde, ehemals niedergeleget."

GUERICKE berichtet (s. 1968, S. 175) in dem Buche "Neue Magdeburger Versuche" von 1672 auch über Fossilfunde, in deren Beachtung er sich auch um eine allgemeine naturwissenschaftliche Weltbedeutung bemüht. Namentlich erwähnte er ein bei Quedlinburg auf dem Seweckenberg gefundenes "Gerippe eines Einhorns", das der "hochwürdigsten Fürstäbtissin" übergeben wurde. Die spätere lächerliche Rekonstruktion zeigt die Problematik, aus einzelnen Knochenresten ein lebensmögliches Tier zu rekonstruieren.

Das **Innere der Erde** dachte man, so in der Antike wegen der Vulkane mit ihrem heißen, feurigen Magma als Ort von Glut, wo Hephaistos oder Pluto wirkten und wo die Unterwelt war. Von Höllen - und Fegefeuer ist die Rede in der christlichen Theologie. Der Jesuit ATHANASIUS KIRCHER bildete das Erdinnere feurig ab.

Auch bei OTTO von GUERICKE (s. 1968, S. 175) wurde 1672 als Erfahrung ausgegeben, "daß **Berge wachsen**", "daß **die Erde** im Verlaufe der Zeit **ein Wachstum erfährt** und ein dem pflanzlichen Wachstum ähnliches Bild darbietet". Deswegen lägen die Trümmer der alten Stadt Babylon heute "völlig oder zum großen Teil unter der Erde" und wäre das alte Rom unter dem heutigen zu suchen. Die Erde wuchs über die einstigen Bauten.

Am Beginn der zukunftssträchtigen Erdgeschichtsforschung - NICOLAUS STENO

Der aus Dänemark stammende NICOLAUS STENO steht am Anfang der Geologie. Sowohl Grundbegriffe der Stratigraphie wie auch der Tektonik (M. PFANNENSTIEL 1970 a) erschienen in einigermaßen ausgereifter Form zuerst bei ihm, wenn auch noch mit physikotheologischer Interpretation.

STENO (A. FALLER 1957, 1978, G. SCHERZ 1976) wurde 1638 in Kopenhagen geboren und studierte Medizin zuerst an der Universität seiner Heimatstadt, wo vor allem der Anatom THOMAS BARTHOLIN einer seiner Lehrer war. Bei seinem Weiterstudium in Amsterdam entdeckte er 1660 den nach ihm benannten Ausführungsgang der Ohrspeicheldrüse, den Ductus Stenonianus. Etwa vier Monate weilte STENO dann in Amsterdam und wurde hier mit dem religiösen Naturforscher JAN SWAMMERDAM bekannt, welcher seine Erforschung des Feinbaus von Insekten als Beitrag zur Erkenntnis der Größe des göttlichen Schöpfers verstand. STENO setzte sein Studium 4 Jahre lang an der Universität Leiden fort. Er gewann einen Ruf als geschickter Leichenzergliederer. STENO ging dann nach Frankreich und wirkte in Paris sowie war in Montpellier. Im Sommer 1665 kam er nach Florenz, wurde hier an den Hof des Großherzogs FERDINAND II. gerufen und zur Fortsetzung seiner wissenschaftlichen Arbeiten gefördert. Als er auf dem Höhepunkt seiner wissenschaftlichen Arbeit stand, trat er 1667 zum Katholizismus über. Vom Dänenkönig CHRISTIAN V. 1672 nach Kopenhagen gerufen, scheiterte durch STENOs Konversion zum römischen Glauben seine Berufung als Universitätsprofessor im protestantischen Kopenhagen. Wieder in Florenz bekam STENO 1675 von der katholischen Kirche die priesterlichen Weihen und wurde 1677 Titularbischof, wobei er schließlich zum Vicar Apostolic für Norddeutschland und Skandinavien ernannt wurde. Hier in der protestantischen Umgebung suchte er in Hamburg und dann in Schwerin durch ein streng moralisches Leben in Armut zuletzt als einfacher Priester und mit Armenfürsorge das Ansehen des Katholizismus zu heben. Er starb in Schwerin am 5. Dezember 1686. Im Jahre 1633 hatte die Inquisition in Rom GALILEI geladen und ihn gezwungen, der Lehre des Kopernikanischen Weltsystems abzuschwören. Dieser Prozeß gegen GALILEI wurde von nichtkatholischen Kreisen immer wieder angeführt, um die Wissenschaftsfeindlichkeit der katholischen Kirche zu belegen. Da der erfolgreiche Forscher STENO im Einklang mit der katholischen Kirche stand, wurde er von katholischer Seite immer wieder und bis heute als Zeuge dafür vorgestellt, daß naturwissenschaftliche Forschung und Glaube im Sinne der katholischen Kirche sich vertragen. In Schwerin wurde ein Standbild von STENO enthüllt.

Zur Geologie und Paläontologie kam STENO, als Ende 1666 bei Livorno ein großer

Hai (*Carcharodon rondeleti*) gefangen wurde und STENO den Kopf zergliederte. STENO erkannte dabei, daß die Zähne dieses Hai den fossilen 'Glossopetren' gleichen, diese schon bekannten zahnartigen Versteinerungen also von fossilen Haien stammen. Im Jahre 1669 veröffentlichte er die Schrift "De Solido intra Solidum naturaliter contento Dissertationis Prodromus", was im Deutschen mit "das Feste im Festen" übersetzt wurde. Mit den in 'soliden' Steinen eingeschlossenen Festmaterialien meinte STENO Fossilien oder auch gewisse ineinandersteckende Mineralien. STENO schrieb hierin auch über Schichtabfolgen und über die Schrägstellung der Schichten. Er hatte Orte besichtigt, wo Muschelschalen und andere Meereszeugnisse ausgegraben wurden, die ihm für eine ehemalige Meeresüberflutung auf heute festem Land sprachen. Die damals vertretene Auffassung, daß solche Versteinerungen im anstehenden Felsen gewachsen wären, schien ihm nicht richtig zu sein. STENO schrieb (1667, S. 81) über die fossilen Haizähne auf Malta: "Wenn auch die Zahl der Zähne darauf hindeutet, daß ihre Erzeugung der Erde zuzuschreiben ist, so sprechen doch der Bau dieser Zähne und ihre Menge bei den einzelnen Tieren, die dem Meeresgrund ähnliche Erde und die an derselben Stelle aufgefundenen anderen aus dem Meere stammenden Körper für die gegenteilige Ansicht".

Im Zentrum von STENOs Denken standen die **Gesteinsschichten**. Nacheinander waren sie entstanden. Das unterste als das älteste. Dem Nacheinanderabsetzen von Schichten stehen übrigens gegenüber die erst im spätern 19. Jh. gefundenen Bordenhorizonte, gebildet durch Stoffverlagerungen im Boden. Schichten, in denen sich Bruchstücke oder Teile von Tieren und Pflanzen befinden, setzten sich nicht bereits in der ersten Flüssigkeit zur Zeit der Schöpfung ab. Fossile Massenvorkommen von Muscheln führt STENO auf die Sintflut zurück. Reste von Landpflanzen, so 'Schilf', Tannenzapfen oder Aststücke, weisen auf Flußüberschwemmungen. Schichten wurden auch schräggestellt, wobei Berge entstanden. Berge entstehen auch durch Feuer, Asche, Felsen. Keiner der heute vorhandenen Berge bestand von Anfang an. Berge wachsen nicht wie Pflanzen. STENO hatte eine Vorstellung von der Erosion, die durch Regengüsse und Gießbäche ein Gebiet zerteilt. Durch Täler getrennte Hügel können auf beiden Talseiten korrespondierende Schichten zeigen. Berge können einstürzen, Material wird über Landstraßen hinweg verfrachtet. Die Erde kann sich öffnen und schließen. Von Gestein eingeschlossene Mineralien, so Bergkristall, Eisenerz, ja Diamant, entstanden aus unterirdischen Wässern. Für die historische Geologie, für die Erdgeschichtsforschung besonders interessant ist das Kapitel "Die verschiedenen Veränderungen, die in Toskana vor sich gegangen sind". Von den heutigen komplizierten Bildern der Gesteine in der Landschaft aus wird versucht, die Geschichte dieser Landschaft zu ermitteln. Es war der erste Versuch, die erdgeschichtliche Entwicklung einer Landschaft festzustellen. STENO war der erste Forscher, "welcher eine klare Vorstellung davon hatte, daß die Geschichte der Erde aus ihrer Zusammensetzung und ihrem Aufbau ermittelt wer-

den könne" (C. CHR. BERINGER 1939). Die Toskana, stellte STENO fest, war zweimal von Wasser bedeckt, wurde zweimal trocken und wurde zweimal uneben. STENO sah das in Übereinstimmung mit der Heiligen Schrift. Am Anfang war alles mit Wasser bedeckt. Das bewiesen die Schichten auf den hohen Bergen, welche keine Fremdkörper einschlossen. Voneinander entfernt befindliche Berge haben aus dieser Zeit gleichartiges Material, entstanden in gleichartiger Flüssigkeit. Nach der Trockenlegung geriet das Gebiet durch Sintflut erneut unter Wasser. Jetzt wurden die Fossilien eingelagert. Nach der Sintflut erfolgten weitere Veränderungen, wenn auch von der Bibel nicht berichtet. Dauernd wurden von den Flüssen große Erdmassen dem Meere zugeführt, entstanden fruchtbare Täler. HENRY OLDENBURG, seinerzeitiger Sekretär der Royal Society, übersetzte die Schrift von STENO in das Englische und in dieser Sprache erschien sie 1671. Es folgte 1679 eine Ausgabe der Arbeit von STENO in Leiden, 1763 eine in Pistorli (Italien). Gelesen wurde STENOs kleine Schrift später etwa von ALEXANDER von HUMBOLDT. ELIE DE BEAUMONT übersetzte den lateinischen Text in das Französische.

Sind die "Versteinerungen" wirklich ehemals lebend gewesen Organismen?

Das Volk, wie etwa SCHRÖTER (1778) mitteilte, sah in den 'Versteinerungen' versteinerte heutige Gebilde, so 'versteinertes' Brot, Käse, Mandeln, Erbsen. Große Knochen wurden etwa ehemaligen Riesen zugeschrieben. Es sollte der 'wilde Mann', der Schildhalter im Wappen des Kantons Luzern, gemäß einem Knochenfund von 1577 ein Riese von 5 Metern Höhe gewesen sein (nach R. HOERNES 1911). Mammutschenkelknochen wurden in Valencia in Spanien als vom heiligen Christophorus verehrt und große Knochen als von heiligen Vinzenz stammend noch 1789 in feierlicher Prozession herumgetragen. WALCH in Jena rechnete zu den 'Versteinerungen' auch versteinerte Nägel oder ein Stück von einem alten Degen.

'Versteinerungen' auch von Organismengestalt wurden jedoch vielfach zunächst als '**Naturspiele**' betrachtet, die eher nur zufällig organismenähnlich aussehen. Das wurde erörtert, obwohl LEONARDO DA VINCI im 16. Jahrhundert und STENO im 17. Jahrhundert die Fossilien als die Reste von einmal lebendig gewesenen Lebewesen begründet anerkannten. Als "Naturspiele" mochten sie erscheinen, wenn angenommen wurde, daß die Materie sich "organisieren" kann, nämlich durch **Generatio spontanea**, Urzeugung, Lebewesen bildet. Eine 'plastische Kraft' hat nach dem irischen Freidenker JOHN TOLAND um 1695 in den Felsen die Fossilien entstehen lassen, welche die 'Samen' aller Formen von Materie enthalten. Die Lebewesen ähnelnden Naturspiele mochten dann in den Gesteinsschichten **steckengebliebene Urzeugungen**, gewissermaßen Fehlgeburten der Generation spontanea,

sein.

Umstritten war, ob alle Versteinerungen einmal von Gesteinsmaterial, der 'Mutter', den 'Matrices', umschlossen waren. Isoliert gefundene 'Versteinerungen' galten vielfach als aus der 'Mutter' herausgefallen.

Der aus Messina stammende AGOSTINO SCILLA (F. RODOLICO 1975) hatte die Gesteinsschichten längs der Straße von Messina untersucht, aber auch Fossilstudien in anderen Teilen Siziliens und auf Malta betrieben und sah, etwa 1670, als ehemalige Lebewesen Mollusken, Korallen, Stachelhäuter und wie STENO die Glossopetren (Zungensteine). VITALIANO DONATI (dtsh. 1753) hatte die Organismen an heutigem Seeboden an der Ostküste des Adriatischen Meeres mit versteinerten "Seekörpern" verglichen und fand letztere wie am heutigen Meeresboden "durcheinanderliegend", stellte also identisches Aussehen fossilen und heutigen Seebodens fest. Gegen "Versteinerungen" als "Naturspiele" sollte nach J. S. SCHRÖTER 1778 (S. 67 ff.) sprechen, daß sie einen "gewissen und beständigen Charakter" besitzen, der bei einem bloßen Spielen der Natur nicht anzunehmen wäre. Wenn die Natur "spielte", dann könne sie doch viel mehr spielen, als es geschieht. Aber die fossilen Muscheln glichen nicht nur in der Gestalt den lebenden Muscheln, sondern auch in den 'Wachstumsgrößen'. Es gäbe auch keine 'Vermischung' von Meeresfossilien mit Festlandsfossilien. Nichtorganismische 'Steingebilde' wie Dendriten, Drusen, Stalaktiten, wären viel zu einfach, um sie mit Organismen zu verwechseln. Manche 'Versteinerungsspuren' wiesen Zerstörungsspuren auf, so namentlich 'Kräuterabdrücke'. Auch hier wäre kaum mit einem solchen Spielen der Natur zu rechnen. Versteinerte Knochen glichen chemisch richtigen Knochen.

Alle nur als Fossil bekanntgewordenen Formen sollten irgendwo, vielleicht in fernen Meeren, noch lebend vertreten sein.

3. Erdgeschichte im Banne der Sintflut - Physikotheologie -

Physikotheologie - Bibel und Naturforschung

Gerade in der Erdgeschichtsforschung gibt es die wichtige, für ein Fach wie die Geologie fast entscheidende Frage naturwissenschaftlicher Forschung, ob in erster Linie **Tatsachen**, Fakten, die Forschung leiten, oder **allgemeine Ideen**, "Konzepte", denen die Interpretation der Tatsachen angepaßt wird. Die Naturwissenschaftler und namentlich die Geologen betonten stets, daß sie sich primär den Fakten verpflichtet fühlen. Aber die Anfänge der Erdgeschichtsforschung sprechen vom leitenden Einfluß einer Idee, der von einer erdweiten Flut, die der in der Bibel beschriebenen Sintflut möglicherweise entsprechen sollte. Es gilt in der geologischen

Erkenntniswandlung durchaus, was ROLAND BRINKMANN (1948, S. 47) für die Wandlungen noch etwa zwischen 1850 und 1950 mit den Worten beschrieb: "Viele Unterschiede zwischen damals und jetzt erklären sich aus der Vermehrung unseres Wissens im Laufe des verflossenen Jahrhunderts. Aber nicht alle. Gerade die wichtigsten Wurzeln sind tiefer und zeugen von Wandlungen, die bis in weltanschauliche und religiöse Sphären hinabreichen". Mit der Hypothese von der einstmals die Erde heimsuchenden Sintflut wurde viel von der frühen Erdgeschichtsforschung betrieben. Aus der Erdgeschichtstheologie entstand die wissenschaftliche Naturgeschichte der Erde (R. und D. GROH 1998). Und auch später leiteten Hypothesen das Sehen der Tatsachen. Allerdings waren "Tatsachen" auch die Stolpersteine, an denen Hypothesen und Theorien schließlich scheitern konnten, wenn sie der Hypothese widersprachen. Es blieb andererseits ein Wunsch mancher Forscher, gerade mancher Geologen, "dass naturwissenschaftliche Lehren nie auf Theorien und Hypothesen begründet werden sollen, sondern nur auf Erfahrungen und Beobachtungen," wie es KARL VON FRITSCH 1888 (S. V) ausdrückte.

Mit dem Entstehen der Naturwissenschaft im 17. Jh. war die Frage aufgekommen, inwieweit Abweichungen der Ansichten der Naturforscher von der Bibel geduldet werden können. Auch war sichtbar geworden, daß in der Kirche das Dogma, das Festhalten am überlieferten Glauben wichtig war, aber die Naturforschung gerade an der Kritik der Ansichten, der alten wie auch der neueren, Gestalt gewann. Es galt jedoch ab dem ausgehenden 17. Jh. das Bemühen mancher Forscher der Aufgabe, die Richtigkeit der Bibel oder wenigstens die Existenz eines Gottes, einer höheren Weisheit, aus den Naturwissenschaften zu beweisen, um so zu verhindern, daß Skepsis sich durchsetzte. Dabei soll nicht bezweifelt werden, daß hinter diesem Bemühen wenigstens bei vielen aufrichtiger Glaube stand. Es entstand als eigene Denk - oder gar Forschungsrichtung die "**Physikotheologie**". Der Begriff wurde eingeführt vor allem durch WILLIAM DERHAM mit seinem Buchtitel "Physico-Theologie" (deutsch s. 1750). Der Sache nach gab es auch vorher solche Bestrebungen und DERHAM nimmt auch auf sie Bezug. KEPLER sah eine Bestätigung für einen Gott in der Harmonie und Gesetzmäßigkeit am Himmel. Für andere Forscher war die Existenz von Naturgesetzen überhaupt ein Grund, einen 'Gesetzgeber', Gott, im Weltall anzunehmen. Auch andere Phänomene, namentlich auch die Anpassungsmerkmale der Organismen, sollten für die Religion und von einem Schöpfer, einer höheren Weisheit zeugen. Die 'Physikotheologie' entstand bezeichnenderweise, als Wissenschaft und Aufklärung vorankamen und es nunmehr besonders nötig war, daß auch der religiöse Glaube nicht nur auf Mystik und Offenbarung, sondern auf wissenschaftlichen Beweisen ruhte. In dieser Hinsicht war auch die Physikotheologie eine Frucht der Aufklärung, namentlich ihrer frühen Periode, die noch nicht mit aller Religion brach, aber Gottes Wirken auch in den Naturgegebenheiten suchen wollte. Im Hochmittelalter hatte übrigens

namentlich THOMAS von AQUIN(O) die Lehre von der "doppelten Wahrheit" entwickelt. Danach offenbarte sich Gott einerseits und primär in der Bibel, aber ebenso in der Natur. Naturforschung war damit durchaus mit der Religion vereinbar. Physikotheologische Werke erschienen auch noch im 19. Jh., ja Titel wie "Die Bibel hat doch recht" gab es auch im 20. Jh. Die Bibelgläubigkeit im späten 17. und im beginnenden 18. Jh. war immerhin noch so groß, daß etwa die Sintflut als ein reales, noch heute in der Natur nachweisbares Ereignis angesehen wurde. Die mosaische Schöpfungsgeschichte 'färbte' die Probleme, 'richtete' das Denken (M. SEMPER 1911), das heißt, weil die Vorstellung von der Sintflut in den Köpfen war, wurden die Phänomene in der Natur gemäß dieser Vorstellung strukturiert.

Das sollte aber wohl nicht bedeuten, daß die Fakten, die Phänomene eine Zutat waren, die für die Theorie belanglos waren. Weil die Tatsachen sich bei der zugegeben noch nicht sehr tiefgründigen Beobachtung so gut mit der Sintflut vereinen ließen, konnte diese Hypothese so stark wirken. Die Erforschung der Erdkruste, die Erforschung der Gesteine wurden so ein Teil der Apologetik, der Begründung der Glaubensansichten, und die Anfänge der Paläontologie und auch der Geologie waren mit dieser Physikotheologie eng verbunden.

Der Nordhäuser Pastor FRIEDRICH CHRISTIAN LEßER meinte in seiner 'Lithotheologie', daß Gott sich in zweifacher Weise offenbart haben: 1. in der Bibel, 2. in der Natur. Die Bibel ist nach Meinung von LEßER zwar klarer, aber auch der 'Katechismus' der Natur sollte fleißig gelesen werden. Diese Ansichten entsprachen der mittelalterlichen Lehre von der 'doppelten Wahrheit', der "Wahrheit" der Schrift und jener der Natur.

Die zahlreichen mahnenden, die Zweifler und Atheisten verdammenden Stellen in den physikotheologischen Schriften muß fast annehmen lassen, daß die Zahl der Zweifler, ja der Spötter, nicht gering gewesen war. Zumindestens wurde es als erforderlich betont, den Glauben weiter zu befestigen, also viel 'Agitation' zu betreiben. Welcher Agitator würde nicht gern betonen, daß sein Tun sehr wichtig wäre und auf den rechten Weg führt. Und da sollte die Betrachtung der Natur sogar überzeugender sein als die Bibel. LEßER meinte jedenfalls, daß man mit der Natur den atheistischen Spöttern besser beikommen kann, jenen, die von der Bibel nichts halten. Über STENO meinte LEIBNIZ: "..., daß er sich darüber freute, den Glauben an die Heilige Schrift und an die allgemeine Sintflut mit natürlichen Argumenten, nicht ohne Nutzen für die Frömmigkeit zu befestigen". In Querfurt als Diakon an der St. Lamberti-Kirche wirkte seit 1690 der auch ein Naturalienkabinett besitzende DAVID SIGMUND BÜTTNER (Wikipedia 2017), welcher etwa in zerrissenen Felsgruppen wie an den Greifensteinen im Erzgebirge und auch in Fossilien ausreichend Zeugnisse für die Sintflut sah und rief 1710 den Zweiflern zu (S. 310): "Ihr aber / die ihr zeither die Mosaische Erzählung kaum so hoch /

als Ovidii Metamorphosin, gehalten / tretet doch inzwischen heran! besehet bey dem Natur - Lichte / den Ursprung der Erde... Bedenckt zugleich: wie euch aus allen Theilen der Welt von alten und itzigen Völckershaften mit vollem Concent in die Ohren geschrien wird: Es sey eine Sündfluth gewesen.... So bestialisch will euch nicht halten: GOTT zu verneinen; so thöricht nicht: Seine Güte und Weißheit bey der erschaffenen Erde in Zweifel zu ziehen; So blödes Gesichts nicht / die Narben auch noch offenbare Schäden und Todten - Brüche der Erdkugel / insonderheit die Verschüttung so vieler Millionen Thiere und Gewächse & vor euren Füßen nicht zu sehen. Wohlan! ...Ob ihr nicht bey der Besichtigung der Oberfläche / solche vor Fluth - Bänke und die darinnen verschüttete Thiere und Gewächse vor wahrhaftig animalisch und vegetabilisch / einfloglich: Durch eine all-gemeine Fluth verschwemmen halten müsset"... Der im Ort Scheibenberg im Erzgebirge als Pfarrer tätig gewesene CHRISTIAN LEHMANN schrieb in seinem 1699 postum erschienenen Folianten 'Historischer Schauplatz derer natürlichen Merckwürdigkeiten in dem Meißnischen Ober - Ertzgebirge...' (S. 38) von dem basaltischen Pöhlberg ("Pilberg") bei Annaberg: "Vor undencklichen Jahren ist er ein Schreckbild gewesen von der Sündfluth her / die seine Felsen zerrissen / und sein Gehänge mit eitel Wacken und Schroten übersäet hat / ..."

Daß man die Glaubensbefestigung für nötig hält, wird auch daraus ersichtlich, daß 1750 noch einmal in deutscher Sprache die "Physico - Theologie" von WILLIAM DERHAM herausgegeben wird, wobei in diesem umfangreichen Buche vor allem heutige Gegebenheiten, so die Lebensweise der Tiere oder der Nutzen der Winde für die Weisheit Gottes angeführt werden.

Auch andere Gegebenheiten der Erdkruste wurden von physikotheologisch orientierten Autoren der ersten Hälfte des 18. Jh. als Zeugnis für Gottes Wirken angeführt. So erschienen die Steine eben notwendig, damit die Erde überhaupt bestehen kann, aber waren damit ebenso Zeugnis für das sinnvolle Wirken Gottes. Erdbeben benutzte nach LEßER Gott zur Durchführung seiner notwendigen Straferichte, schützte aber die Menschheit wiederum dadurch, daß er diese Feuer nicht alles verheeren ließ.

Mit der Hinwendung zur Physikotheologie konnte die Erforschung der Natur zumindestens eine Begründung gegenüber zur Anerkennung erwünschten Kreisen finden.

Wer mit der Bibel die Natur erklärte, nahm auch ihre **Jahresangaben** als Grundlage jeder geschichtlichen Betrachtung. So wie es auch einst in Byzanz und anderswo versucht wurde, legte JAMES USSHER, Erzbischof von Armagh, Primas der protestantischen Kirche von Irland (P. BAHNERS 1997), in den "Annalen" von 1650 und 1654 vor, wie er aus den Lebensdaten der biblischen Personen die Zeit-

angaben der Ereignisse der Geschichte und der Schöpfung berechnet hatte, eine mühevollen und exakte Arbeit, mit der Richtigkeit der biblischen Zahlangaben als Prämisse. Es war also auch für den Frommen die Welt eine berechenbare Angelegenheit. Die Geschichtsdaten vom Tag der Schöpfung an zu bieten war allerdings nicht neu und das gab es auch bei byzantinischen Historikern im frühen Mittelalter. Führte man USSHERs Berechnungen weiter, so wurde die Welt am 23. Oktober 1997 6000 Jahre alt, und in diese Zeit von damals noch nicht 6 Jahrtausenden war also alle Erdgeschichte eingeschlossen. Nach USSHERs Angaben schied Gott am Mittag des 23. Oktober 4004 das Licht von der Finsternis, wurde Adam im Alter von 130 Jahren im Jahre 3874 zum ersten Male Vater, ereignete sich im Jahre 2349 v. Chr. die Sintflut. Gestützt wurde solche Zeitangabe etwa von WILLIAM WHISTON, immerhin der Nachfolger auf dem Lehrstuhl des großen NEWTON in Cambridge. Immerhin gab es mit der Angabe verschiedener Daten für die vorsintflutlichen biblischen Ereignisse eine Abkehr von den wenigen "Tagen" der Wertschöpfung, eine "Verzeitlichung der Erdgeschichte", wie es LEPENIES nannte (nach: R. und D. GROH 1998).

Die Sintflutauffassung als erstes Paradigma der Erdgeschichtsforschung

Es wurde von der **Richtigkeit der Sintflut-Auffassung**, von einer erdweiten bis an hohe Gebirgsspitzen heranreichende Überflutung, einer Katastrophe, ausgegangen. Zeugnisse der Vergangenheit der Erde wurden als **Beweise für die Sintflut** genutzt. Die Phänomene in der Erdkruste und vor allem die in den Gesteinen enthaltenen Fossilien wurden herangezogen. Wenn **Pastoren** Sammlungen von Versteinerungen, Petrefakten, anlegten, dann konnten diese als Sintflutzeugnisse den Pfarrkindern vorgelegt werden und die vorgesetzte Behörde konnte dem Pfarrer nur schlecht den Vorwurf machen, seine Zeit mit einem nicht-berufsverbundenen Hobby zu vergeuden.

Besonders wichtige Sintflutzeugen sollten die **Meerefossilien** sein, die in den nördlichen und südlichen Kalkalpen, so den Dolomiten, hoch über dem heutigen Meeresspiegel gefunden wurden. Irgendwie mußten Meeresorganismen in Alpenhöhen gekommen sein. Immerhin wurden gerade von der Anhängern der Sintfluthypothes die Fossilien als **Reste ehemals existent gewesener Lebewesen** angesehen und ihre Deutung allein als **Naturspiele nicht** anerkannt. So bietet denn etwa das schon zitierte an die Sintflut gemahnende Buch 'Rudera Diluvii Testes i. e. Zeichen und Zeugen der Sündfluth...' von BÜTTNER 1710 eine Fülle von Angaben über fossile Lebewesen, die vor allem in Mitteldeutschland gefunden wurden. Es wird berichtet von versteinerten Hölzern, auch von Funden von Insekten,



Abbildung 4: Kalktuff Burgtonna.

den zahlreichen fossilen Muscheln, von den vielfach im Mansfeldischen auftretenden fossilen Fischen. Von Großtieren waren um die Jahreswende 1695/1696 bei dem Dorfe Burgtonna ("Burg-Donna") bei Langensalza im nördlichen Thüringen durch sandschürfende Bauern Knochen eines Elefanten gefunden und von dem auch als Historiograph in Gotha tätigen WILHELM ERNST TENTZEL (Wikipedia 2017) beschrieben worden. Während andere in den Knochen von Burgtonna Naturspiele sehen wollten, bestand TENTZEL richtigerweise auf einem Elefanten, nach heutiger Kenntnis einem Waldelefanten. Noch gab es keine Vorstellung von Klimawechsel. Bei Elefantenresten in Italien wurde da an Reste von HANNIBALS Elefanten gedacht.

Als andere Elefantenfundorte werden die Umgebung von Brünn in Mähren, Island, Baden ("Baaden") bei Wien genannt. Bei Camburg im Saaletal hat 1672 die Saale "Erde weggewaschen" (S. 215) und es erschienen Knochen. In der Umgebung von Querfurt traten um 1700, in Wendelstein an der Unstrut unter einem gesprengten Felsen unterschiedliche Knochen zutage. Von dem "Zeunicker - Berg" bei Quedlinburg - heute: Seweckenberge - wurde gar ein 'Einhorn' gefunden, an dessen Kopfe sich das Horn in der Dicke eines menschlichen Schienbeines befunden habe (S. 286). In Wirklichkeit war es wohl ein Elefantenstoßzahn. Beschrieben habe das der JOH. MAYER, "Astronomo und Camerario in Quedlinburg" und der "Durchl. Äbtissin" (vom Quedlinburger Damenstift) zugeschickt. Auch GUERICKE (in 1968, S. 175) berichtet von dem 1663 getätigten Fund "... bei Quedlinburg in einem Berge, der Sveckenberg geheiß, wo man auf Gips gräbt, und zwar in einer Felsspalte, das Gerippe eines Einhorns fand", das zwar "aus Unverstand zerbrochen war und in

Stücken ans Licht gezogen" wurde, "aber der Kopf samt dem Horn und einigen Rippen, der Wirbelsäule und den Beinknochen der hochwürdigsten Fürstäbtissein übergeben," GUERICKE bildete dieses Stück ab und es muß wenig genau untersucht worden sein, wenn man das 'Horn', also den Stoßzahn an die Stirn setzte. So war das eben mit der Fossilanalyse, die noch gelernt werden mußte. Von einem Pfarrer in Bilzingsleben ("Piltzings - leben") wird berichtet, daß er einen "unge-
meinen grossen Kinnbacken mit Zähnen besäße / so bey Kindelbrücken aus einem Felsen gehoben worden" (S. 216). Die Erwähnung von Bilzingsleben ist deshalb interessant, weil dort im 20. Jh. aufsehenerregende Urmenschenreste ausgegraben werden konnten. Manche Knochenreste des 17. und frühen 18. Jh. wurden auch Menschen zugeschrieben, gefunden "an den Orten der Tieffe / da man sie nimmermehr kan vergraben haben: da sie auch nimmermehr durch Erdfälle & damit kommen können" (S. 204). Genannt werden Funde in der "Baumannischen Höhle" im Harz, beschrieben in der 'Hercynia curiosa' des Doktor GEORG HENNING BEHRENS 1703. Vor der Sintflut haben sich Menschen in solche Höhlen geflüchtet. Einwände, daß es sich bei den Fossilien um Mineralien handelt, daß es Naturspiele sind, sie auf eine auf feuchtes Material wirkende Aura zurückgehen, werden zu widerlegen versucht. Diese Aufzählung von bei BÜTTNER erwähnten Fossilien soll belegen, in welchem Ausmaße doch Fossilien, auch größere, um 1700 bekannt waren. Daß dabei auch mit erdweiten Verschleppungen gerechnet wurde, findet sich bei dem Stuttgarter Hofprediger EBERHARD FRIEDRICH HIEMER. Er beschrieb 1724 den Rest einer großen sessilen "Seelilie" in der unteren Lias von Schwaben unter dem Namen "Medusenhaupt", der wie ein wenige Jahre vorher von den Molukken beschriebenes Exemplar einer Seelilie aussah. Es sollte nach HIEMER bei der Sintflut von einem weit entfernten Meer bis an den Fuß der Schwäbischen Alb verfrachtet worden sein (M. ULRICHS et al. 1994).

Führende Vertreter der Sintfluttheorie gab es in England. THOMAS BURNET (M. KEMPE 1996) hat 1681 in seiner "Telluris Theoria Sacra" eine "heilsgeschichtliche Kosmogonie" (R. und D. GROH 1998) vorgelegt, ein Werk, das 1684 in einer ersten englischsprachigen Ausgabe erschien und 1691 zur "The Sacred Theory of the Earth" erweitert vorlag. Seit dem Sündenfall und der Sintflut sollte die Natur in einen schlechteren Zustand "gefallen" (*natura lapsa*) sein, aber blieb andererseits seit der Schöpfung dennoch stabil, wohlgeordnet und harmonisch. Die einzige Ebenmäßigkeit der Küsten aber wäre durch die Flut zu unregelmäßigen Krümmungen verändert worden, die Verteilung von Land und Meer wurde unregelmäßig. Die natürliche Erklärung der Dinge auch unter Bezugnahme auf das Wirken von Gott galt manchen orthodoxen Kirchenleuten durchaus als blasphemisch. Als einen Verfall, als Trümmer der Schöpfung, sah BURNET die ihm nutzlos und häßlich erscheinenden Berge, obwohl sie ihn auch faszinierten. Von JOHN WOODWARD (V. A. EYLES 19), Mediziner und wegen arrogantem und unkollegialen

Verhalten aus der Royal Society später ausgeschlossen, stammt 1695 das Buch "An Essay towards a Natural History of the Earth". WOODWARDs Fossilsammlung blieb erhalten und wird in ihren originalen Aufbewahrungsschränken ausgestellt im Sedwick-Museum in Cambridge. In Cambridge gründete WOODWARD auch einen ersten Geologie - Lehrstuhl, den nach ihm benannten Woodward Chair.

In England, wo die Naturwissenschaften in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts eine führende Stellung gewannen, war es wohl besonders nötig, daß die religiöse Lehre als mit den naturwissenschaftlichen Erkenntnissen vereinbar erschien. Das Weltall, die große "Weltenuhr", schien auf einen großen Uhrmacher, einen Schöpfer, einen Maschinenmeister, zu verweisen. Er hatte der "Weltenuhr" bei ihrer Ingangsetzung ihre Prinzipien eingegeben, nach denen die Geschehnisse abliefen. Die "Sintflut" fiel aus diesen Gesetzmäßigkeiten eher heraus, andererseits wurde sie etwa bei BURNET und anderen auf verstehbare Ursachen zurückgeführt. Es wurde versucht, sie rational und dennoch in Anerkennung der Bibellehre zu erklären. Gott habe sich gewissermaßen zur Durchführung der Sintflut der Naturkräfte bedient. EDMOND HALLEY (1724) legte 1694 vor der Londoner Royal Society dar, daß Niederschläge nur einen geringen Teil der Wassermenge geliefert haben können, also eine andersartige Herkunft der Wassermassen anzunehmen sei. LEIBNIZ unterstützte in seiner 'Protogaea' (s. 1949, S. 31) die Ansicht von zusammenbrechenden Hohlräumen im Erdinneren, wodurch Wasser herausfloß. Nach WOODWARD (R. GROH und D. GROH 1998) fiel die Sintflut aus den Naturgesetzen heraus, weil diese Gott im Zorn für eine Zeit lang aufhob. WOODWARD rechnete mit einem geheimnisvollen unterirdischen Hohlraum, einen Abyssus, der viel Wasser enthielt, es während der Sintflut auf die Erde entließ und anschließend wieder aufschluckte. Die Erdoberfläche versank zeitweilig in einem Chaos.

BURNET wie WOODWARD beeinflussten den Züricher JOHANN JAKOB SCHEUCHZER (M. KEMPE 1996, P. E. PILET 19), den vielleicht bekanntesten der Sintflutanhänger, das Haupt der "Diluvianer". SCHEUCHZER wurde am 2. August 1672 als Sohn eines Stadtarztes in Zürich geboren. Ab 1691 studierte er in Altdorf namentlich Medizin, aber auch Botanik, Mathematik und Astronomie. An der Universität Utrecht wurde er 1693 Doktor der Medizin. Seit 1694 wieder in Zürich, nochmals in Nürnberg wegen eines Diploms in Mathematik, wurde er bald in Zürich zweiter Stadtarzt (Poliater) sowie Direktor der Bibliothek und 'Kunst-kammer'. Er wurde später, 1733 auch Mathematikprofessor am Züricher Carolinum, wo er seit 1710 mathematische Vorlesungen halten durfte. SCHEUCHZER wurde einer der ersten Erforscher der Alpen, zog mit Instrumenten wie Barometer, Thermometer, Winkelmeßgradbogen in die Berge, befaßte sich etwa mit dem Einfluß der Berghöhe auf das körperliche Befinden. Im Unterschied zu BURNET gefielen ihm die Berge, waren ihm "ein Theatrum oder Schauplatz der unendlichen



Abbildung 5: Zürich: Haus mit SCHEUCHZER-Tafel.

Macht, Weißheit und Güte GOTTES" (s. M. KEMPE 1996). Bekannt wurde er vor allem als Sammler von Fossilien. SCHEUCHZER war der erste bedeutende Erforscher der fossilen Pflanzen, gilt demgemäß als Begründer der Paläobotanik. Sein 'Herbarium diluvianum' war noch ein Standardwerk im 19. Jh. Im Jahre 1733 zum leitenden Stadtarzt (Archiater) ernannt, starb er bereits kurze Zeit später am 23. Juni 1733.

Anhänger der Sintflutauffassung, übersetzte SCHEUCHZER den "Essay ..." seines englischen Briefpartners WOODWARD 1704 ins Lateinische und übernahm auch dessen Annahme der Sistierung der Naturgesetze während der Sintflut. SCHEUCHZER suchte in besonders starkem Maße selbst die Sintflut aus der Natur zu beweisen, namentlich in seiner 1731 erschienenen "Physica sacra", wegen ihrer zahlreichen Kupferstiche auch als "Kupfer - Bibel bezeichnet. In ihr wird in Wort und Kupferstich dargestellt unter anderem die 'Schöpfung der Welt', wenn die Sonne die werdende Welt anstrahlt oder es wird das Paradies in Mesopotamien vorgeführt. Tafel XXXIV zeigt die "Arch Noä gebauet aus dem Holtz Gophar". Andere Tafeln führen die nach dem Rückgang der Wassermassen gestrandete Arche mit der ausfliegenden Taube und zeigen das Leben nach der Flut, den 'Wiederaufbau' mit Ziegel - und Mörtel - Herstellung, mit dem Turmbau zu Babel, der Zerstörung von Sodom und anderem.

SCHEUCHZERs Argumente zugunsten der Sintflut waren vor allem folgende:

1. Die Fossilien, oft Meeresorganismen, sollten in der Sintflut in Ablagerungen gelangt sein. Demgemäß bildet etwa SCHEUCHZER zahlreiche Fossilien und unter ihnen viele fossile Pflanzen auch in der 'Kupfer-Bibel' ab. In diesen Passagen wirkt das Werk wie eine naturwissenschaftliche Schrift. Den Skeptikern der Sintflutherkunft der Fossilien ruft er zu (1731, S. 64): "Die einfältigste Bauren urtheilen in Warheit weit besser und glücklicher, wenn sie bey Warnehmung eines tieff in der Erde steckenden Holtzes, auf Steinen gebildeter Fischen, Pflantzen, Muscheln, Schnecken, bald und wohl schliessen, daß solcherley sachen von einer allgemeinen Sünd - Fluth zurück geblieben;..."

2. Die fossilführenden Schichtgesteine, die 'Flötzgebirge', liegen gerade in Mitteleuropa mancherorts erkennbar auf Massengesteinen wie Granit. Diese Massengesteine deutete man als die ursprüngliche, am Anfang geschaffene Erdkruste. Die darauf lagernden Sedimente waren dann das Ergebnis der erdweiten Flut. Diesen Gesteinswechsel fand man auch mancherorts in Bergwerken, wenn diese tief genug hinabreichten. Noch hatte man keine Vorstellung von früheren Gebirgsbildungen, in Mitteleuropa vom varistischen Gebirge, die zu diesem Bild der Gesteinslagerung geführt hatten.

3. Als Sintflutzeugnis galt SCHEUCHZER auch die Schräglage mancher Sedimente, wie es gerade im Alpengebiet mancherorts auftritt. So zeigt SCHEUCHZER auf einer Tafel verworfene Schichten in einem Hochgebirge, augenscheinlich den Alpen, und bemerkt dazu: "Überbleibsel der Sündfluth". Daß solche schrägstehenden Sedimente auch in den Alpen auftreten, widerlege jene, welche die Sintflut nur für begrenzte Teile der Erdoberfläche annahmen, die 'Particularisten', die Gegner einer universellen erdweiten Flut. es heißt bei SCHEUCHZER zu der Tafel (1731, S. 64): "Vorstehende drey Versicul werfen alle sogenannte Particularisten zu Boden, welche die Sünd-Fluth nur über etliche Länder erstrecken; ..."

SCHEUCHZER ging auch in Einzelheiten auf die Sintflutauffassung ein. Er deutete eine fossile Pflanze als Gerstenähre und datierte daher den Beginn des großen Strafgerichtes auf den Mai. Besonders belächelt wurde später, daß SCHEUCHZER 1726 ein bei Oehningen, heute im Landkreis Konstanz, am Bodensee, gefundenes Skelett eines **Riesensalamanders** als die Reste **eines in der Sintflut ertrunkenen Menschen** deutete. Er versah seine Ausführungen sogar mit moralischen Mahnungen, zu dem vermeintlichen Menschenskelett hieß es: "O armes Beingerüst von einem armen Sünder, erweiche Herz und Sinn der neuen Bosheitskinder." Ichthyosaurierwirbel deutete er nicht wie ihr Erstbeschreiber J. J. BAIER als große Fischwirbel, sondern als Wirbel von Menschen. SCHEUCHZER ließ sogar die "Fische klagen", weil ihnen die Bosheit der Menschen viel Wasser zur Ausbreitung bescherte, aber dieses dann zurückging, sie also getäuscht worden waren. Obwohl nach der Sintflut der vorangegangene Zustand wieder hergestellt wurde, blieben



Abbildung 6: 'Lügensteine'. Verf. Foto.

in der Natur Mängel, denn die einst humusreiche Erde habe an Fruchtbarkeit verloren und machte den wenig geliebten Ackerbau nötig (M. KEMPE 1996). Aber Gott richtete durchaus auch die Erde wieder optimal für den Menschen aus. 1826 klärte JOHANN JAKOB VON TDSCHUDI die Zugehörigkeit des vermeintlichen Menschenskeletts zu den Riesensalamandern, die im Miozän u. a. auch in Europa lebten (Wikipedia 2020).

In diese Zeit fällt auch eines der lustigsten Ereignisse in der Geschichte der Paläontologie, nämlich die Herstellung künstlicher Fossilien, die von ihnen getäuscht ein Würzburger Professor, Doktor der Philosophie und Medizin, Leibarzt auch des Fürstbischofs, J. B. BEHRINGER, in Abbildungen veröffentlichte, als "Lithographiae Wirceburgensis Specimen", 1726 (F. LEYDIG 1902). Witzbolde, allerdings von Kollegen BEHRINGERS aufgehetzt, hatte in einem Berge bei Eibelstadt solche nachgeahmten "Fossilien", unter ihnen Sterne und Kometen, versteckt. BEHRINGER, auf den Fundort aufmerksam gemacht, sammelte dort von Juni bis September 1725 an 2000 der nachgeahmten, später als "Würzburger Lügensteine" bezeichneten Stücke. Einst eher verschämt verborgen aufbewahrt, kann sie nunmehr interessierte Öffentlichkeit in Museen zur Kenntnis nehmen.

Nicht Pfarrer, sondern hoher Mediziner war JOHANN JACOB BAIER, der in der "Oryktographia Norica" von 1708 (M. ULRICH et al. 1994) über Fossilien und Gesteine schrieb. BAIER (Wikipedia 2017) war ab 1701 Arzt in Nürnberg, dann Stadtarzt in Regensburg und 1704 Medizinprofessor an der Universität Altdorf. 1708 wurde BAIER in die Leopoldina gewählt und wurde 1730 deren Präsident, auch kaiserlicher Leibarzt und erhielt den Titel Pfalzgraf.



Abbildung 7: Für BEHRINGER. Verf. Foto.

4. Die Schaffung der Grundlagen der neueren Geologie - In zunehmender Loslösung von der Sintflut. - Die umfassenden Auffassungen, die 'Systeme' der frühen Geologie

Erdgeschichte im Kontext der Aufklärung und Dokumente der Erdgeschichte in der Sicht der Forscher des 18. Jahrhunderts

Namentlich von Frankreich aus begann eine kritische Einstellung zur überlieferten Religion, das Werk der Aufklärer, die einen führenden, wenn auch nicht den gesamten Teil der Intellektuellen Frankreichs umfaßten. Kometen, Gewitter und andere bisher mit Aberglauben verknüpfte Naturerscheinungen wurden als natürliche, den Naturgesetzen unterliegende Phänomene erklärt. Die Erdkruste wurde zunehmend auch als etwa natürlich Gewordenes gedeutet. Es wurden Heilsgeschichte und Erdgeschichte "entkoppelt" (R. und D. GROH 1998), wobei die Bibel und auch die biblische Sintflut nicht unbedingt angegriffen, sondern als nicht zur Erdgeschichtsforschung zugehörig betrachtet wurden. Man ging wenigstens bis an die Grenzen der wissenschaftlichen Erkenntnis zunehmend ohne Bezugnahme auf die Religion. Den "Tatsachen", den Gesteinen und ihrer Lagerung und ihrem Inhalt an Fossilien wurde zunehmend Gewicht beigelegt, um zu Hypothesen zu kommen und sie zu bestätigen (verifizieren) oder zu widerlegen (falsifizieren). In der zweiten Hälfte des 18. Jh. und den ersten Jahrzehnten des 19. Jh. wurde im wesentlichen Klarheit darüber geschaffen, daß die aus der Vergangenheit überlieferten Zeugnisse gestat-

ten, über viele Ereignisse der Erdgeschichte eingehendere Kunde zu liefern. Gerade in Großbritannien wurde noch in der ersten Hälfte des 19. Jh. manches versucht, Bibel und Erdgeschichtsforschung zu verknüpfen, ja aufeinander zurückzuführen (L. PAGE 1969). Es schloß nicht aus, gerade hier Schichtfolgen ausführlich zu beschreiben. Hinsichtlich der Fossilien gab es zunächst oft keine Klarheit über ihre taxonomische Stellung und **Fossilien** wurden **nicht schichtweise getrennt** aufgesammelt.

Auch die frühen Geologen meinten, daß es auch **jüngste, nach der Sintflut** entstandene **Bildungen** gibt. Nach Ansicht von LEIBNIZ entstand Ägypten aus dem Nil, Teile von Süd-Frankreich aus den Ablagerungen der Rhone. Torf war für LEIBNIZ das Produkt von Überschwemmungen. Auch der Mensch hat nach LEIBNIZ an der Gestaltung der Erdoberfläche nicht unbeträchtlichen Anteil (1949, S. 147), gemäß seinen Worten: "Das Aussehen der Erde ist durch den Eifer vieler Menschen so verändert worden, daß meiner Meinung nach das Menschengeschlecht sich einen großen Teil seines Wohnraums selbst verdankt,..." Nicht als Opfer der Sintflut soll nach dem offensichtlichen Erstbeschreiber THOMAS MOLYNEUX 1697 der Irische Riesenhirsch ausgestorben sein, von dem er einen Schädel und das Geweih beschrieben werden (K. HESCHELER 1909). Die Reste sähen zu frisch aus, um sie der lange zurückliegenden Sintflut einzuordnen, vielmehr hätte wohl eine epidemische Krankheit infolge schlechter Luft den Tod bewirkt.

Wie bisher etwa bei SCHEUCHZER und kommenden Erdgeschichtsforschern, wie bei LEHMANN, MORO; WERNER und auch CUVIER, ging man **von lokalen oder nur einzelnen bekannt gewordenen Befunden aus** und verallgemeinerte von ihnen aus, nicht recht bewußt, daß Erdgeschichtsforschung wie wenige andere Wissenschaften auf einer territorial weiten Kenntnis aufbauen mußte, anderswo vieles anders ist und dennoch auch allgemeine Charakterzüge in den Dingen bestehen.

Streit um Meeresfossilien vor allem auf Alpenhöhen und im festen Binnenland

Der große Geologe EDUARD SUESS hat einmal vermerkt (1888, S. 266): "Der Ausgangspunkt all' der verschiedenen Theorien, welche sich auf Veränderungen des Festlandes oder der Meere beziehen, ist seit dem Althertume die merkwürdige Thatsache gewesen, dass man mitten im Lande die Conchylien oder Fische des Meeres antrifft." Das **große, herausfordernde Problem** blieben besonders die **fossilen Meerestiere in großer Höhe**, so in den Kalkalpen (J. FRANCHINI 1931).



Abbildung 8: Meeresfossilien hier.

REAUMUR war um 1720 (in 1751, S. 239) der Ansicht, daß die von PALISSY genannten fossilen Muschelschalen der Touraine so fest am Felsen haften, daß sie die Sintflut nicht herausreißen konnte und also hier vor der eventuellen Sintflut schon einmal Meer mit Muschelansammlungen bestanden hat, also **vor der eventuellen Sintflut schon die Erde umgestaltet** wurde: "Es muß demnach vor oder nach der Sündfluth die Oberfläche der Erde, wenigstens an einigen Orten, ganz anders als heute zu Tage beschaffen, See und festes Land anders geordnet, endlich mitten in Touraine ein großer Meerbusen gewesen sein." Weitere Beobachtungen REAUMURs folgen. Auch in der Gegenwart gäbe es "Küsten ..., von denen sich die See täglich entfernt" (S. 256).

Der Alpenforscher HORACE BENEDICT DE SAUSSURE schrieb etwa (s. 1781, II. Theil, S. 148) von versteinerten "Austern, welche sich in einer sehr großen Höhe befinden." Wie kamen sie dorthin?

Die Lösung der Herkunft der Meeresfossilien auf den Berghöhen geschah durch die Erkenntnis vom Aufstieg der Gebirge aus Meeren, namentlich durch HUTTON (s. d.). Es war wohl eine der großartigsten Erkenntnisleistungen der Naturwissenschaft im späten 18. Jahrhundert. Man kann wohl von einem besonders herausragenden Beitrag der vor allem mit Edinburgh verbundenen "Schottischen Aufklärung" sprechen. Es wirkt auf die Späteren fast wie das "Ei des Columbus". Anerkannt werden muß jedoch ebenso, daß ein Anhänger der unverfälschten Bibellehre wie ALBRECHT HALLER in seiner Verteidigung der Sinflutauffassung Argumente brachte, die richtig waren und der Paläontologie weiterhalfen. So kompliziert, "dialektisch", können weltanschaulich geprägte Debatten sein.

Der französische Aufklärer und spottende Schriftsteller **VOLTAIRE**, der vor al-

lem aus historischen Gründen die Bibellehren anzweifelte, ohne jeden Gott ganz abzuleugnen, meinte zu den der Bibel entnommenen Zeitangaben im Sinne von USSHER, daß der Mensch so langsam lernt, daß der Zeitraum von 4000 Jahren zwischen der Schöpfung und der Geburt Christi für die Entwicklung der Menschen nicht ausgereicht hat. Um die ihm widerliche Sintflut-Lehre nahm VOLTAIRE zumindestens zeitweise an, daß von Italien zurückkehrende Pilger Muscheln vom Meere als Souvenir oder gar Nahrung mit nach dem Norden nahmen und bei der Alpenüberquerung, vielleicht in Schweiß gekommen, wegwarfen. Sie versteinerten. Um Meeresfossilien auf Bergeshöhen zu erklären, debattierte auch der paläontologisch interessierte Weimarer Pfarrer SCHRÖTER 1778 (S. 80), daß Affen Conchylien auf hohe Berge tragen. Es wurde auch mit Erd- und Seebeben argumentiert, die, nach MORO, Conchylien hoch emporschleuderten. So kann man sich also auch verrennen,

Die **Auseinandersetzung mit der Auffassung VOLTAIREs** bezeugt etwa der Student JOHANN WOLFGANG GOETHE in seiner Straßburger Zeit, vom Frühjahr 1770 bis August 1771. In seiner Autobiographie "Aus meinem Leben. Dichtung und Wahrheit" schreibt GOETHE: "Da ich aber nun gar vernahm, daß er" - also VOLTAIRE - "um die Überlieferung einer Sündflut zu entkräftigen, alle versteineten Muscheln leugnete ..., so verlor er gänzlich mein Vertrauen: denn der Augenschein hatte mir auf dem Baschberge deutlich genug gezeigt, daß ich mich auf altem abgetrockneten Meeresgrund, unter den Exuvien seiner Ureinwohner, befinde. Ja, diese Berge waren einstmals von Wellen bedeckt, ob vor oder während der Sündflut, das konnte mich nicht rühren ..."

Etwas später, 1775 /1776, hat der von Göttingen nach seiner Heimatstadt Bern zurückgekehrte und dort 1777 gestorbene ALBRECHT von HALLER in Briefen die Ablehnung der christlichen Lehre durch VOLTAIRE zu widerlegen versucht. HALLER, der als einer der ersten die Alpenschönheiten poetisch feierte und die Schweizer Berge kannte, konnte leicht darauf verweisen, daß Meeresfossilien auch auf Bergen gefunden werden, auf die zurückkehrende Mittelmeerreisende niemals aufsteigen. Das millionenfache Wegwerfen von Meeresfossilien an so vielen Orten wäre undenkbar (II, S. 198). Und vor allem gibt es auch Organismenreste, die nicht vom Mittelmeer stammen können, 'indianische', gemeint wohl 'indische', Muscheln (II, S. 199) und auch die "Millionen" auffindbarer "Ammonshörner ... waren weder Austernschalen noch Jacobsmuscheln" (I, S. 105). HALLER konnte jubeln: "Hier hilft kein spotten, die Natur spricht: sie zeigt zum verstummen aller Ungläubigen, daß die Thiere und Gewächse der heißesten und entferntesten Gegenden" vorkommen ... "daß folglich ein allgemeines Meer die in allen Theilen der Welt erzeugten Thiere und Gewächse durch einander gemischt, ..." Auch der moderne Paläontologe muß hier HALLER recht geben.



Abbildung 9: Vermeintlicher Fischrogen. Gröna.

Der Schweizer G. S. GRUBER hatte 1773 an Hand von noch in den Felsen steckenden Bohrmuscheln gemeint, daß diese nicht eine Flut hätten herbeiführen können, aber diese Bohrmuscheln davon zeugen, daß in der Schweiz einst ein Meer war (R. LAUTERBORN 1930, S. 245)- was nun der Auffassung HUTTONs schon nahe kam.

Man konnte sich auch gewaltig täuschen. Kleine kugelförmige Gebilde in einer **Ro-genstein** genannten Schicht des Unteren Buntsandsteins wurden als **Fischlaich angesehen**, sind aber anorganischer Natur, sind Ooide.

Von paläontologischer Seite wurden von WALCH (zitiert aus J. S. SCHRÖTER 1778, S. 81 ff.) folgende Auffassungen gegen die Sintflutannahme angeführt: 1. Landtiere sind nicht ebenso häufig wie Seetiere, 2. die schwersten Körper liegen nicht tiefer als die leichten, 3. die unteren Schichten der Berge müßten bei gleichem Material so hart wie obere sein, 4. bei einer Sintflut fänden sich nicht so oft Fossilien gleicher Art ("einerlei Geschlechtsart") in so regelmäßiger Lage oft in ganzen Klumpen, 5. ja es gäbe ganze Bänke nur aus einer einzigen Muschel- oder Schnecken-Art, 6. in niedrigen Gegenden müßten bei Absetzung während der Sintflut die Versteinerungen seltener sein, 7. es fänden sich keine Hausgeräte und Kunstwerke, 8. manche Schichten wären für die Absetzung durch eine Flut viel zu dick.

Gegen eine erdweite Flut sprach auch die **Biogeographie**. J. F. BLUMENBACH verwies 1790 auf die nur in Südamerika lebenden Faultiere. Wäre die Arche Noah mit sämtlichen Tierarten der Erde am Berge Ararat gestrandet, so war nicht zu verstehen, wie die auf Baumleben angewiesenen Faultiere über den Atlantischen Ozean hätten nach Südamerika kommen können.

Ein weiteres Problem: Wollhaarige Elefanten und Nashörner im Permafrost Sibiriens nicht als kälteangepaßte eigenen Arten erkannt

Elefanten und Nashörner galten als Tiere der Tropen. Aufregend, als nicht nur Elefanten-Stoßzähne, sondern durch die Große Nordische Expedition und durch PALLAS solche Tiere und auch noch behaart im Frostboden Sibiriens gefunden wurden. Im Winter 1771/1772 erhielt PALLAS (1777/1986, S. 47) in Irkutsk "das Gerippe eines Rhinoceros mit der ganzen Haut, einigen Überbleibseln von Flechsen, Bändern und Knorpeln", das im gefrorenen Boden an einem Nebenfluß der Lena, am "Wiljuistrom", geborgen worden war. PALLAS lieferte eine erste genaue Beschreibung eines solchen Fundes (F. RATZEL 1887, S. 85). Der 'wohlerhaltene' Kopf und ein Fuß wurden an das Naturalienkabinett der Akademie in Petersburg gesandt (P. S. PALLAS 1777/1986, S. 47). War es in Sibirien einst wärmer gewesen? Oder hatte eine Flut diese Kadaver aus dem fernen Süden, aus Indien, herangespült? Das mußte, wie immer man sie deutete, eine gewaltige Flut gewesen sein! PALLAS (1777/1956, S. 47) meinte, der Rhinoceros-Rest "dient zu einem unwidersprechlichen Beweise, daß nur die heftigste und plötzlichste Flut diesen toten Körper bis in jenen kalten Himmelsstrich fortzuführen vermochte, ehe noch die Verwesung Zeit hatte, dessen weiche Teile zu zerstören." Und: "Eben diese, bald zerstreut, bald in ganzen Skeletten und gar haufenweise beieinander liegenden Gebeine müssen einen jeden, der sie in ihren natürlichen Lagern betrachtet, von der Wirklichkeit einer auf unserer Erde vorgefallenen Überschwemmung, von einer Katastrophe überzeugen, deren Wahrscheinlichkeit mir selbst so lange problematisch geblieben war." Damit war auch durch die fossilen Großsäuger Sibiriens eine große Flut noch einmal gerettet, eine Katastrophentheorie scheinbar bewiesen. Ja, nur weil man die besondere Natur und andere Umwelteinpassung der fossilen Großsäuger in Sibirien nicht erkannt hatte!

Eine **Alternative** war, daß **Sibirien** etwa durch BUFFON ein einst **wärmeres Klima** zugeschrieben wurde, Elefanten und Nashörner damals dort leben konnten und bei allmählicher Abkühlung nach Süden zurückwichen (W. E. GARUTT 1964, S. 9). Aber vor allem war wegweisend, daß nach einer in den 'Philosophical Transactions' veröffentlichten Zeichnung eines Mammut-Schädels G. CUVIER 1796 in fossilen und rezenten Elefanten **unterschiedliche Arten** sah und BLUMENBACH benannte 1799 das also gegenüber anderen Elefanten eigenständige Mammut ***Elephas primigenius*** (W. E. GARUTT 1964, S. 10/11). CUVIER hielt aber daran fest, daß ein Elefantenwesen in einem frostfreien Klima gelebt haben muß und wenn welche eingefroren wurden, dann mußte dem ein rascher katastrophaler Kälteeinbruch zugrundeliegen (W. E. GARUTT 1964, S. 127). Von

der Katastrophe kam er also nicht los, wenn sie auch weniger gewaltig war als die von dem gar nicht dazu so geneigten PALLAS.

Es blieb eine Frage der Paläontologie, **ob man aus der Umwelt heutiger Arten auf die Umweltbedingungen**, etwa die Temperatur, **ausgestorbener schließen kann** und ob verwandte Arten ganz unterschiedliche Umweltbedingungen haben. Immerhin ist das Mammut viel mehr behaart als die schütter behaarten rezenten Elefanten und des Mammut gebogenen Stoßzähne lassen auch an andere Lebensbedingungen denken, nämlich das Wegschaufeln von Schnee.

Pfarrer zwischen Bibel und Petrefaktenkunde, Sintflut ja oder nein: SCHRÖTER

Zwischen Anerkennung und Ablehnung der Sintflut-Auffassung erscheint JOHANN SAMUEL SCHRÖTER, der 1735 geborene Sohn des Schulrektors in Rastenburg in Nord-Thüringen, der in Jena sowohl Theologie wie Naturwissenschaften studierte (W. HEß 1891). Er wurde 1756 erster Diakonus an der Stadt- und Pfarrkirche zu St. Petri und Pauli zu Weimar, zugleich aber wegen seines großen Interesses für Fossilien Verwalter des Weimarer Naturalienkabinetts. SCHRÖTER starb als Superintendent und erster Prediger in Buttstädt am 24. März 1808. Er veröffentlichte ab 1774 die "Vollständige Einleitung in die Kenntniß und Geschichte der Steine und Versteinerungen" und suchte darin vor allem auch die Ansichten verschiedenster Autoren zusammenzufassen. Er meinte zur Herkunft der Fossilien (1778, S. 92): "Aber bey der Bestimmung der Ursachen selbst, glaube ich, gebiete es die Hochachtung, die wir als Christen den göttlichen Schriften schuldig sind, daß wir keine Ursache annehmen, die ihnen gerade zu widerspreche, und dahin zähle ich besonders die Meynung, daß unser ganzer Erdboden ehemals Meer gewesen sey". Es wurden schließlich auch verschiedene Ereignisse für die Erdgestaltung erörtert, vielleicht gar verschiedene Fluten (J. S. SCHRÖTER 1778, S. 88 / 89).

Ereignis an der Erdoberfläche: Wasserkreislauf

Gegen die Sintflutauffassung wurde auch ins Feld geführt, daß es keine Erklärung gab, woher das viele Wasser gekommen ist und wohin es wieder floß.

Im späten 16. Jh. und dann im 17. Jh. wurde deutlich, daß sich **alles irdische Wasser in einem dauernden Kreislauf** befand. BERNARD PALISSY meinte, vor allem in seinem "Discours Admirables" von 1580, daß alles Wasser in Brunnen oder Quellen von den Niederschlägen, vom Regen stammt (s. 1957). Im Jahre 1674

veröffentlichte PIERRE PERRAULT (M. et A. K. BISWASS 1974) sein Werk "De l'origine des fontaines", in dem er nach Messungen im Einzugsgebiet der Seine zu der Schlußfolgerung kam, daß die Flüsse nur von Regenwasser gespeist werden. Allerdings sollte der Regen nicht für alles Grundwasser im Erdboden ausreichen. Zur Auffassung vom Wasserkreislauf bekannten sich auch P. DE LA HIRE, MARIOTTE, PURCHOT, J. CASSINI, VALLISNERI.

Wasser stand nicht überall reichlich zur Verfügung. Sicherlich war es selten so prekär wie im Fläming, einem Höhenzug in der südlichen Mark Brandenburg. Von wo KARL FRIEDRICH KLÖDEN im Jahre 1835 schrieb: "Hier giebt es Dörfer, wo der Schulze täglich den Bewohnern das Wasser aus dem einzigen Brunnen zumißt und ihn dann verschließt, und Mancher stirbt, der im Leben nicht gebadet hat, weil er über so viel Wasser nicht gebieten konnte, als dazu erforderlich ist ..."

Gutes und reichlich Wasser war eine der großen Herausforderungen, der sich die Geologie immer zu stellen hatte und in der Neuzeit fast mehr als manchmal einst, wo es ganze Regionen mit Wasserknappheit gibt.

Beobachter ohne zu viel Spekulation in der Erforschung der Erdkruste im 18. Jahrhundert

Neben den phantasievollen Erbauern umfassender Gedankengebäude, eben der 'Systeme', gab es auch den Beobachter, der sich mehr mit Einzelheiten befaßte. Es ist allerdings zu bezweifeln, daß ohne umfassende Gedankengebäude die Geologie vorangekommen wäre, da doch viele Beobachtungen für oder gegen bestimmte Beobachtungen angestellt wurden und die Hypothese, auch wenn sie nicht Bestand hatte, zur Überprüfung leiteten.

Zu den mehr als Beobachter tätigen Forschern wurde als "der theorieloseste, fast phantasieloseste" HORACE BENEDICT DE SAUSSURE bezeichnet (M. PFANNENSTIEL 1940), der einer der ersten Alpengeologen war. Daß gerade mit der Kenntnis der Tatsachen sich die einfachen Erklärungen als unzureichend erweisen, erkannte E. G. F. WREDE (1794). Mit der Zahl der Tatsachen wächst nach seiner Ansicht die Zahl der Erklärungsnotwendigkeiten. Das spräche gegen die dem menschlichen Geist vorgegebenen Kategorien - eine Kritik offensichtlich an KANT. Es wurden auch Reisen durchgeführt, um Gesteine und Bodenschätze aufzuzeichnen, geologische Verhältnisse zu untersuchen und zu beschreiben. Während noch vieles in Worte gefaßt wurde, gab es auch schon kartographische Darstellungen der Gesteinsverbreitung. Es gab also in manchen Territorien eine erste geologische Aufnahme. Vorbildlich bereist wurde Kursachsen ab 1771 durch JOHANN FRIEDRICH WILHELM von CHARPENTIER (H. BALMER 1969). Er stammte

aus einer alten Adelfamilie, die zur Zeit von LUDWIG XIV. wegen der Aufhebung des Edikts von Nantes nach Sachsen auswanderte. CHARPENTIER legte seine Ergebnisse in dem Werke "Mineralogische Geographie der Chursächsischen Lande" nieder. Wie er hierin mitteilt (S. XVI) nahm er in jedem Jahre "nur einige Districte vor, um nach und nach mit dem Ganzen bekannt zu werden." Er meinte: "Kein wichtiger Ort ist hoffentlich von mir übergangen worden", und er versicherte, daß er "hierbey weder Mühe noch Gefahr gescheuet habe, die chursächsischen Gegenden zu durchsuchen, die Berge und Gebürge zu besteigen, die wichtigsten Gruben zu befahren, und mich auch in die verlassenen Baue der Alten zu wagen, sobald ich nur einige Entdeckungen zu machen wußte, die mir einige Aufklärung in der Naturgeschichte unserer Gebürge versprochen." Manche Orte besuchte CHARPENTIER auch mehrfach. Es versicherte, daß es keine Vorgänger gab, nach denen er sich in Kursachsen hätte richten können. Um ein Beispiel dieser mineralogisch - geologischen Beschreibung von CHARPENTIER zu geben, sein Besuch in Seiffen (S. 133): "Bey Seiffen hingegen zeigt sich mehrere Gelegenheit zur Kenntniß des Innern dasigen Gebürge. Eine große Menge Pingen, Halden und verbrochener Schächte, die man daselbst antrifft, sind Ueberreste eines ehemals auf Zinn und Kupfer beträchtlichen Bergbaues;... Den Gneuß, woraus...das ganze dasige Gebürge besteht, siehet man an den steilen Wänden dieser Pingen ..."

Der preußische Oberbergrat JOHANN JAKOB FERBER veröffentlichte 1773 seine "Briefe aus dem Wälschland", das über seine Gesteins- und Mineralbeobachtungen in weiten Teilen Italiens berichtete. Im Jahre 1774 folgten FERBERs ebenfalls auf Reisebeobachtungen aufbauenden "Beyträge zu der Mineral - Geschichte von Böhmen". Ebenfalls 1774 veröffentlichte IGNAZ Edler von BORN, was er 1770 an Gesteinen, Mineralien und technologischen Beobachtungen bei einer mineralogischen Reise durch Ungarn und nach Siebenbürgen festgestellt hatte. Der Ilmenauer Bergrat JOHANN CARL WILHELM VOIGT trat 1794 mit der Schrift "Mineralogische Beschreibung des Hochstifts Fulda und einiger merkwürdigen Gegenden am Rhein und Mayn" hervor. An die Beschreibung der geologischen Gegebenheiten in den verschiedenen besuchten Landstrichen schließen sich allgemeine Überlegungen an, die zu manchen der geführten Debatten der damaligen Zeit Stellung nehmen. Die Gegend südlich von Fulda, also die Rhön, wird etwa mit den Worten beschrieben (S. 4): "So bergicht das Land ist, so hängt es doch mit keinem Gebürge zusammen. In tiefen Gegenden, Gründen und Thälern findet sich durchgehends entweder Sandstein, oder rother sandiger Thon, und Kalchstein, welche älter sind als die vulkanischen Berge, die unter demselben hervorgebrochen, und das Land in so großer Anzahl besetzen." Dem Buch ist eine gewiß einfache geologische Karte angehängt. Italien und namentlich Sizilien bereiste in den Universitätsferien, der "Sommer - und Herbstvakanz" des Jahres 1788 SPALLANZANI und beschrieb seine Beobachtungen in den auch ins Deutsche übersetzten "Reisen in beyde Sicilien

und in einige Gegenden der Appenninen" (dtsh. 1795). Es gab später Geologen und Geologiehistoriker, die solche sachliche, auf die Fakten gerichtete Arbeit höher als die Debatten um Hypothesen schätzten, etwa, wenn H. VOGELSANG 1867 (S. 101) von der 'gesunden Richtung der Bergmännischen Oppositionspartei in Sachsen' schreibt. Aber es ist zu bezweifeln, ob ohne die zwar einseitigen, aber zur Widerlegung herausfordernden umfassenden Ansichten ein einigermaßen verständliches Bild von der Erdentwicklung geschaffen worden wäre.

In diese Sammlung von Beobachtungsmaterial fällt auch die Besteigung des höchsten Berges der Alpen, des 4807 Meter hohen Montblanc. DE SAUSSURE setzte eine Belohnung für die Erstbesteiger aus. Am 7. August 1786 18. 25 Uhr haben nach fast 15 - stündigen Aufstieg JACQUES BALMAT und der Arzt MICHEL GABRIEL PACCARD aus Chamonix auf dem Gipfel dieses Berges gestanden und am 2. August 1787 stand unter Führung von BALMAT ebenso der Naturforscher und vor allem auch Geologe DE SAUSSURE selbst auf dem Gipfelplateau des Montblanc (M. PFANNENSTIEL 1940).

Wie schon vorher blieben auch im 18. Jh. der Bergbau mit der Erforschung des Werdens der Erdkruste verbunden, war doch das Aufsuchen von Bodenschätzen oft aufwendig und konnte leicht Geld sinnlos verpulvert werden. So meinte auch der preußische Bergrat JOHANN GOTTLOB LEHMANN 1756 zum praktischen Nutzen der Erforschung der Erdkruste (Vorrede): "Wie manche unnützliche Bergbaue würden unterbleiben, und allen Projectmachern im Bergbau wäre hierdurch das Handwerck gelegt, folglich würde mancher sein Geld behalten, und nicht so schändlich drum betrogen werden". Steinbrüche gab es schon im 18. Jh. mannigfaltig. Vom Bautzener Land in der Oberlausitz schrieb J. F. W. CHARPENTIER 1778 (S. 31), daß "in demselben große Steinbrüche angelegt" sind.

Zu den Auffassungen über die Bildung der Gesteine im 18. Jahrhundert

Im 18. Jahrhundert zuerst AXEL FREDRIK CRONSTEDT (U. BOKLUND 1971, K. von FRITSCH 1888) 1758 zur **Unterscheidung der Mineralien und Gesteine**, der "Erdarten" und der "Steinarten". Mineralien sind alle festen oder tropfbar flüssigen Körper, die in der Natur vorkommen, wobei sie im allgemeinen einheitlich, wenn auch oft kompliziertere chemische Verbindungen sind. Von den zahlreichen Möglichkeiten, mit denen chemische Elemente sich miteinander zu Verbindungen kombinieren, wurde in der Natur auf der Erdkruste nur ein Teil verwirklicht. In der Mitte des 20. Jh. kannte man etwa 1800 verschiedene Mineralien. Ständig neue kamen hinzu. Mineralien kommen nur in geringer Zahl unvermischt in

großen Massen vor, so Calciumcarbonat, "Kalk", und werden dann auch als "Gesteine", eben etwa "Kalkstein", bezeichnet. Meistens sind Mineralien miteinander kombiniert. Viele Gesteine sind aus verschiedenen Mineralien zusammengesetzt. Manche Gesteinsnamen gehen auf ältere Zeiten zurück, viele wurden im 18. oder gar erst im 19. Jahrhundert gegeben beziehungsweise erst seitdem im neueren Sinne benutzt (s. etwa K. VON FRITSCH 1888). Der Name "Gneis", "Gneuss", im petrographischen und geognostischen Sinne wurde von FERBER und CHARPENTIER benutzt. Der Name "Grauwacke" wird zurückgeführt auf VON TREBBA 1785, Glimmerschiefer und Tonschiefer auf VOIGT 1785 und WERNER 1786, der Name "Dolomit" stammt von HAUY 1819 (K. VON FRITSCH 1888).

Die verschiedensten Mineralien der Erdkruste wurden aus Felsen oder Bergwerken herausgehämmert und gesammelt und die Chemiker suchten ihre chemische Zusammensetzung zu ermitteln. Bei der Zerlegung vieler Mineralien, die oft Salze sind, wurden etwa in der Hitze oder bei Einwirkung etwa von Schwefelsäure "Erden" beziehungsweise "Basen" gewonnen. Aus den Unterschieden der "Erden" wurde deutlich, daß ihnen unterschiedliche chemische Elemente zugrundeliegen, von denen man manche wie Nickel 1754 darstellen konnte, andere, reaktionsfähige, so Alumnium, aber zunächst nicht rein erhielt. Der Schwede DANIEL TILAS prägte für eines der verbreitetsten Mineralien den Terminus "Feldspat" (feldspar) (N. SPJELDNAES 1976). Namentlich CORDIER trennte zuerst mechanisch die einzelnen Mineralbestandteile von Gesteinen, in denen die Mineralien vielfach eng miteinander verwoben sind. Die einzelnen Mineralbestandteile wurden von CORDIER auch mit dem Mikroskop untersucht.

Zur "Entstehungsart der Steine" (J. S. SCHRÖTER 1774, S. 25 ff.) gab es manche Ansicht. Wie SCHRÖTER (1774) darlegte, äußerten sich manche 'Schriftsteller' mehr über die Materie, aus welcher die Steine bestehen, suchten also ihre chemische Zusammensetzung zu ergründen, während sich andere Gedanken machten über die Art und Weise ihrer Entstehung. Diese unterschiedliche Betrachtung der Gesteine bestand übrigens später fort. In der zweiten Hälfte des 18. Jh. führte etwa KRÜGER alle Steine auf Ton und Sand zurück, ließ sie NEUMANN aus einem Schleim hervorgehen. LEIBNIZ hatte die einen Steine auf Feuer, andere auf Wasser zurückgeführt. Angenommen wurde, etwa auch von SCHRÖTER, daß die Erde einst glutflüssig war. Die Erstarrungskruste bildete eine Art Glas. Der Grund der Erde wäre Glas. Es wurde vermutet, daß sich Gesteinsentstehung im Laboratorium nachahmen läßt. SCHRÖTER meinte (1774, S. 27), "...man würde viele unterirdische Arbeiten der Natur gewahr, die mit den Wirkungen der chymischen Laboratorien völlig überein kämen,..."

Ein Problem war **die Trennung, die Unterscheidung von Gesteinen**. Es war gehofft worden, wie bei den Lebewesen gemäß LINNÉs Unterscheidung gut

getrennte Spezies (Arten) auch für Mineralien und Gesteine zu finden. Aber bei den Gesteinen gab es, wie 1774 (S. 34) etwa JOHANN JACOB FERBER nach seinen Erfahrungen im sächsisch-böhmischen Erzgebirge schrieb, "große Aehnlichkeit", und er fand, daß sie "sich allmählig in einander verändern oder übergehen ..." "Die meisten Körper des Mineralreichs stellen nicht", wie er meinte (S. 35), "wie die Pflanzen und Thiere verschiedene Gattungen vor, sondern sind blose Abänderungen und verschiedene Grade der Mischung", was aber Einteilungen nicht ausschließen sollte. Die plausible Erklärung für die Übergänge war ohne Kenntnis der Gesteinsgenese allerdings nicht zu treffen, und von der Umwandlung der Gesteine durch Metamorphose wußte man noch nichts. Übrigens erwiesen sich auch die Tier - und Pflanzenarten beim Fortgang der Forschung auch als weniger voneinander geschieden, als zunächst erwartet worden war. Auch J. F. W. CHARPENTIER, der sich in Kursachsen gut auskannte, fand, daß man Granit wie Gneis ihrem Aussehen nach für "verschiedene Gattungen" (1778, S. 397) halten müßte, aber sie andererseits dieselben Bestandteile besitzen, und in ihren vielen Abänderungen können sie sowohl einander als auch anderen Gesteinsarten sich annähern. Auch hier, meinte J. F. W. CHARPENTIER, "thut" die Natur keinen Sprung, sondern geht anscheinend "von einer Hauptart zur anderen stufenweise" über. Merkwürdig erscheinen CHARPENTIER die zahlreichen andersartigen Gesteine im erzgebirgischen Gneis, so an manchen Orten Serpentin, vielerorts Marmor und Kalkstein.

Sammeln von Mineralien und Gesteinen

Manche, oft intellektuelle Menschen sind Sammler-Typen. Mineralien und Gesteinsstücke wie auch Schalen von 'Conchylien' oder viele Fossilien sind mindestens so gut aufzubewahren wie getrocknete Pflanzen. Forscher haben mehr aus solchen Sammlungen gemacht, wurden Mitbegründer der modernen Chemie und der Geologie, ja der frühen Evolutionsvorstellungen. Der Gothaer Staatsbeamte und nebenberufliche Geologe VON HOFF (K. DREIßIG et al. 2012, S. 18) besaß "eine mehr als 4400 Belegstücke umfassende Sammlung von Mineralien, Gesteinen und Fossilien". Sein Vater hatte dem jungen VON HOFF eine Sammlung des Ilmenauer Bergrates VOIGT gekauft. In Meinungen besaß HEIM eine von VON HOFF bewunderte Mineraliensammlung. Aus etwa 1500 Mineralien, Gesteinen und Fossilien bestand nach VON HOFF die 'Thüringer Waldsammlung.' In Ronneburg bewunderte VON HOFF die Mineraliensammlung des Brunnenarztes SULZER. In Berlin konnte 1807 VON HOFF die reiche Sammlung von KLAPROTH (K. E. A. VON HOFF 2012, 2012, S. 188) bewundern, der aus seinen Mineralien etliche chemische Elemente mehr oder weniger rein darstellte,

Die Schichtenabfolge und ihre Beschreibung

Frühe Schichtenbeschreibungen

Die Sedimentschichten sind die "Tagebuchblätter" der Erdkruste. Die Erfassung der Sedimentschichten, die Klarheit über ihre zeitliche Abfolge, war Voraussetzung aller Aussagen über die Erdgeschichte. Die plutonischen und vulkanischen Gesteine müssen in die Abfolge der Sedimente "eingehängt" werden, wobei der andersartige Charakter solcher Gesteine, ihre Herkunft aus Schmelzen, manchmal nicht anerkannt war.

Zum einen sollten alle fossilführenden Gesteine, also die Sedimente, nach der allgemeinen Ansicht **bei einem einzigen Ereignis** geschaffen worden sein, einer großen Flut, oft betrachtet als die in der Bibel beschriebene Sintflut. Aber das hielt nicht davon ab, **die dabei entstandenen Schichtenfolgen zu beschreiben**, auch wenn sie nach Annahme eines für alle geltenden Vorgangs keine Geschichte vorführen konnten, sondern eventuell nur eine Ausscheidungsfolge wiedergaben.

Der als Sintflutverteidiger aufgetretene BÜTTNER erwähnte 1710 (S. 56 / 57) die 9 unterschiedenen "Arten des Gebürges / welche in denen Eißleibischen Fund - Gruben bis auf den Kupffer - Stein angetroffen werden" und auch 11 "Steine" darunter, "bis auf das Leimige oder liegende", wobei etwa von "Zechstein 1. Elle dicke.", "3. Der Ober - Rauchstein" 1 einhalb "Ellen. 4. Unter Rauchstein" eineinviertel "Ellen" und eben anderem die Rede ist.

Die Schichtenfolge über englischen Kohlenlagern in Somerset beschrieb in kurzen Abhandlungen 1719 und 1721 JOHN STRACHEY (E. H. WARMINGTON 1976) 'A curious description of the Strata observed in the coal mines of Mendip in Somersetshire', dem er eine **stratigraphische Tabelle Englands** folgen ließ, in den Philosophical Transactions 30 und 33 (laut CHALLINOR bei H. HÖLDER 1985 b, S. 776). Mesozoische Schichten der späteren Terminologie, also Trias, Jura und Kreide, fand er dabei geneigt auf den Kohleschichten, die erste klare Darstellungen einer Winkel-Diskordanz durch einen britischen Autor.

Beschreibung von Schichtfolgen - in Mitteldeutschland und Italien, Weg in die neue Erdgeschichtsforschung

Ein Pionierarbeit in der Schichtenbeschreibung war das **1756** von JOHANN GOTTLIEB LEHMANN (B. v. FREYBERG 1932, 1973; H. PRESCHER 1969) veröffentlichte



Abbildung 10: J. G. LEHMANN.

Buch "Versuch einer Geschichte von Flötz-Gebirgen". In dem Werk beschrieb und zeichnete LEHMANN die Sedimentschichten von **Thüringen**, und zwar für dessen **zentrale Teile**, also die zwischen Thüringer Wald im Süden und Harz beziehungsweise den nordthüringische Höhenzügen im Norden, hat

LEHMANN wurde 1719 geboren als Sohn eines wohlhabenden Landwirtes am Rande des Elbsandsteingebirges in Langhennersdorf bei Pirna. Er studierte Medizin, gewann aber besonderes Interesse für Chemie und Erze. LEHMANN arbeitete für die Berliner Porzellanmanufaktur und sollte im preußischen Staatsdienst Empfehlungen für die Verbesserung des Bergbaus bringen, weshalb er, Zeit FRIEDRICH II. der GROSSE auf Reisen geschickt (H. HÖLDER 1985 b, S. 760). Er wirkte vor allem im Harz, wurde 1754 zum Bergrat ernannt, wurde Forscher in Berlin, folgte aber 1761 einer Einladung an die Kaiserliche Akademie der Wissenschaften in St. Petersburg. Hier starb er erst 47-jährig 1767. Im Laboratorium?

Als 'Flötz-Gebirge' bezeichnete man damals die Schichtgesteine, also die meistens flachen Sedimente. Der Begriff 'Gebirge' hatte nichts mit orographischer Erhöhung zu tun, sondern meinte lediglich die Gesteinsschichten, Gesteinskomplexe überhaupt. "Flötze" definiert LEHMANN als "Schichten von Erden und Steinen, welche horizontal übereinander liegen" (S. 132). LEHMANN wollte nur aus seinen Tatsachenerfahrung mitteilen, nichts, "was über den Begriff eines Bergmanns ist" (1756, Vorerinnerung). Er meinte sich vorhergehenden Ansichten anschließend, daß eine durch die vielen Versteinerungen (so S. 157) naheliegende

Flut alle die Schichtgesteine im Thüringer Becken absetzte, die wohl der Sündflut gleichzusetzen ist (S. 82). Jedoch, heißt es auch, wolle er in "diesen Blättern" seines Buches nicht "einen Ausspruch" tun, "ob die Sündfluth allgemein gewesen" (Vorrede). Bei aller Anerkennung einer Flut bei der Schaffung der Flötzgesteine hält er sich also in Richtung Bibel bedeckt. Viele Veränderungen in der Natur wären nicht auf die Sintflut zurückzuführen, geschahen danach, so durch große Stürme und Regen, Veränderungen der Meeresausbreitung, feuerspeiende Berge, Auflösung der Kalkgebirge (S. 86). Wie auch seine Abbildungen nahelegen: Auf den Höhen von Harz und Thüringer Wald, also mit der Erde entstandene 'urprüngliche' Gebirgen, wurde das Lockermaterial heruntergewaschen und bildete das Material, das sich in den tieferen Lagen, ab dem Fuß dieser Gebirge, als "Flötz-Gebürge" sammelte. Also, um das Bild zu vervollständigen: im Thüringer Becken und nördlich des Harzes und südlich des Thüringer Waldes. Das Absetzen der Schichten geschah in dem durch die Flut aufgewirbelten Material durch Absonderung nach der Schwere, die schwersten Teile fielen tiefer nach innen. Die tiefsten Flöz-Schichten hätten demnach die schwersten Komponenten. LEHMANN sah also nicht, daß es etwa in den obersten Schichten, dem Keuper heutiger Definition, wieder sandig-grobes Material gibt, also gröber als Material im Muschelkalk. Muscheln und Schnecken gäbe es nur in den obersten Schichten, denn sie konnten sich im Unterschied zu Säugetieren und ihren Resten im längsten bei der steigenden Flut im Wasser halten. LEHMANN beschrieb südlich des Harzes 31 Schichten. Die Schichten 30 bis 19 entstanden, als die Wasser über die höchsten Gebirge gegangen, die weiteren als die Wasser mit Gewalt fielen. Die Wasser verschwanden wieder im Meer, machten neue Seen und Meere, sanken in den Abgrund oder der Wind 'saugte' sie hinweg (S. 135). Als erstes setzte sich das 'rote Totliegende' ab, das, was am Anfang die Gebirge bedeckte (S. 135) auf dem vor der Flut vorhandenem Gestein. Muldenförmig wurden die Flöze angelegt, weil sich das Wasser nur noch 'geline' bewegte. Die Flut wird gar nicht einmal allzu grob gesehen, denn äußerte sich auch in dem von LEHMANN beschriebenem Gebiet nicht überall gleich. In dem Wasser gab es auch Löcher, wodurch Flözverkippen und Sprünge zustandekamen. Da die Flut nicht an allen Orten die gleichen 'Erden' aufwühlte, gibt es nicht an allen Orten die gleichen Flözsichten, nicht überall die gleiche Mächtigkeit. So gibt es bei Bad Freienwalde, also weit entfernt von Thüringen, nur wenige Schichten (S. 156). In diesen Äußerungen kann man schon so etwas wie einen Vorläufer des Faziesgedankens erblicken, zumindestens sind örtliche Verschiedenheiten in der Schichtabfolge bekannt. Der nördlich von Halle/S. liegende Petersberg habe den Lauf der Wässer beim Absetzen der Schichten aufgehalten und im 'Löbejüner Gebirge' wäre das 'Gebürge' deshalb sehr zerrüttet.

LEHMANN sah also **viele Phänomene**, von den wenig dicken Schichten auf den Gebirgen bis zu den Schichten unten und dortigen Verschiedenheiten. Aber die

Erklärungen, die "Theorie", war noch in vielem die bisherige. In der Stratigraphie war er der 'Vater' aber nur für Deutschland.

Eine ebenfalls zukunftsweisende Beschreibung für ein etwas begrenzteres Gebiet als LEHMANN lieferte **1761** GEORG CHRISTIAN FÜCHSEL (H. CLAUS 1926, B. HANSEN 1972, J. S. SCHRÖTER 1775, W. von SEIDLITZ 1932) für die **Schichtenfolge** in Teilen von **Südost-Thüringen**. Der 1722 als Sohn eines Bäckers in Ilmenau geborene FÜCHSEL studierte in Jena und Leipzig, promovierte in Erfurt und war bis zu seinem relativ frühen Tode 1773 Arzt und dabei 'Fürstlich Schwarzburg-Rudolstädtischer Hofmedicus'. Von ihm gibt es nicht ein einziges Porträt. FÜCHSEL beschrieb in seiner 1761 in den Acta der Erfurter Akademie erschienenen Abhandlung "Historia terrae et maris, ex historia Thuringiae, per monitum descriptionem, eruta" die Schichtenfolge am östlichen Ende des Thüringer Waldes, also im Rudolstädter Gebiet, in der Schwarzburgischen Gegend, wo sich der Blick auf die Schichten im Landschaftsbild regelrecht aufdrängt und auch deutlich wird, daß diese Schichtenfolge sich über ein weites Gebiet hin als immer gleichartig feststellen läßt. Wie es J. S. SCHRÖTER 1775 (S. 54) darlegte: "...einige dieser Berge kommen in Absicht auf die Bestandtheile dieser Schichten, in Ansehung der Art der Zusammensetzung, und der Lage, so sehr mit einander überein, daß sie ein eigenes Geschlecht der Berge ausmachen können. Man kann sie zusammengenommen ein Gebürge nennen". FÜCHSEL fand 9 verschiedene 'Gebürge', und 6 verschiedene 'Unterlager'. Die ursprünglich deutsche verfaßte, aber in eine schlechte Latein übersetzte Arbeit wurde nur durch die Verwendung durch andere Autoren ausgewertet. Er suchte aus den Sedimenten die Erdgeschichte des Gebietes zu erschließen, wobei er den aktualistischen Standpunkt vertrat. Als 'Formation' unterschied er jene Straten, die in derselben Zeit aus demselben Material und in derselben Weise gebildet worden waren. Mit Hilfe von Fossilien korrelierte FÜCHSEL gleiche Straten an verschiedenen Lokalitäten. Wie J. S. SCHRÖTER berichtet (1755, S. 506), bewahrte er seine Sammlung in einem einzigen großen Schranke auf, "in welchem die verschiedenen Steinarten in eben der Ordnung lagen, in welchem sie in den Bergen in Schichten oder Flötzen zum Vorschein kamen". Er entwarf auch eine publizierte geologische Karte, 1761, auf der also die Verbreitung der verschiedenen Gesteine im Rudolstädter Gebiet kartographisch dargestellt waren. Die Karte war aber noch nicht farbig. Gleiche Schichten beziehungsweise gleichen Gesteine erhielten gleiche Zahlen.

Etwa später, zu Anfang der 1760-er-Jahre, beschrieb südlich der Alpen die Sedimentabfolgen GIOVANNI ARDUINO (oder: ARDUINI) (J. J. FERBER 1773, F. RODOLICO 1970). Seine Termini setzten sich als die Begriffe der **Grobeinteilung** der Gesteinsabfolgen und so auch Erdgeschichte durch: '**primär**', '**sekundär**', '**tertiär**', '**quartär**'. Die Benennungen Primär - und Sekundärzeitalter

wurden lange benutzt und die Bezeichnungen 'Tertiär' und 'Quartär' sind noch heute Termini der Stratigraphie. Geboren in armen Verhältnissen, fiel ARDUINO durch seine Intelligenz auf und wurde von einer Marchesa gefördert. Er arbeitete wie LEHMANN im Bergbau, wurde ein Bergbausachverständiger und dann einer jener vielseitigen, auf ökonomischen Nutzen bedachten Wissenschaftler des 18. Jahrhundert, deren Wirken für die Erschließung von Ressourcen, für Landwirtschaft und Gewerbe, die durch Bevölkerungswachstum und Umweltübernutzung entstandenen Nöte der Zeit zu lindern versuchten. In dieser Weise diente er dem Senat der Republik Venedig und ging nebenher der Geologie nach. Im nordöstlichen **Italien, südlich der Alpen**, sah er 4 große Folgen von Schichten, die in bestimmten Gebieten die Oberfläche bestimmten (hier nach: J. J. FERBER 1773). **Montes primarios** nannte ARDUINO die Schiefergebirge, die tiefste Gebirgsart "im Vincentinischen und Veronesischen", die man "nirgends durchschritten hat" (S. 40). Die Gesteine der Primärordnung unterteilte er weiter, in einen unteren Teil und einen oberen Teil, wobei die letzteren Sedimente sind, kalkige oder Sandsteine (F. RODOLICO 1970). **Montes secundarios** hießen die Kalkgebirge mit ihren versteinerten Meerestieren, die einen Teil der südlichen Alpen "ausmachen". Gerade innerhalb der Sekundärgebirge wurden zahlreiche feinere Schichten deutlich. **Montes tertiaris** wurden die Schichten genannt, die ebenfalls aus kleinen Kalksteinschichten bestehen, aber ebenso aus Sand - und Tonschichten zusammengesetzt sind und bei denselben Fluten zustandekamen. Sie wurden aber auf den Montes secundarios aufgesetzt. Dazu traten die andere Schichten durchbrechenden vulkanischen "Gebürge". ARDUINO kannte auch den Wechsel in der Fossilwelt und nahm andere Gedanken späterer Zeit, so zum Aktualismus, vorweg.

Daß auch vor der Sintflut einiges auf der Erde stattgefunden hatte und es keine Zeit ohne Geschehen war, ja es nicht eine einmalige Schöpfung gab, meinte der 1817 90-jährig gestorbene Schweizer Geologe DE LUC (C. SCHWEIZER 2008, S. 259), der also von den noch zaghafte wissenschaftlichen Anfängen bis in die klassische Zeit der Geologie hineinragt. Die Stratenfolge ließ ihn 2 Skalen aufstellen, eine nach den Schichten, den Gesteinen, und eine andere nach den Fossilien, also eine lithologische und eine paläontologische Abfolge.

Auch die **Aufeinanderfolge anderer Gesteine** als der im wesentlichen unveränderten Sedimente wurden schließlich beschrieben, wobei allerdings bedacht werden muß, daß manchmal alle Gesteine als Bildungen im Meer gesehen wurden. JOHANN JACOB FERBER (1774, S. 32) und andere betonten, wie im sächsisch-böhmischen Erzgebirge auf den Granit, wenn er nicht die Erdoberfläche bildet, der Schiefer folgt und dieser wiederum von Kalkstein überlagert sein kann. Und FERBER zog die Schlußfolgerung, "diese drei sind die ältesten, mächtigsten und ansehnlichsten Schichten der Hauptgebirge unseres Welttheils", und auch, wo der

Granit nicht bedeckt ist, "behält gleichwohl die angegebene Lage dieser drey Gebirgsarten ihre richtige Ordnung." Trotzdem könne man nach FERBER "der Natur wohl nicht das Vermögen absprechen ..., in späteren sowohl als in ältesten Zeiten, wenn immer die Gelegenheit dazu vorfiele, Granit oder andere Steinarten zu machen." Diese Meinung ist hervorzuheben, weil bald der führende Geologe WERNER die zeitweilig anerkannte Lehre bringt, daß die Gesteine zeitgebunden sind, also nur in bestimmten Epochen entstanden.

Versuche der möglichst monokausalen Erklärung der Vorgänge in der Erdgeschichte - "Systeme"

Es gab Versuche, die Gestaltung der Erdkruste auf möglichst wenige Faktoren, wenige Kräfte zurückzuführen und damit die Phänomene auf der Erdkruste zu erklären. Die **Vielheit** der Phänomene sollte möglichst **monokausal**, durch im Extremfall eine oder doch wenige wirkende Vorgänge erklärt werden. Diese Theorien hießen "**Systeme**". Dieser Begriff darf nicht verwechselt werden mit dem "System" im Sinne der Ordnung, der Anordnung, etwa der Naturkörper, nach Klassen, Ordnungen und anderen systematischen (taxonomischen) Kategorien. Einen Prototyp dieses Denkens in einem "System" hatte der Philosoph RENÉ DESCARTES vorgeführt, der die grundlegenden Auffassungen auf Ableitung aus angeblich evidenten Prinzipien zurückführen wollte, was dann für viele auch auf konkretes Wissen anwendbar wäre. Wie der Naturforscher und Geologe ANTONIO-LAZZARO MORO für die für die Erdgeschichtsforschung benutzten "Systeme" formulierte (1751, S. 348): "Nach des VALLISNIERI guten Einsicht, ist es eines von den gewissesten Kennzeichen eines tüchtigen und gründlichen Lehrgebäudes: wenn jedes Phänomen, das dahin gehöret oder gezogen werden kann, sich aus dessen Sätzen leicht und deutlich erklären läßt". Die 'Systeme' krankten daran, daß sie auf einer oft nur lokalen Beobachtungsbasis aufbauten, nach den Worten von LUDWIG CHOULANT (1843, S. 7) rückblickend: "Die meisten unhaltbaren Systeme der Geologie sind ja eben dadurch entstanden, daß jeder Einzelne fast nur über die Erscheinungen der ihm bekannten Gegend Rechenschaft zu geben versuchte, unbekümmert um das, was die andern anders lehren möchten, jeder nur Einzelnes erklären wollte und darüber die umfassende Betrachtung des Ganzen versäumte". Kritik am Zurechtbiegen der Fakten übte etwa H. VOGELSSANG 1867 (S. 77), der eine "Philosophie der Geologie" bieten wollte und in ihr gerade den Versuchen, aus wenigen Beobachtungen eine allgemeine Theorie auszuarbeiten, "die Natur" zugunsten...zu Gunsten einer vorgefassten Theorie" zu interpretieren eine Absage erteilte. Mochte die Kritik an einer "geogenetischen Universalhypothese" (H. VOGELSSANG 1867, S. 118) noch so berechtigt sein, ja sie etwas "Undenkbare"



Abbildung 11: MORO.

(ebenda) darstellen, so ist doch zu bezweifeln, ob ohne solche grandiosen Vereinfachungen die Erdgeschichtsforschung voran gekommen wäre, da man großzügig erfaßte, was dann zur Widerlegung durch andere erst einmal beobachtet werden mußte. Um die großen Züge der Erdgestaltung zu erfassen, war es, um mit DE SAUSSURE (1781, II. Theil, S. IV) zu sprechen, nötig, daß man "seine Augen" nicht nur auf "kleine hie und da gefundene Steine oder Versteinerungen" "heftete", um sein Naturalienkabinett zu mehren, sondern, daß der "freyere" Blick "auf das Ganze der Berge, auf ihre Bestandtheile überhaupt, auf die Lage ihrer Schichten, u. s. w." nötig wurde. Die Beschreibung der verschiedenen Ansichten, der verschiedenen Systeme erfolgte aus Gründen der Pointierung manchmal zu schroff, zu scharf, nur unter Heraushebung von einigen Gesichtspunkten, aus Verständnisgründen scharf entgegengesetzt formuliert im 19. Jh. etwa von WHEWELL (M. J. S. RUDWICK 1971).

Erdgestaltung durch Vulkane und keine biblische Sintflut - ANTONIO-LAZZARO MORO

Der Italiener MORO (A. L. MORO 1751, R. THOMASIVS 1974) sah im **Vulkanismus den alles schaffenden Faktor** der Erdkrustengestaltung, angeregt nach eigener Darstellung vom Anstieg einer Insel bei Thera/Santorin. Unter dem Titel "Neue Untersuchungen der Veränderungen des Erdbodens" erschienen seine Gedanken 1751 auch in deutscher Sprache.

Die Sintflut habe wenigstens für die Erklärung natürlicher Erscheinungen keine Bedeutung, denn: "Wenn daher die Sündfluth aus keinen natürlichen Ursachen hergerühret hat, die Seekörper aber auf Berge natürlicher Weise sehr wohl haben kommen können: so kann dieses aus jenem nimmermehr hergeleitet werden" (A. L. MORO 1751, S. 25). Er will also eine 'unnatürliche Sintflut', die der Bibel gelten lassen, aber nicht diese soll die 'natürlichen' Fossilien transportiert haben. Sicherlich will er die Bibel damit gerettet wissen und dennoch der Naturforschung ihre Freiheit geben. Der heutige Leser wird sich fragen, ob MORO mit dieser 'doppelten Wahrheit' eher ironisch war oder daran glaubte. Weitere Argumente gegen eine allgemeine Flut waren etwa, daß sich Meeresfossilien nicht auf allen Bergen einer bestimmten Höhe finden lassen, wie bei einer erdweiten Flut erwartet werden müßte. Eine Sonderung der Materialien nach der Schwere gab es ebenfalls nicht. Es gibt Stellen, wo Stein und Marmor sich auf den Bergspitzen befinden und darunter lagert Erde, Sand oder Ton. Auch schwere Metallminen liegen mancherorts hoch. MORO berechnete auch, auch wieviel Wasser erforderlich gewesen wäre, um die Gebirge bis obenhin zu bedecken. Die dafür erforderliche Wassermenge hätte nicht zur Verügung stehen und wieder abfließen können.

Die Erdkruste und ihre Gesteine waren nach MORO vulkanischen Ursprungs. Anregung für diese Idee war ihm nach eigener Darstellung der Aufstieg einer Insel aus der Ägäis bei der Vulkaninsel Santorin im Jahre 1707. Alte Schriftsteller berichteten über den Aufstieg anderer Inseln. Stiegen zahlreiche kleine Inseln nebeneinander auf, so bildeten diese eine große Insel. Manche Berge stiegen bereits empor, als das Meer noch ohne 'Seekörper' war. Damals war der Boden noch steinhart wie die aus ihm emporgehobenen Berge, die deshalb aussehen, wie "schreckliche, ganz entblöbte Meerklippen". Ebenfalls gäbe es den Aufstieg feuerspeiender Berge. Auch warf der Vesuv bei einem Ausbruch ausreichend Asche aus und bewies auch damit Schichten - und Landbildung durch Vulkanismus. Zur Zeit des Kaisers VESPASIAN habe der Vesuv bis Rom gespien. Die Schlünde der Erde warfen solche Mengen an Material aus, daß eine neue Erdoberfläche entstand und daß die Erdoberfläche fruchtbar wurde für Pflanzen und damit Lebensraum für Tiere. Werden die vulkanischen Auswurfsprodukte andere, so erscheinen auch andere Pflanzen und Tiere. Die ausgeworfene Materie konnte am Meeresgrund so hoch angehäuft werden, daß sie schließlich über den Meeresspiegel emporragte und das Wasser sich anderswohin verteilen mußte (1751, S. 421): "wo die Erde sich im Meere aufthürmet, da muß das Meer enger, dadurch aber höher werden". Gräbt man in einem solchen durch Auswürfe trockengewordenem Meer Brunnen, so kann man dann in der Tiefe noch Meerestiere am früheren Meeresgrund finden. Von den Vulkanen ausgehende geschichtete Ablagerungen haben Höhen, Vertiefungen, auch so etwas wie Wellen, kriechende Schlangen. Mit einem solchen Inselaufstieg konnten Seetiere auf festes Land gebracht werden. 'Ausländisch' wirkende Seetiere auf Bergen

kommen aus besonders großen Meerestiefen. Lose Felsblöcke auf den Bergen zeigen die 'Sprengkraft' des unterirdischen Feuers. Bei Modena folgte auf 'Muschelkalk' eine 6. und 8. Schicht mit Kräutern, Baumblättern, Zweigen. Dann folgt wieder eine Schicht mit Meeresablagerung. Wenn nicht die 5. Erdschicht durch die Sintflut entstand, dann, so meinte MORO; sicherlich auch nicht die 10. Daß ein Faktor, der 'Vulkanismus', so entscheidend sein sollte, begründete MORO damit, daß die 'Natur' immer in derselben Weise handelt. Es heißt (1751, S. 258): "Denn die Natur handelt so beständig auf einerley Weise mit gleichförmiger ungekünstelter Einfalt, daß eine jede einzelne Naturbegebenheit, die auf eine gewisse Art und vermittelt der dazu bestimmten wirkenden Ursache zu Stande kommt, völlige Versicherung geben kann, die Natur habe sich vorhin in andern eben dergleichen Fällen nicht anders, als dieses mal mit ihrer Wirkung verhalten". Eher als Frage stellte MORO, ob die Entwicklung der Erde weitergeht (1751, S. 464): "Vielleicht entdecken künftige Zeiten, daß die Natur solcher Veränderungen noch nicht müde geworden sey".

Die Kosmologie von KANT - Die sich in der Erdgeschichte abkühlende Erde

KANTs Werk "Die Naturgeschichte des Himmels" 1755 wurde als der wichtigste Ausgangspunkt für die Anerkennung einer längeren Entwicklung in der Natur bezeichnet. Die Erde sollte also wie die Sonne und die anderen Planeten durch die Verdichtung von diffus verteilter Materie, "Nebel", zustandegekommen sein. Die Auffassung wurde seitdem vielfach modifiziert, aber der Gedanke, daß die Erde ihre Geschichte mit einem glutflüssigen Stadium begann, blieb jedoch einer der wichtigsten, immer wieder aufgegriffenen Gedanken der Erdgeschichtsfor-schung (H. SPENCER 1883). Auf die Abkühlung der Erde und namentlich der Erdkruste wurden immer wieder die wichtigen Ereignisse in der Erdentwicklung zurückgeführt. Durch die infolge der Abkühlung stattfindende Schrumpfung sollten sich die Gebirge gebildet haben und das zog klimatische Veränderungen und Entwicklungen in der Flora und Fauna nach sich.

J. G. LEHMANN - Erklärung der Schichtenbildung namentlich durch eine allgemeine Flut, die nicht mit der Sintflut identisch sein muß

LEHMANN, der die Schichten zwischen Harz und Thüringer Wald beschrieb, führte ihre Bildung auf eine Flut zurück, die er aber nicht unbedingt der biblischen

Sintflut gleichsetzte. Es gäbe mit der Entstehung der Welt zugleich gewordene Berge, und danach kamen die Flötz - Gebirge als das Ergebnis einer allgemeinen Überschwemmung zustande. Für eine Flut zeugten die vielen Versteinerungen. Diese Überschwemmung stieg über die damals höchsten Berge und auf ihnen fanden 'Verfaulungen' statt, die zu den Torflagern in den höchsten Lagen führte. Der Kalk wurde bei der großen Flut jedoch nur teilweise aufgelöst. Er zeigt noch heute von jenem Ereignis herrührende Löcher und Höhlungen. Es entstanden auch Klüfte, die sich mit Erz füllten. Die Berge wurden ansonsten von ihrer fruchtbaren Erde entblößt und das Wasser löste viele Bestandteile. Die so ins Wasser gekommenen Bestandteile setzten sich gemäß ihrer Schwere anschließend am Fuße der Gebirge ab, eben die von ihm beschriebenen Schichten. Eine globalisierende Skizze weist ihre Folge aus. Da die Absetzung nach der Schwere des Materials geschah, waren die Sedimente mit dem größten Material unten und es gab eine Verfeinerung der Sedimentbestandteile nach oben. Hatte diese allgemeine Überschwemmung auch entscheidende Züge des Erdkrustenbaues in Thüringen und überhaupt in Mitteldeutschland geprägt, so gingen die Veränderungen in kleinerem Maßstab weiter. Es gab Wandlungen durch Stürme und Regen, durch Vordringen und Zurückweichen des Meeres und solche durch feuerspeiende Berge. Bei LEHMANN gab es also das vieles umgestaltende Ausnahmereignis, die Flut, aber auch die weitergehende normale geologische Umbildung der Erdkruste. Die nach der ursprünglichen Entstehung der Erdoberfläche wichtigen Veränderungen sind der besondere Gegenstand von LEHMANNs Überlegungen, der also ebenfalls zu der bibelunabhängigen Erdgeschichte überleitet, immer noch aber im Banne der Flutauffassung.

LEHMANN wollte sich andererseits nicht darüber äußern, "ob die Sündfluth allgemein gewesen". Der Ursprung der Erde wäre ohnehin unbekannt, MOSES könne man daher belassen, auch, wenn nicht klar wäre, wie denn die angeblichen sechs Tage der Schöpfung zu interpretieren sind. Schließlich sage aber die Bibel selbst, daß vor Gott Tausend Jahre wie ein Tag sind.

Gebirge orographisch, als Höhen - PALLAS

LEHMANN hatte zwar von Flötzgebirgen geschrieben, aber es waren, im Thüringer Becken, Ablagerungen zwischen Harz und Thüringer Wald, also zwischen Höhen und niedriger als diese. Wiederum ein nach Rußland gegangener Deutscher, der aus Berlin stammende und über 6 Jahre 1768 - 1774 durch weite Teile Rußlands und das südliche Sibirien gereiste PETER SIMON PALLAS gab 1777 (1778, s. 1986; F. RATZEL 1887) vor der Kaiserlichen Akademie in St. Petersburg Gedanken über die höheren Gebirge, etwa nach Erfahrungen im Ural und Altai. Die höheren Gebirge, die zusammenhängende Ketten bilden, erfuhr er aus Granit be-

stehend und diese "alte Felsart" (S. 26) sollte die Grundlage des ganzen festen Landes sein. An den Granit lagern sich Schiefer und dann Kalkberge an. Einst wäre das zentrale Asien eine große Granitinsel gewesen, von der dann Material weggespült wurde und die Sedimente bildete, auch der großen zentralasiatischen Wüsten. PALLAS erkannte aber auch die Wirkungen der feuerspeienden Berge an, die "besonders in der Nähe und am Boden des Meeres bis zu unseren Zeiten noch immer fortgedauert" (Ausgabe 1986 S. 49) und die Inseln aus den Meerestiefen emporbrachte, auch die Kalkalpen Europas emporhob. Eine von solchen einmal gewaltigen und heutige Eruptionen übertreffenden Vulkanausbrüchen ausgehende Flut habe dann etwa Asien gründlich verändert und die in Sibirien im Frostboden zu findenden wollhaarigen Mammute und Rhincerosse vom Süden nach dorthin gespült. Flut also auch bei PALLAS - eigenwillig und wissenschaftlich gedeutet, und durch Vulkane eine fast an CUVIER gemahnende **Katastrophe** von großer Auswirkung wenigstens in Asien.

Nochmals die große Rolle des Vulkanismus - R. E. RASPE

RUDOLF ERICH RASPE (A. V. CAROZZI 1975) war eine der merkwürdigsten Gestalten in der Entwicklung der Erdgeschichtsforschung, denn er war auch Krimineller. Geboren in Hannover 1737 als Sohn eines Buchführers im Bergbau - und Forstwesens, interessierte er sich nach seiner Bekanntschaft mit dem Harzer Bergbau für Geologie. Er studierte aber zunächst Rechtswissenschaft in Göttingen, ging nach Leipzig und betätigte sich eher in der Literatur. Zwischen 1760 und 1767 war er Beamter in der königlichen Bibliothek in Hannover. Durch die Kenntnisaufnahme älterer Schriften, von HOOKE und LEIBNIZ, widmete er sich geologischen Fragen. Im Jahre 1767 folgte er einem Angebot des Landgrafen von Hessen - Kassel als Kurator von dessen Sammlungen und auf den Lehrstuhl der Altertümer am Collegium Carolinum in Kassel. Aber zur Zeit, als sein Ruf als Geologe stieg, erkannte man ihn als Dieb von Medaillen und Münzen aus der Sammlung des Landgrafen. RASPE wurde verhaftet. Er entfloh und verließ Mitte April 1775 Deutschland, ging über Holland nach England. Seine Frau ging mit ihren zwei Kindern nach Berlin und betrieb die Scheidung. Die Royal Society in England beendete seine Mitgliedschaft. In England war RASPE tätig als Übersetzer, geologischer Schriftsteller und auch technischer Berater, diente dem Unternehmer MATTHEW BOULTON als Chef eines Bergwerkes und als Industriespion. Im Jahre 1787 ging er nach Edinburgh und wo er im Kreise der dortigen bedeutenden Gelehrten, so dem Geologen JAMES HUTTON, eingeführt wurde. Er erforschte das schottische Hochland mineralogisch. Im Jahre 1793 unternahm er Prospektionsarbeiten in Ir-

land und starb 1794 in Muckross bei Killarney im Südwesten der irischen Insel, in Kerry, in einer der schönsten irischen Landschaften, wo er in einer Kupfermine tätig war. RASPE war, teilweise anonym, auch als Dichter hervorgetreten und hatte etwa die Lügenerzählungen von MÜNCHHAUSEN in Englisch in literarische Form gebracht.

Auf Erdbeben und Vulkane führte ihn die Kenntnis vom Erdbeben in Lissabon 1755 und HOOKEs Erklärung dieser Dinge und der Entstehung der Berge und Inseln eben durch Erdbeben und unterirdisches Feuer schien ihm dabei besonders geeignet. Im Jahre 1767 begann er sich für die "Niederheßischen Berge und Steinarten", so sonderbar und neu" (R. E. RASPE 1774, S. 1). Als er die Schrift von DESMAREST von 1768 über die vulkanische Natur der Basaltsäulen in der Auvergne las, interpretierte er 1774 in seinem "Beytrag zur allerältesten und natürlichen Historie von Hessen; oder Beschreibung des Habichtswaldes und verschiedener andern Niederheßischen alten Vulcane in der Nachbarschaft von Cassel" und anderswo die Herkunft der

hessische Berge als Reste alter Vulkane. Als ihm Sir WILLIAM HAMILTON aus Neapel mitteilte, daß die Lava des Vesuv nicht in Basaltsäulen erstarrt, meinte RASPE, daß solche Säulen nur aus Lava unter dem Wasser, so unter dem Meeresspiegel entstehen. Über dem Wasser entstünde massiver Basalt. Und das sollte auf die hessischen Berge zutreffen. Kalkschichten waren vulkanisch aufgetürmt. War das unterirdische Feuer auch der wesentliche Faktor für die Entstehung der Landschaftsformen, so wurden die Berge dann durch Regen, Frost und Wetter über "undenkliche Jahre" (1774, S. 60) zerstört, also hat RASPE auch die exogenen Faktoren der Landschaftsgestaltung wenigstens mit erwähnt. Wäre RASPE eine weniger eigenwillige Persönlichkeit gewesen, so hätte er möglicherweise mehr Eindruck in der Wissenschaft hinterlassen.

Wichtige Systeme im späten 18. Jahrhundert - Gabelung der Wege der künftigen Erdgeschichtsforschung

Um und nach 1880 wurden zwei der wichtigsten Systeme für die Erdgeschichtsforschung ausgebildet, das von JAMES HUTTON und das von BUFFON. Beide Systeme, beide Theorien, stehen am Anfang zunächst oft getrennter Wege in der Erdgeschichtsforschung. Mit den umfassenden, die Erdkrustenentwicklung erklärenden "Systemen" von HUTTON und BUFFON waren 2 weiterbestehende Linien, Trends, in der Geologiegeschichte eröffnet worden.

HUTTON rechnete mit einer **ständigen Wiederkehr der Vorgänge**. Es gab auf der Erde also keine wirkliche "Entwicklung". Für BUFFON aber gab es in der

Erdgeschichte unumkehrbare, **irreversible Entwicklung**. Es gab bei BUFFON keine Wiederkehr einmal vorhanden gewesener Zustände. Beide rechneten aber mit längeren Zeiträumen der Erdgeschichte. Zunächst gab es weitere Theorien mit irreversibler Entwicklung, bevor HUTTONs Gedanke der Wiederkehr um 1830 sich in der Geologie zunehmend durchsetzte.

JAMES HUTTON, sein System, seine grundlegenden Gedanken - das wichtigste System der jungen Erdgeschichtsforschung: Der Uniformitarismus

Ein wichtiges, zu vielen Diskussionen anregendes Bild von der Erdgeschichte, ein geologisches 'System', lieferte der Schotte JAMES HUTTON, der nicht zu Unrecht auch als der 'Vater der Geologie' bezeichnet wird, wenigstens als einer der Gründungsväter neben ABRAHAM GOTTLOB WERNER. HUTTON muß zu jenen Gelehrten gezählt werden, die an einem **modernen wissenschaftlichen Weltbild** entscheidenden Anteil hatten, auch wenn sich HUTTONs Beitrag langsamer durchsetzte als der von NEWTON, **Aufstieg der Gebirge**, und das **allmählich** und **nicht als Katastrophe**, und allmählicher Zerfall, alles in auch heute erfaßbaren Vorgängen, **Vergangenheit wie Gegenwart** - wer wenn nicht HUTTON hat hier die Erdgeschichte gewaltig umgestaltet.

HUTTON (G. ZIRNSTEIN 1977) wurde am 3. Juni 1726 als Sohn eines angesehenen Kaufmanns in der schottischen Hauptstadt Edinburgh geboren. An der Universität seiner Heimatstadt studierte er Mathematik, Chemie, schließlich auch Medizin. Das letztere Studium setzte er in Paris fort und promovierte 1749 im niederländischen Leiden zum Doktor der Medizin. Wegen geringer Berufsaussichten wandte er sich auf einem ererbten Landbesitz in Berkshire der Landwirtschaft zu. Er wurde einer der Landwirtschaftsreformer seiner Zeit und war an einem chemischen Unternehmen in Edinburgh beteiligt. Auf Fußwanderungen in England 1753, auf Reisen 1754 in den Niederlanden und Teilen von Nord-Frankreich suchte er die Landwirtschaft kennenzulernen, aber wandte sich auch mineralogischen und geologischen Beobachtungen zu, worüber er an seine Freunde in Edinburgh berichtete. Im Jahre 1764 unternahm er eine geologische Exkursion durch Nord-Schottland. Er verkaufte 1768 seinen Landbesitz und lebte als materiell gesicherter, unverheirateter Privatwissenschaftler und in häufigem Austausch mit seinen wissenschaftlichen Freunden in Edinburgh. Er befaßte sich unter anderem auch mit dem Zustandekommen von Niederschlägen, von Regen. Seine geologischen Abhandlungen wurden als schwer verständlich bezeichnet, ein allerdings nicht unbedingt nachvollziehbares Urteil. Aber HUTTON fand einen Kommentator, der seine Ideen noch einmal mit eigenen Worten ausführte: PLAYFAIR. Dieser Ge-



Abbildung 12: Geologisch anregend Edinburgh.

lehrte war ansonsten vor allem Mathematiker. Hoch über Edinburgh steht neben anderen Denkmälern auch ein dunkler würfelartiger Bau zum Andenken an PLAYFAIR.

Eine zentrale Rolle in HUTTONs geologischem Erdbild besaß die **Zerstörung** und der **Aufstieg von Festländern aus dem Meer**. Die **Vertikalbewegung** der Festländer, ihr Aufsteigen, war damals eine wohl so eigenartige Auffassung wie es im 20. Jahrhundert zeitweilig die Annahme einer Horizontalbewegung der Kontinente war. Es fanden sich jedoch Zeugnisse für Küstenhebung an der skandinavischen Küste, auch die Heraushebung von Marken, die einmal am Meeresniveau angebracht worden waren. Für HUTTON sollten die Meeresfossilien in den konsolidierten Sedimenten der Festländer, teilweise bis hoch in den Bergen vorhanden, auf die Herkunft der Kontinente aus dem Meere zeugen. Mit dieser Auffassung vom Aufstieg der Festländer aus dem Meere konnte **auf eine alles bedeckende Flut zur Erklärung der Meeresfossilien auf Gebirgen verzichtet** werden. Der Meeresspiegel konnte etwa gleich bleiben und doch konnte es hoch in den Bergen Fossilien geben, weil das Land mit seinen Bergen aufgestiegen war. Das Rätsel "der Muschel auf dem Berg" (A. CUTLER 2003) erschien gelöst. Mit dieser Idee hätte man nun endgültig von der Hypothese einer erdweiten mystischen Flut, womöglich der Sintflut, Abschied nehmen können. HUTTONS Erklärung war eine plausible Alternativerklärung. HUTTON bot also eine **weltbild-verändernde Theorie**. Sie hätte sich viel rascher durchsetzen müssen. Aber so schnell verließ namentlich die herrschende Religion ihre Vorstellungen nicht. Aber für die Betrachtung der Geschichte der Natur war HUTTON wohl die damals höchste Leistung für die Erdgeschichte gelungen und war seine Auffassung vom Festlandsaufstieg ein **ganz große Tat in der weltanschaulichen Aufklärung**. Wobei HUTTON selbst nicht auf jeden Gott verzichten wollte. Mit HUTTON erhielt die **Vertikalbewe-**



Abbildung 13: Bodenabtrag, was HUTTON auffiel.

gung Hausrecht in der Geologie und wurde von anderen erweitert auch durch Senkungen und zu Erklärungen viel herangezogen. Nur eben die Seitwärtsbewegung der Festländer wurde noch nicht gedacht. Kontinente erschienen in ihrer Lage unverrückbar.

Ebenso viel Aufmerksamkeit wie dem Aufstieg, der Entstehung der Festländer, wandte HUTTON auch ihrem Abbau, ihrer **Zerstörung** zu. Er hat die Vorgänge der **Verwitterung** hervorgehoben. Gerade diese Verwitterung war der Beobachtung zugänglich. Sie erfolgte im allgemeinen langsam. Als Landwirt hat er der Bodenabtrag beobachten können.

Und aus diesem **langsamen** Fortgang der **Verwitterung** schloß HUTTON auf **sehr lange Zeiträume**, welche der Erdgeschichte zur Verfügung standen. Ein Beweis für die Langsamkeit der Verwitterung waren ihm noch bestehende Römerstraßen - ihm unbewußt, wie wenig lange die Römerzeit vor erdgeschichtlichen Zeitmaßstäben verschwindet. Auch HUTTON suchte also noch wenigstens in einem bestimmten Maße die Menschheitsgeschichte mit der Erdgeschichte zu verknüpfen. HUTTON schrieb jedoch auch von den Ewigkeiten der Erdgeschichte, und mit der Annahme langer Zeiten löste er Erdgeschichte und die sehr viel kürzere Menschheitsgeschichte voneinander. Wie NEWTON und andere die gewaltigen Tiefen des Weltraumes wenigstens zu ahnen begannen, brachte HUTTON die ersten Vorstellungen von der '**Unendlichkeit**' der **geologischen Zeit**. Wichtig in der Lehre von HUTTON war die Beachtung der oftmals übersehenen Verwitterung, der durch exogene Kräfte verursachten Geschehnisse auf der Erdkruste. Dazu gehörte etwa die Talbildung. Nicht die Flut vom Meere her hatte die Täler in einer Katastrophe aufgerissen. Die Täler wurden von dem in ihnen rinnenden oder strömendem Wasser ausgefurcht. Dafür sprachen nach HUTTON die Talgabelungen.



Abbildung 14: Täler wodurch?.

Die festländischen Verwitterungsprodukte wurden ins Meer getragen. Am Meeresboden sollte es heiß sein. Das war einer der neuralgischen Punkte in der Theorie von HUTTON, und vor allem damals einer Überprüfung nicht zugänglich. HUTTON nahm damit ebenfalls jenes Feuer im Erdinneren an, das bei anderen Forschern durch sein Nachlassen die unumkehrbaren Entwicklungsprozesse auf der Erdkruste bewirkte. Bei HUTTON aber mußte wegen des stabilen Zustandes auf der Erde in voller Stärke durch die Zeiten wirken. Nach HUTTONs Annahme sollten durch die Hitze am Meeresboden immerhin die dort abgelagerten Verwitterungsmassen zusammenschmelzen, auch von feuerflüssigen Massen aus dem Erdinneren ergänzt werden. Bei HUTTON gab es also Tiefenvulkanismus. Diese Massen erhoben sich vom Meeresboden zu einem neuen Festland. So wurden die in Abtragung befindlichen Festländer durch neue ersetzt. Dem Verfall stand ein "Restaurationsprinzip" (R. und D. GROH 1998). Die Stoffe der Erdrinde, namentlich die **Gesteine**, befanden sich also in einem **Kreislauf**. Es gab viele Einzelheiten, welche in diese Theorie eingefügt werden konnten. So wurden mit dem Festlandsschutt auch Festlandspflanzen in das Meer transportiert. In manchen Sedimenten fanden sich deshalb fossile Reste festländischer Pflanzen. Solche Festlandsgewächse zeugten also auch nach HUTTON nicht für festländische Sedimente und das Wasser, hier das Meer anstatt einer Flut, dominierten seine Theorie also immer noch. Wenn die verschiedenen Teile der Erdkruste unabhängig voneinander aufstiegen und dann auch getrennt voneinander abgebaut werden, so besteht die Erdkruste aus Teilen, aus Festländern unterschiedlichen Alters, was auch die tektonischen Ereignisse nahelegten. Damit war ersichtlich, daß man **auf der rezenten Erdoberfläche die Gesteine ganz verschiedener Erdalter** findet und damit Erdgeschichte von sehr alten bis zu neuesten Zeiten betreiben kann, auch ohne Tiefenbohrung. Der Festlandsaufstieg erfolgte nach HUTTON nicht kontinuierlich. Er konnte unterbro-

chen werden. Deshalb gab in den Sedimentfolgen Unterbrechungen, **Diskordanzen**. Im Jahre 1787 sah HUTTON die großartige Diskordanz auf der südlichen Hebrideninsel Arran, wo Old Red Sandstone diskordant auf Altpaläozoikum liegt. Eine andere eindrucksvolle Diskordanz fand sich an der Meeresküste in der Nähe von Edinburgh, der Sicca Point. In der HUTTONschen Theorie sind Diskordanzen oder überhaupt Schichtstörungen jedoch insgesamt von keiner großen Bedeutung, sind eher Zugaben zu dem Geschehen, zeitweilige Unterbrechungen in dem langsamen Aufstieg von Land aus dem Meer.

HUTTONs Wechsel im Bestand der Meere und Festländer war eine Zyklen-Idee, die Annahme der **prinzipiellen Wiederkehr ähnlicher Ereignisse**, wobei es bei HUTTON sogar eine weitgehend gleiche Wiederkehr gleicher Erscheinungen war. Alle Geschehnisse auf der Erdkruste galten auch dem ansonsten naturwissenschaftlich argumentierenden HUTTON als einer weisen gütigen Gottheit angemessen, denn es wurde immer dafür gesorgt, daß den Lebewesen und auch dem Menschen neues frisches Land verfügbar war. Im Jahre 1795 hieß es bei HUTTON sogar: "...life is the final cause,...for the revolution of the globe." Gott gab es, aber er handelte nicht unbedingt so, wie die Bibel lehrte, sondern eben nach den Vorstellungen eines HUTTON. Die 'Ewigkeiten', in denen erdgeschichtliche Vorgänge ablaufen sollten, wurden HUTTON aber von manchen Schriftstellern übel genommen, weil sie nicht mit der Bibel übereinstimmten. Solche Feindschaft war um 1790 nicht belanglos. In Frankreich war die Revolution ausgebrochen und ließ auch die besitzenden Klassen in Großbritannien erzittern. Die Französische Revolution aber wurde auf die Aufklärung, auf die Gottlosigkeit im französischen Denken zurückgeführt. Auch die Geologie sollte daran beteiligt sein. Dem Unitarier und Befürworter der Französischen Revolution JOSEPH PRIESTLEY, vorwiegend Chemiker, wurde in Birmingham das Wohnhaus demoliert, in dem auch seine Familie lebte.

Ein Zeitgenosse HUTTONs war der ebenfalls in Edinburgh tätige Arzt und Naturforscher GEORGE HOGGART TOULMIN (R. S. PORTER 1978). Von ihm stammt das Buch 'Antiquity and Duration of the World' von 1780, das 1789 verändert nochmals erschien. Daß TOULMIN ein Plagiator von HUTTON war, wurde ebenso zurückgewiesen wie das Umgekehrte. TOULMIN wie HUTTON werden sich in Edinburgh wohl begegnet sein, in der Atmosphäre der 'Schottischen Aufklärung', wo man die Dinge nicht mehr im Herkömmlichen Sinne sehen mußte. Für TOULMIN wirkte auch keine noch so ferne und eigenwillig gedachte Gottheit für irgendein Wohlergehen der Geschöpfe, war der Mensch nur "a small but necessary part of nature" (1789, Introduction; zit. b. R. S. PORTER 1978, S. 1257), des Menschen Schicksal aber "indifferent to Nature" (1789, p. 101), einer 'impersonal nature', wie es auch der Edinburgher HUME sah. Die Natur

brach mit ihren Katastrophen immer wieder in die wachsende Zivilisation ein. Hier war Geologie **agnostizistisch-atheistische Aufklärung** und mochte Bedenken auslösen.

Was die Anhänger der aktualistischen Theorie noch begreifen mußten: **Die Vergangenheit war reicher als Gegenwart**, wies also auch heute nicht vorhandene Phänomene auf, konnten aber auch naturwissenschaftlich erklärt werden.

Das Experiment in der Petrographie und Geologie - Sir JAMES HALLs experimentelle Beiträge zu HUTTONs 'System' -

Sir JAMES HALL (V. A. EYLES 1972) lieferte nach seiner 'Bekehrung' zu HUTTONs System etliche Beobachtungen, welche es stützten und vollführte vor allem eine Reihe von Experimenten, um bezweifelte Dinge zu klären. Das waren die ersten bedeutenden Experimente, welche im Interesse geologischer Auffassungen unternommen worden. HALL (1805, S. 44, 1812, S. 76) war von HUTTON zu solchen Experimenten nicht ermuntert worden. HUTTON war sogar der Ansicht daß die in der Natur auf die Mineralien wirkende Hitze von solcher Intensität war, daß die Naturbedingungen nicht nachgeahmt werden konnten. Das war eine Diskussion um den Wert des geologischen oder mineralogischen Experimentes, das noch manches Mal in der Geschichte wiederholt wurde. Der Petrologe PAUL NIGGLI wird viel später, 1937 (S. 34) einmal sagen: "..., daß das Experiment nicht zeigen kann, welchen Weg die Natur eingeschlagen hat, sondern nur, wie sie unter gewissen Bedingungen arbeiten würde" (Hervorhebung im Original).

HALL vertrat die Meinung, daß die Gravitation an kleinen Körpern untersucht werden kann und die dabei gewonnene Kenntnis sich dennoch auf das gesamte Weltall übertragen läßt. Experimentelle Daten sollten einiges von der noch schwachen und phantasievollen Grundlage der Geologie begründen. HALL meinte 1812 (S. 71 / 72), daß "while discoveries of the utmost importance and accuracy were made in Astronomy and Natural Philosophy, the system produced by the Geologists were so fanciful and puerile, as scarcely to deserve a serious refutation". Schriftsteller in Geologie umgäben sich mit mit einer Art von Strafflosigkeit, "in a style of unphilosophical reasoning, which would not have been tolerated in other sciences". Gerade die Chemie wäre eine wichtige und nötige Grundlage der Geologie. Insgesamt wurde immer anerkannt, daß die Experimente selbstverständlich mögliche Vorgänge vorführen. Die Frage war: Ging und geht auch die Natur im Großen den experimentell erwiesenen Weg oder einen anderen, der zum ähnlichen oder gleichen Ergebnis führt.

Es war in Schmelzexperimenten festgestellt worden, daß geschmolzenes Magma beim Erkalten zu einem Glase erstarrt. In einer Glashütte war andererseits beobachtet worden, daß eine langsam abkühlende Glasmasse nicht eine glasige Struktur

(HALL selbst schreibt von 'Textur') ausbildet, sondern eine 'steinige' ("stony"), das heißt eine kristalline Struktur. HALL erhitzte daraufhin Flaschenglas und kühlte es langsam zu einer kristallinen Masse ab. Dann erhitzte er dieses Material erneut und kühlte es rascher ab, wobei er erneut ein glasiges Material bekam. Je nach der Dauer des Abkühlens konnte HALL als aus einunddasselbe Material je nach der Abkühlungsgeschwindigkeit glasige oder kristalline Struktur erzeugen. Das gab ihm eine Vorstellung davon, wie es bei der Entstehung der Ergußgesteine zugegangen sein muß. Nachdem schon bei REAUMUR ähnliches festgestellt worden war, wies HALL 1797, also einige Zeit nach HUTTONs Tod nach, daß geschmolzene Eruptivgesteine, erhitzt in einem Eisenhochofen bei Edinburgh, beim langsamen Abkühlen zu einer Art kristallines Gestein erstarren. HALL schmolz Proben von 15 Fundplätzen in Großbritannien und von anderswo. Keine dieser Proben erstarrte nach dem Schmelzen auch beim langsamen Abkühlen zu einem Gestein, das dem Ausgangsmaterial völlig glich. Aber es entstand doch ein Material, das Gesteinen mit ihren Mineralien ähnlich war. In der Natur war mit einem noch viel längerem Abkühlen zu rechnen, als es im Experiment in wenigen Stunden oder Tagen nachgeahmt werden konnte. Geschmolzenes Glas oder Gesteinsmaterial kühlte HALL langsam ab, indem er die es enthaltenden Gefäße mit glühenden Kohlen umgab und diese langsam abkühlten. Gegen HUTTON war fernerhin eingewandt worden, daß die von ihm vermutete Bildung von Marmor aus Kalk durch die Hitze am Meeresboden nicht stattfinden kann, weil Kalk in Wärme unter Abgabe von Kohlendioxid zersetzt wird. HUTTON hatte entgegnet, daß diese Kalkzersetzung unter hohen Druck unterbleibt, konnte das jedoch nicht beweisen. HALL führte zwischen 1798 und 1805 über 500 **Experimente** aus, in denen er Kalkstein unter Druck tatsächlich in eine Art Marmor umwandelte, wobei also die Zersetzung des Kalksteins unterblieb. Das war ein Markstein zur **Benutzung des Experimentes zur Lösung geologischer Fragen**. Außerdem setzte HALL (1815 a) in einem Apparat Lehm seitlichen Druck aus, um dessen Faltung zu verfolgen, vollzog also ein Kleinexperiment zur Deutung der großräumigen Faltung in der Natur. Zuletzt befaßte sich HALL (1826) mit der Gesteinsverfestigung, der Konsolidierung (Consolidation), dem Vorgang, bei dem etwa aus losem Sand der verfestigte Sandstein entsteht. Es war aus den Eigenschaften des Sandsteins abzuleiten, daß er aus Sand entstanden war und es blieb die Frage, wie das nach der Ablagerung des Sandes im einzelnen vor sich ging. Auch hierfür wurde als erstrangiger Faktor die Hitze am Ozeanboden herangezogen. Aber außerdem war deutlich, daß die Körnchen des Sandsteins durch ein chemisches Bindemittel zusammengehalten werden, das bei der Verfestigung in das Material eindringen muß. HALL nahm dafür Salz im Meerwasser an. Im Experiment gab HALL zwischen Sand trockenes Salz, teilweise in einer eigenen Schicht. Wurde diese Mischung erhitzt, drang es nach HUTTONs Beobachtung in Dampfform zwischen die Sandkörnchen

und es entstand 'künstliches Gestein' von unterschiedlicher Widerstandsfähigkeit und Festigkeit. Um die vermuteten Naturbedingungen nachzuahmen, wurde über die Mischung von Sand und Salz auch Seewasser gebracht. Es wurde sogar eine Vorrichtung gebaut, bei der die Sand - Salz - Mischung bis zur Rotglut erhitzt wurde, aber das Seewasser darüber nur bis zu einer Temperatur stieg, daß ein Mensch seine Hand hineinhalten konnte. Experimentiert wurde auch mit zerriebenen Quarz. HALL sah mit den Ergebnissen seiner Experimente die Entstehung von Sandstein und auch von 'buntem' Sandstein (Red Sandstone) als geklärt an. Zu dem Salz wurde in weiteren Versuchen Eisenoxid hinzugefügt. Auch dieses stieg mit dem Salz auf und es entstand so etwas wie rot gefärbter Sandstein.

Obwohl HALL insgesamt die Hypothesen von HUTTON und PLAYFAIR für richtig ansah, wich er darin ab, daß er die Schrägstellung von Gesteinsschichten oder den Transport großer Gesteinsblöcke, der erratischen Blöcke, auf Ausnahmeffluten zurückführte, auf "Revolutions of the Earth's Surface" (1812 a, 1815) und sich damit der nach 1800 zu einer gewissen Vorrangstellung gekommenen Katastrophentheorie annäherte. Die Kontinente wären gemäß HALL eben nicht so langsam und ohne Hinterlassung von Spuren aufgestiegen, wie HUTTON und PLAYFAIR das gedacht hatten, sondern auch so kräftig, daß im Vergleich zu ihnen die großen Schaden anrichtenden Wasserfluten nach den Erdbeben von Lissabon (1755) und von Callao (1687, 1746) an der Westküste von Süd-Amerika geologisch nur bescheiden waren. Faltung sollte nach HALL 1812 (a) aber nur in weichem Material möglich sein.

Was die **Chemie** in der Geologie betrifft, so wurde bei manchen neuen chemischen Entdeckungen gehofft, daß sie zur Erklärung der Erscheinungen der Erdkruste beitragen. Als Sir HUMPHREY DAVY 1807 mit Hilfe von elektrischem Strom aus einer Batterie von Voltasäulen Soda und Pottasche zersetzt hatte und dabei die rasch weiterreagierenden Substanzen Natrium und Kalium fand, meinte er hierzu und zu weiteren Zersetzungen von 'erdigen Körpern', daß sie "may lead to the solution of many problems in geology, and shew that agents may have operated in the formation of rocks and earths which have not hitherto been suspected to exist" (S. 44). Vulkane sollten tätig werden, wenn Wasser etwa auf Natrium im Erdinneren trifft. Aber gab es denn Natrium im Erdinneren?

Irreversible Entwicklung auf der Erdoberfläche - BUFFON und erdgeschichtliches Denken in seiner Richtung - Die Abkühlungstheorie

Unabhängig von HUTTON und auch teilweise vor seinen Veröffentlichungen hatte in Frankreich BUFFON, der ansonsten vor allem Zoologe war, in großen Zügen



Abbildung 15: BUFFON. Paris.

das Bild einer irreversiblen Entwicklung der Erdkruste entworfen, stark spekulativ, deduktiv.

Während bei HUTTON dieselben Erscheinungen auf der Erdkruste immer wiederkehrten, gab es bei BUFFON eine Umbildung in eine bestimmte Richtung, war irreversibel. Verbunden war damit auch eine Endlichkeit des Lebens und auch der Menschen auf der Erde. Grundlage für die irreversible Entwicklung war die **unaufhaltsam fortschreitende Abkühlung der Erde von glutflüssigen Zustand** her. Das war eine der die Geologie **am meisten beschäftigenden Hypothesen**, eine immer wieder aufgegriffene Theorie, die manchmal nahezu das beherrschende Paradigma in der historischen Geologie war. Die Theorie von der irreversibel fortschreitenden Abkühlung der Erde ergab sich einmal aus der 1755 von IMMANUEL KANT entwickelten Auffassung vom **glutflüssigen Anfang der Erde** wegen ihrer Herkunft aus abgeschleuderter Sonnenmaterie. BUFFONs Bild vom Werden der Erde (O. WAGENBRETH 1967) reichte so hinein bis in die Kosmologie, in die ferne lange Zeit der Entstehung der Himmelskörper. Indem die Sonne mit einem Kometen zusammenstieß, bildete sich das Planetensystem und ihm die zuerst glühende und schmelzflüssige Erde. Sie erstarrte. Auf der Erdoberfläche entstand eine Erstarrungskruste wie die Schlacke im Hochofen. Mit der allmählichen Abkühlung schlug sich Wasser nieder. Es entstand das Urmeer. Zersetzung der Kruste führte zu den ersten Sedimentgesteinen. Mit der weiteren Abkühlung konnten zuerst in den hohen Breiten Landtiere entstehen. Lokale Umwälzungen wie die

'Sintflut' formten die heutige Gestalt der Kontinente. Der Mensch erscheint. Mit der Temperaturverminderung wichen die Tiere nach dem Süden aus.

Das **Innere der Erde** aber wurde, etwa bei ATHANASIUS KIRCHER schon im 17. Jahrhundert, als **glutflüssig** angenommen. Vulkane sprachen dafür. Diese Wärme im Inneren der heutigen Erde konnte nicht auf die Sonneneinstrahlung zurückgeführt werden. Sie mußte aus dem Erdinneren kommen, von dort, wohin die Abkühlung gegen den Weltraum noch nicht stark vorgedrungen war. Es mußte "primäre" Wärme sein. Als überzeugende Beleg für die Hitze im Erdinneren galt die **Zunahme der Wärme in Bergwerken**. Das wurde um so deutlicher, je tiefer die Schächte in die Erde hineingetrieben wurden.

War die Erde einstmals wärmer, nach späterem Ausdruck energiereicher, dann konnte erwartet werden, daß viele Geschehnisse, etwa die Tätigkeit der Vulkane, in der Vergangenheit stärker gewesen war. Ein glutflüssiger Erdkern konnte auch Ursache für Undulationen sein. Mit der zunehmenden Abkühlung mußte die Wirkung eines glutflüssigen Erdkerns abnehmen.

Erdinnere Hitze wurde sowohl von HUTTON wie von BUFFON angenommen, aber nur bei BUFFON war sie, wegen Abnahme in der Zeit, der Grund für die irreversible Erdkrustenentwicklung.

Ebenfalls in Frankreich entwarf eine wie bei BUFFON umfassende "Theorie der Erde", also ein "System", JEAN CLAUDE DELAMETHERIE (K. L. TAYLOR 1973). Der studierte Mediziner entwickelte in seiner "Theorie der Erde" (dtsch. 1797, 1798) nicht nur ein sehr großzügig gefaßtes Bild von der Erdentwicklung, sondern hat in seinem Wirken auch versucht, andere führende Gelehrte, so vor allem LAVOISIER, den einen Begründer der neuen Chemie, vom Sockel zu stoßen. DELAMETHERIE betrachtete LAVOISIER als die diktatorische Kraft in der französischen Wissenschaft und trat gegen ihn für die 4 - Elementen - Lehre des ARISTOTELES ein, verwarf die Zerlegung des Wassers in zwei gasförmige Bestandteile. Dafür neigte DELAMETHERIE zu eigenen übertriebenen Verallgemeinerungen. Als den grundlegenden Prozeß in der Materie sah er die Kristallisation. Die Abkühlung der Erde, die er wie BUFFON annahm, leitete DELAMETHERIE großzügig aus Nachrichten über die Klimaentwicklung auf Island ab. Hier, im Nordatlantik, wäre es "jetzt...weit kälter" als vor wenigen Jahrhunderten. Die angeblich hier einstmals schönen Waldungen wären deshalb allein noch fortkommendem kleinen Gesträuch und Gebüsch "dasselbst" gewichen (J. C. DELAMETHERIE 1797, I). Ununterbrochen kälter aber würden auch die Alpen. Es wurde also auch bei DELAMETHERIE mit sehr kurzen Zeiten für die großen Umbildungen auf der Erde gerechnet. Die Abkühlung sollte innerhalb weniger Jahrhunderte beträchtlich vorangeschritten sein. Die Beobachtung, daß auf Island die Wälder auf Island ab-

genommen haben, war dabei richtig. Aber dieser Waldrückgang war nicht Folge einer durchgehenden Wärmeabnahme auf der Erde, sondern hing eventuell mit der spätmittelalterlichen Kälteperiode zusammen, war aber außerdem wohl vor allem durch die abholzenden Menschen hervorgerufen worden. Nach einer Reise durch Island hatte schon 1774 EGGERT OLAFSEN erkannt, daß die Bewohner Islands mit Wäldern "übel umgegangen sind" (S. 125).

Als Zusammenfassung: Es gibt 2 Grundideen in der Erdgeschichtsforschung:

- 1. Irreversible Entwicklung** - BUFFON; dann WERNER, CUVIER
- 2. Wiederholung immer derselben Vorgänge, der Gesamtzustand auf der Erde bleibt insgesamt gleich** (später bezeichnet als: **Uniformitarismus, Aktualismus**) - HUTTON, später LYELL

Entwicklung der chemischen Verhältnisse an der Erdoberfläche und Vorstellungen zur Entstehung der Atmosphäre

Die Rolle der Atmosphäre für die Geschehnisse an der Erdoberfläche wurden seit der Erforschung der Gase wenigstens in randlichen Bemerkungen mit berücksichtigt. Der Erforscher der Gaschemie JOSEPH PRIESTLEY führte 1775 (S. 32) die Atmosphäre auf dem Planeten Erde auf Vulkane zurück. Zuerst solle "inflammable air" geliefert worden sein, jenes Gas, das später als Kohlendioxid bezeichnet wurde. Damit erschien in den Betrachtungen über die Atmosphären"geburt" dieses Gas schon in der zweiten Hälfte des 18. Jh. als wichtig. Kohlendioxid, obwohl nur in geringem Maße in der Atmosphäre vorhanden, blieb seitdem in allen Debatten über die Geschehnisse an der Erdoberfläche. Das Kohlendioxid, also die "inflammable air", war nach den auf der Phlogistontheorie aufbauenden Vorstellungen von PRIESTLEY dann seiner Unbrennbarkeit durch Lösung in Wasser 'beraubt' worden und wurde von den Pflanzen gereinigt, das heißt wurde zu der die Verbrennung unterhaltenden "Dephlogisticated Air". Als Sauerstoff wurde dieses Gas erst bei LAVOISIER erkannt. CHRISTOPH GIRTANNER (1795, S. 61), der LAVOISIERS 'antiphlogistische' Chemie in Deutschland bekannt machte, erörterte, daß der Sauerstoff der Atmosphäre rasch verbraucht werden mußte, solange es Substanzen an der Erdoberfläche gab, welche den Sauerstoff banden, die also 'oxydiert' wurden. Es wäre anzunehmen, daß nunmehr diese Oxydationen zu einem Ende gekommen sind, also der Sauerstoff "jetzt in der gesamten Natur in einem gewissen Gleichgewicht" zu den anderen Stoffen steht (1795, S. 61). Ein Anstieg der Temperatur

auf der Erde zöge weitere 'Verbrennungen', also weiteres Verbinden verschiedener Substanzen mit Sauerstoff nach sich.

Wichtige grundlegende Faktoren zur Erklärung erdgeschichtlicher Ereignisse:

Abkühlung in der Zeit

Veränderungen im **CO₂** - Gehalt

Begriffsdefinition und Wortbildung "Geologie" - "Geognosie"

Das Wort "geology" erscheint bei dem einen oder anderen etwa in Wörterbüchern. Das Wort "Geologie"/"geology" schleicht sich dann eher ein, so bei DE LUC 1778 in einer Fußnote und wird 1779 bei H. B. DE SAUSSURE (D. B. DEAN 1979) benutzt in dessen Schrift "Voyages dans les Alpes" (M. PFANNENSTIEL 1940). Von KIRWAN erschien 1797 mit "Geological Essays" das Wort auch auf einem Buchtitel. Da jene, welche das Wort "Geologie" benutzten, es mit viel Theorie verbanden, meinte der auf Beobachtung setzende WERNER es durch "**Geognosie**" ersetzen zu müssen, damit die rein sachliche Beschreibung der Dinge von der Deutung ihrer Entstehung, durch Hypothesen, in der "**Geogonie**", zu trennen (W. FISCHER 1933). Das Wort 'geology' war dann nicht mehr hinwegzudenken mit dem Erscheinen des Namens "Geological Society of London" 1809.

Geologische Tatsachen - Wie theoriefrei können Sachverhalte für dauernd beschrieben werden?

Die Erkenntnisse der zweiten Hälfte des 18. Jh. legten den Grund, auf dem die Entwicklung der Geologie im 19. Jh. aufbaute. Wie weit konnten hier interpretationsfreie Tatsachen geschaffen werden? Für die geologische Kartierung, damals und auch die spätere amtliche, meinte man auf den Karten die **Sachverhalte**, die Gesteine und ihre Grenzen, als **bleibende Tatsache sehen** zu können und die Kartenbeschreibung nicht mit sich wandelnden theoretischen Auffassungen verknüpfen. Aber das ist nicht unproblematisch! Wie sollte man Gesteine unterscheiden, bezeichnen? Bei aller Anerkennung auch sachlicher richtiger Beobachtungstatsachen.

WERNERs Gesteinsfolge als Ergebnis einer irreversiblen Entwicklung der Erdkruste

Das Bild von der Entwicklung der Erdoberfläche wurde für einige Zeit stark von ABRAHAM GOTTLIEB WERNER (W. HERRMANN 1953 c, A. OSPOVAT 1976, O. WAGENBRETH 1967) an der Bergakademie in Freiberg in Sachsen bestimmt. **Irreversible, aber langsame Entwicklung der Erdkruste durch sich in der Zeit wandelnde Gesteinsbildung im Meer** war WERNERs Grundaussage. Aus den ihm bekannten Beobachtungen wollte er es abgelesen haben.

WERNER war am 25. September 1749 in Wehrau in der Lausitz geboren worden, in einem Ort der als Osiecznica nunmehr zu Polen gehört. Die gut situierte Familie war mit der dortigen Eisenproduktion verbunden und WERNER wurde Hüttenschreiber in den Eisenwerken des Herzogs von Solm, wo der Vater Inspektor war. A. G. WERNER studierte ab 1769 an der vier Jahre vorher, also 1765 begründeten Bergakademie Freiberg in Kursachsen und nahm dann an der Universität Leipzig auch das Studium der Jura und von Sprachen auf. WERNER (W. FISCHER 1933) beherrschte auch das Slawische seiner Heimat. Ihn interessierten lebenslang weiterhin Sprachen. Aber eben auch Naturwissenschaften. Ungraduiert, hatte A. G. WERNER Erfolg mit seiner Schrift "Von den äusserlichen Kennzeichen der Fossilien" von 1774. Er wurde als Lehrer an der Freiburger Bergakademie angestellt. In seiner 42-jährigen Tätigkeit in Freiberg wurde er zu einem der bekanntesten Gelehrten seiner Zeit, zum 'Orakel von Freiberg', zu dem die Studenten auch von weither kamen. Einer seiner Schüler, H. STEFFENS meinte (1841, S. 203) rückschauend: "Freiberg stand als Akademie damals in der höchsten Blüte. Werner ward in ganz Europa unbestritten als der erste Mineralog, ja als der neue Stifter und Begründer dieser Wissenschaft betrachtet. Keiner konnte sich damals mit ihm als Oryktognosten messen, selbst Linné besaß nie eine allgemeinere Autorität in der Botanik, als Werner in der Oryktognosie." Im Jahre 1802 hatte WERNER auch Paris besucht und traf dort unter anderem mit DELAMETHERIE (K. L. TAYLOR 1973) zusammen.

WERNER war zum einen Mineraloge und suchte die **Mineralien nach** ihren "**äußeren Kennzeichen**" zu unterscheiden. Die chemische Zusammensetzung der Mineralien untersuchte unter anderem vor allem KLAPROTH (O. H. ERDMANNSDÖRFFER 1931), der etliche chemische Elemente in Mineralien wenigstens bis zu einem gewissen Grade isolierte, so Uran. Zum anderen hat WERNER aber auch in die Erdgeschichtsforschung entscheidende Gedanken eingebracht und suchte aus der **Gesteinsabfolge die Entwicklung der Erdkruste** abzuleiten. Die einzelnen Gesteine sollten jeweils nur in bestimmten Epochen der Erdgeschichte entstanden sein, in einem die ganze Erde einst bedeckenden Urmeer, also auf



Abbildung 16: WERNER. Freiberg.

”**nassem Wege**”. Jedes der verbreiteten Gesteine entstand also nur in einer bestimmten Periode der Erdentwicklung, später niemals wieder. **Gesteine** waren damit die **zeitgebundenen Zeugnisse der Erdgeschichte**. Die Abfolge der Gesteine entnahm er aus den ihm bekannten Teilen von Sachsen, also vor allem aus der Freiburger Gegend und dem sächsischen Erzgebirge. Aus dieser lokal gewonnenen Gesteinsabfolge entwickelte er das Bild einer irreversiblen Umbildung auf der Erdoberfläche. Eine sehr ähnliche Gesteinsabfolge wie die WERNERs war durch andere Forscher auch von anderswo beschrieben worden, so durch den etwa Italien bereisenden JOHANN JAKOB FERBER 1772 (GÜMBEL 1877), für den auf Granit das Schiefergebirge und danach das aus Kalk und Sandstein bestehende ”Flötzgebirge” folgte.

WERNER nahm ein einst erdweites Meer an. Im Laufe der Zeit änderte es seine Eigenschaften, enthielt andere Produkte in Lösung. Deshalb setzten sich in ihm nach langen Zeiten aufeinanderfolgend andere Gesteine ab. **Ruhig** sollte das Nacheinanderabsetzen der Gesteine geschehen sein.

Für WERNER, der die Mineralien nach ’äußeren’ Kennzeichen unterschied, war alles ’Kristall’, was von regelmäßigen ebenen Flächen begrenzt ist. Als einzelne **Kristalle**, von eben beträchtlicher Größe, sah WERNER deshalb auch die einzelnen Basaltsäulen.

Kristalle aber entstanden nach der damaligen Vorstellung im Wasser (M. SEMPER



Abbildung 17: Stolpen, Basalt: WERNER war da.



Abbildung 18: Basaltsäulen v. ob. Stolpen.



Abbildung 19: Granit, b. Görlitz.



Abbildung 20: Granit Greifensteine, Erzgeb..

1911). Mit dieser Prämisse ausgestattet, mußten nach WERNER deshalb also die mit Absonderungsflächen wie Kristalle ausgestatteten Gesteine einschließlich des **Granits** mit seiner **Bankung** aus Wasser hervorgegangen sein.

Die ältesten Gesteine, von WERNER als 'Gebirgsmassen' bezeichnet, sind daher, etwa nach seiner Meinung von 1818, "durchaus chemisch" entstanden, die ältesten fast immer kristallinisch. Die neueren Gesteine sollten hingegen großenteils mechanisch gebildet worden sein, aber ebenfalls im Wasser.

Nach WERNERs (1787, 1818) Auffassung im einzelnen setzte sich, und zwar angeblich in Wasser, als **erstes** Gestein **Granit** ab. War Granit das älteste, so ist er überall in der Tiefe zu erwarten. Jedoch es bestehen viele Gebirge oder Gebirgsteile bis in die Gipfellagen aus Granit, so große Teile der Sudeten, das Lausitzer Granitmassiv, der Harz, Teile des sächsischen Erzgebirge, also WERNER teilweise



Abbildung 21: Granit Isergebirge.

bekannte Gebiete. Befindet sich dieses erste uralte Gestein, der Granit, heute an der Erdoberfläche, dann mußten über ihm abgelagerte Gesteine später abgetragen worden sein beziehungsweise es waren diese Granitgebirge schon in dem von WERNER postulierten Urmeer Erhebungen gewesen, an deren Seiten sich die dem Granit nachfolgenden Gesteine gemäß WERNERs Sukzession **seitlich anfügten**, durch Ankristallisation. Im Falle der seitlichen Ankristallisation konnten heutige Granitberge mit dem ihm anliegenden Gestein schon am Boden des Urmeeres in der heutigen Gestalt bestanden haben (H. HÖLDER 1985) und das nahm WERNER an. Es mußte gelten für den Oberharz, vielen Teilen der Sudeten! Eine etwas merkwürdige und Verständnis heischende Vorstellung! "**Grundgebirge**", wie das älteste Gesteinsmaterial und auch noch folgendes hieß und auch als Terminus für die alten Gesteine noch heute verwendet wird, darf also nicht im Sinne von heutiger Tiefenlage verstanden werden, sondern benennt das alte, auch vielerorts an die Erdoberfläche gekommenes Gesteinsmaterial (H. CLOOS 1951, S. 127).

Die Gesteinsausscheidung geschah also von unten nach oben, aber auch an den Seiten der Kerne späterer Gebirge. Von Anhängern WERNERs wurde diese Seitenanlagerung teilweise mehr als von WERNER betont. Und das sollte also WERNER beziehungsweise dessen Idee wohl 'retten'! Granitgebirge konnten so überall die ältesten Gebirge der Erde gewesen sein (s. a. A. HETTNER 1912). A. SEDGWICK und R. I. MURCHISON erinnerten (1842, S. 283) an die ältere englische geologische Literatur, wo der Brocken im Harz in einem 'geologischen Zentrum' erschien, "and all the stratified formations were delineated as mantling round it, and dipping from it in most regular order, beginning with the oldest slates at a high angle of inclination". Mit dem Granit nach WERNERs Ansicht von 1787 zeitgleich bildeten sich Gneis, Glimmer-, Ton- und Porphyrschiefer, dann auch Porphyr und Basalt, wobei letzterer allerdings auch auf Flözgebirge lag.



Abbildung 22: Scheibenberg.

Auf den Granit und das Grundgebirge überhaupt folgte das **Übergangsgebirge** mit recht verschiedenen Gesteinen, mit, bei WERNER, Gneis, Glimmerschiefer, auch Kalk- und Quarziteinlagen. Darauf folgte das **Flötzgebirge**. Hierzu gehörten nach WERNERs Ansicht von 1787 Kalk, Sandsteinarten, Steinkohlen-, Kreide-, Steinsalz-, Gips-, Eisenton- 'Flötzarten, also auch fossilführende Sedimente, von uns auch als Schichtgesteine bezeichnet, bei WERNER eben "Flötze" genannt.'.

Der **Basalt**, wie er etwa im oberen sächsischen Erzgebirge etliche Berge bildet, Scheibenberg, Pöhlberg, Bärenstein, war nach WERNERs und vieler anderer Ansicht ebenfalls **wäßriger Entstehung**, galt nicht als Produkt aus Magma. WERNER hatte den Basalt zuerst in ein tieferes Niveau der Gesteinsabfolge eingeordnet. Als WERNER 1788 den Scheibenberg besuchte (F. KRAFFT 2009), mit seinen durch Steinbruch-Abbau schön freigelegten Basaltsäulen und darunter Flußsande, also eine offensichtlich junge Bildung, hat er den Basalt auch als jung eingeordnet und über den Flußsanden auch bei Basalt Entstehung im Wasser als unzweifelhaft erachtet. Basalt hat dabei auch unterschiedliche Unterlage, so Gneis am Pöhlberg bei Annaberg und Flußsande am Scheibenberg.

WERNER gab besonders wegen des nachfolgenden Streites um die Basaltentstehung etliche Gründe für seine Ansicht an. Etwa an dem "berühmtesten Sächsischen Basaltberg" bei **Stolpen**, östlich von Dresden, zeigten sich nach WERNERs Ansicht keine Spuren von vulkanischer Wirkung. Um das basaltische Böhmisches Mittelgebirge läge Steinkohlengebirge, das jedenfalls auf nassem Wege entstand und somit spräche es auch gegen eine andersartige Entstehung der umliegenden Basalte. WERNER verwies aber auch auf den **Scheibenberg**, den 'Scheibenberger Hügel', im mittleren Erzgebirge.



Abbildung 23: Basalt auf Kies, Scheibenberg.

Hier befindet sich in senkrechten Säulen abgesonderter Basalt auf Sand, auf Flußsand, wie man heute weiß. Über den auf Ablagerung in Wasser hindeutenden Sandablagerungen, so meinte WERNER, müsse der Basalt dann als das weiter oben Befindliche ebenfalls aus Wasser ausgeschieden worden sein (M. SEMPER 1911). Ein Krater war ohnehin nicht zu finden. Da der Basalt im Unterschied zu dem Flußsand kristallin ist, war eine nochmalige Erwärmung des Urmeeres anzunehmen. WERNER verkannte beim Scheibenberg, daß ein Lavastrom von einem Krater aus größerer Entfernung in einem Flußtal geflossen war, hier erkaltete und sich dabei die senkrecht stehenden Säulen abschieden. Der relativ harte Basalt widerstand danach der Verwitterung viel mehr als das umgebende Land. Die Basaltbildung im Flußtal wurde damit zum Hügel, zu einem 'Härtling', wobei auch dieser Basalthügel nur ein übriggebliebener Teil des ehemals viel längeren Basaltstromes war. Es war durch die Verwitterung, was erst einmal begriffen werden mußte, eine 'Reliefumkehr' erzielt worden. Die **Ausbildung von Säulen** im Basalt sollte ebenfalls für die Absonderung aus Wasser sprechen, denn beim Trocknen von lehmigem Boden entstanden Risse und blättern sich 5- oder 7-seitige Polygone aus (bei C. G. CARUS in: W. FISCHER 1933, S. 49). Basaltsäulen wurden also verglichen mit durch Trockenrisse auf Lehm Boden entstehenden flachen geometrischen Gebilden. Andere sahen die Basaltsäulen als Abkühlungsprodukt oder Ergebnis einer Kristallisation (F. KRAFFT 2009).

Die einstmals gebildeten Gesteine wurden an der Erdoberfläche auch nach WERNERs Erkenntnis aber zerstört (s. a. 1818, S. 55) und über allen lagen die sich noch gegenwärtig bildenden Zerstörungsprodukte, die '**Seifengebirge**' und die '**Gebirgsarten des niedrigen Landes**', das "**Aufgeschwemmte Gebirge**", von uns heute kaum noch als "Gebirge" oder 'Gesteine' bezeichnet. WERNER (1818, S. 51, 55) kannte die Zerstörungen der Erdoberfläche, "das so zerrissene

Oberflächen-Ansehn des festen Erdkörpers - die rinnenförmigen Vertiefungen, die steilen Felswände, die schroffen Felskuppen und die spitzen Feslgipfel" - zustandegkommen durch die Zerstörungen bei "Wasserfluten, durch "Luft, Temperatur und Schwere". Und meinte auch, daß diese "Zerstörungen auch mit den ungehäuern Massen lockerer, zerstörter Gebirgsgesteine, welche die niedern Gegenden des Landes so hoch bedecken, in Verbindung zu stehen" (S. 56), das heißt von daher die Lockermassen, das "aufgeschwemmte Gebirge" stanmt. Abwechselndes Steigen und Fallen der Gewässer veranlaßte Überströmungen, Talbildungen usw. (H. VOGELSANG 1867). Mit der bei WERNER eher nur randlichen Erwähnung der exogenen Faktoren kann man im Unterschied zu HUTTON bei WERNER eine **Unterschätzung der Zeiträume** der Erdgeschichte annehmen (M. SEMPER 1911, S. 265). Organismenreste werden bei WERNER kaum erwähnt, so wie sie eben auch seiner granitischen Heimat und dem Freiburger Bergrevier fehlen, jedoch in einigen Lagen im Elbsandsteingebirge wären zu finden gewesen.

Die "ältern Gebirgsmassen", also etwa Granit, aber waren gemäß WERNER "fast durchaus chemisch -, die neueren hingegen grossentheils mechanisch gebildet" (S. 53). Die älteren Gebirgsmassen sind daher fast immer "kristallinisch" gebildet.

Auch, wenn WERNER alle größeren Gesteinsvorkommen auf die Abscheidung in einem Meer zurückführte, gab es nicht wegzudiskutierende gegenwärtige Vulkane, wie den durch Ausbrüche in den 90er Jahren des 18. Jahrhundert wohlbekannten Vesuv. WERNER meinte jedoch, daß **Vulkane** nur **lokale** Gegebenheiten sind und das Erdbild nicht entscheidend gestaltet haben. Als Ergebnis von erdinne-rem Feuer erkannte WERNER die 'Aechtvolkanischen Gebirgs-Arten' an, jedoch ihre Zahl sollte klein sein, "vielleicht zu nicht geringem Mißbehagen vieler feuersüchtiger Mineralogen und Geognosten..." (1787, S. 24). Außerdem gab es nach WERNER die '**pseudovolkanischen** Gebirgsarten', die zustandekamen, wenn unterirdisch Steinkohlen-Flöze oder andere Mineralien, etwa Schwefeleisen, brannten, also '**Erdbrände**', wie es bei WERNER hieß, stattfanden.

War Granit das tiefste Material der Erde, dann waren **alle Gänge** in ihm, auch die erzführenden, durch Material **von oben her ausgefüllt** worden (O. WAGENBRETH 1999). Es gibt in der Tat Spaltenfüllungen mit Lehm oder Ton von oben, nur wurden eben seinerzeit auch die anderen Spaltenfüllungen, die Erzgänge, als sedimentäre, von oben her stammende, gesehen.

Unter WERNERs Leitung wurde durch zahlreiche Schüler das Vorkommen der verschiedensten **Gesteine** in Sachsen **kartiert** und eine Art geologische Karte erstellt (O. WAGENBRETH 1967 c). Es wurde also eingehende Geländeuntersuchung betrieben, auch bei Festhalten am Neptunismus. Besonders interessierten Vor-

kommen von Kohle und Torf. Sachsen war 1815 allerdings stark verkleinert worden.

Bei WERNER gab es, wie etwa GREENOUGH (1821) formulierte, den ersten Versuch einer chronologischen Ordnung der "Gebirgsarten". Für WERNER, der wenig schrieb, aber immerhin etwa 1787 seine Grundgedanken in dem 28-seitigen Traktat "Kurze Klassifikation und Beschreibung der verschiedenen Gebirgsarten" niederlegte, waren die Gesteine die Zeugnisse "vom ungeheuren Zeitraum der Existenz unserer Erde" (1787, S. 5), zeugten davon, daß "unser fester Erdkörper ... ein Kind der Zeit" ist, und "sich nach und nach gebildet" hat (A. G. WERNER 1818, S. 55).

Bei HUTTON, um noch einmal darauf hinzuweisen, konnte sich alles Geschehen zu jeder Zeit wiederholen. Bei WERNER war der Ozean, war das Meer der Ort des für das geologische Erdbild entscheidenden Geschehens und dieser **Ozean veränderte sich so, daß immer einmal neue, nicht noch einmal auftretende Bildungen entstanden. WERNER kombinierte HUTTONs Ruhe im erdgeschichtlichen Geschehen mit BUFFONs Irreversibilität.** Im Unterschied zu WERNER hatte HUTTON auch die auf dem Festland vor sich gehenden eigenen Vorgänge stärker hervorgehoben (R. BRINKMANN 1948).

WERNERs geologisches Weltbild, nach der Ausdrucksweise seiner Zeit "ein System", war von großer Einheitlichkeit, **faßte die verschiedensten Dinge, eigentlich alle wesentlichen bekannten geologischen Erscheinungen, unter eine gemeinsame Ursache**, unter die Entstehung nahezu aller Gesteine außer wenig Lava und mancher Lockermassen im Wasser.

Dieses einheitliche 'geologische Weltbild' zerfiel dann, mit der Unterscheidung von 'neptunistischer' Sedimentation und Vulkanismus, es entstand eine 'exogene Dynamik' und eine 'endogene', also ein 'Dualismus', eine Differenzierung in den Ansichten in der Geologie - wie O. WAGENBRETH (1967 a) formulierte. Und gebirgsbildung wurde auch bald vielgestaltig.

Gestorben ist WERNER am 30. Juni 1817 bei einem Besuch in Dresden im Hotel "Zum goldenen Engel". Sein Leichnam wurde in der Nacht vom 2. zum 3. Juli 1817 feierlich an der Stadtgrenze von Dresden den Vertretern der Freiburger Bergakademie übergeben. Bei der Ankunft läuteten in Freiberg die Glocken. Am 3. Juli fand die großartige Begräbnisfeier statt und die "Dresdner Abendzeitung" schrieb: "Auf diese Todtenfeier heftete ganz Deutschland und das ferne Ausland seine Aufmerksamkeit" (zit. bei W. FISCHER 1933, S. 30). In Paris sprach zu seinen Ehren CUVIER, Zeugnis der Verehrung für den als das "Orakel von Freiberg" bezeichneten Gelehrten. In Edinburgh wurde eine Werner-Gesellschaft gegründet. Diese Schilderung um den toten WERNER sollen darlegen, wie um 1817 ein als

führend angesehener Gelehrter geehrt wurde! An WERNER erinnern in Dresden an der Straße nach Freiberg aufgestellte Basaltsäulen. noch heutiges Gedenken an einen Gelehrten, der seinerzeit in einer der am meisten beachteten Wissenschaftsdisziplinen gewirkt hatte.

Mehr oder weniger starke Anhänger von WERNERs geologischem System

Trotzdem bald auch Einwände gegen die Ansichten WERNERs vorgebracht wurden, besaß er eine beachtliche Anhängerschar und gab es Forscher, die auch eher unabhängig von WERNER zu ähnlichen Ansichten gelangt waren. WERNERs Bemühen um eine einheitliche Betrachtung der Erdkrustenbildung wurden anerkannt. Bei dem "Wernerfest" 1850 hieß (aus Freiburger Nachrichten Nr. 228 vom 29. 9. 1850, S. 1022 zitiert bei: O. WAGENBRETH 1967, S. 367) es etwa, daß WERNER "aus dem Vereinzelten, Regellosen ein geordnetes Gebäude gefügt..." und in dieser Hinsicht "mit Linné, mit Stahl, mit Kopernikus in einem Range" stünde. WERNER wollte dabei keineswegs ein kühnes deduktives 'System' fern der Wirklichkeit entwerfen. WERNER erwartete, daß sich seine Vorstellungen im Gelände oder in den bergbaulichen Schächten an der Gesteinslagerung beweisen lassen. Und die Gesteinslagerung schien mit seinen Vorstellungen in Übereinstimmung zu stehen. Mit der Brille einer Hypothese biegt man natürlich fast unbewußt öfters die Dinge zurecht.

Den Auffassungen WERNERs schloß sich in vielen Teilen der an Geologie stets sehr interessierte Dichter und weimarische Minister JOHANN WOLFGANG von GOETHE an. Im Dezember 1777, im September 1783 und wieder 1785 war GOETHE in den Harz gereist und hatte hier neben bergbaulichen Studien auch den Granit kennengelernt. Im Jahre 1784 verfaßte GOETHE den Aufsatz "Über den Granit". Hierin heißt es unter anderem: "Hier ruhst Du unmittelbar auf einem Grund, der bis zu den tiefsten Orten der Erde hinabreicht. Keine neuere Schicht, keine aufgehäuften, zusammengeschwemmten Trümmer haben sich zwischen Dich und den festen Boden der Urwelt gelegt." Daß, obwohl der Granit sich hier in Höhenlage befindet, und überhaupt nicht zu wissen war, was unter dem Brocken sein könnte. Wieso war der sonst von anderen Gesteinen/ 'Gebirgen' bedeckte Granit hier in solcher Höhe? Der Urgrund seitlich abgelagert?

Im Unterschied zu WERNER neigte GOETHE jedoch zur Vorstellung einer simultanen, das heißt gleichzeitigen Ausbildung vieler bei WERNER aufeinanderfolgender Gesteine von Anfang an (H. HÖLDER 1985). Damit ging allerdings WERNERs Entwicklungsvorstellung verloren. GOETHE lag das Simultane wohl in der Gei-



Abbildung 24: Granitlandschaft Oberharz.



Abbildung 25: Renneklippen, über Wernigerode.

steshaltung insgesamt näher als das Sukzessive, das weniger einfach erschien. Der Urozean war bei GOETHE heiß. Als GOETHE im Harz in Nebengestein gedrun- genen Granit sah, meinte er, daß eben die Granitkristallisation noch nicht ganz abgeschlossen war, als sich schon die jüngeren Urgebirge, Übergangsgebirge, bil- deten, also hier WERNER insoweit modifiziert wurde, daß Granit und Urgebirge gleich alt sind. Aber auch die Porphyre, ja weit jüngere Breccien und Konglomerate wurden in diese Annahme eingeschlossen. GOETHE verglich die sich niederschla- gende Lösung im Urozean mit gerinnender Milch, die ebenfalls Flocken ausbildet. Für den vom ihm erdachten Vorgang prägte GOETHE den Ausdruck "Solideszenz" (H. HÖLDER 1985), einer der von GOETHE eingeführten, in diesem Falle aber nicht übernommenen wissenschaftlichen Termini. Wegen dieser Auffassung such- te GOETHE vor allem nach solchen Übergangsstellen von einem Gestein in ein anderes und räumte solche Stücke gern in seine Sammlung ein. So etwas bot sich etwa bei Altenberg im östlichen sächsischen Erzgebirge. Der normale Granit geht hier in den zinnführenden Granit oder "Greisen" über. Im Kriegsjahre 1813 hatte GOETHE sich hier aufgehalten, im Grenzgebiet zwischen dem noch mit NAPOLE- ON verbündeten Sachsen und dem schon von ihm abgefallenen Habsburger-Reich. Es gab vor allem im späteren Leben auch Äußerungen GOETHEs, bei denen er auch zeitliche Abfolge anerkannte, so wie es namentlich die Fossilabfolge naheleg- te.

Auch wegen anderer Stellungnahmen wird GOETHE noch einmal erscheinen.

In **Großbritannien** hat der katholische Ire RICHARD KIRWAN (E. L. SCOTT 1973), der HUTTON attackierte, im "Dritten Anhang" zu seinen "Anfangsgründen der Mineralogie" (dtsh. 1785) ein Bild der Erdentwicklung entworfen. KIRWAN hatte als Katholik in Poitiers in Frankreich studieren müssen, erbte aber einen irischen Landbesitz und kehrte dorthin zurück, lebte jedoch auch, manchmal als Jurist praktizierend, zeitweilig in London und war einer der Begründer der Roy- al Irish Academy, bei der er 1799 bis 1812 der Präsident war. Zuerst entstanden nach KIRWAN die "**ursprünglichen**" **Gebirge** oder die Gebirge erster Ordnung, wobei hier "Gebirge" mit "Gestein" wiedergegeben werden muß. Den ersten Platz unter den ursprünglichen Gebirgen besitzt auch nach KIRWAN der **Granit**, der die ursprünglichen Gebirge, also die höchsten und ausgedehntesten, zusammensetzt, Alpen wie Pyrenäen, Altai, Ural, Kaukasus, Anden, und die weite Verbreitung des Granits zeuge von seiner Ursprünglichkeit. Entstanden wäre er durch Kristal- lisation, vermutlich kurz nach der Bildung der Atmosphäre und der allmählichen Aushöhlung des Ozeanbettes - alles auf Befehl Gottes. Da er ohne organische "Überbleibsel" ist, galt er auch KIRWAN als vor den Pflanzen und Tiere gebildet. Das Rückfließen des Wassers zwang die Erdarten sich zu vereinigen, wobei auch ein Teil des Kalkes (der "Kalcherde") so entstand, jener ohne Reste von Seetie-

ren, und ebenso gewisse tonartige Gesteine. Auch Vulkane gab es offenbar schon früh. Auf die ursprüngliche Gebirge folgte das aufgeschwemmte Gebirge oder das zweiter Ordnung, ausgezeichnet durch seine Versteinerungen.

Der wichtigste und führende Anhänger WERNERs auf den britischen Inseln wurde der Schotte ROBERT JAMESON (J. M. EYLES 1973), der bei WERNER in Freiberg einige Zeit studiert hatte und 1803 den Regius Chair für Naturgeschichte (Natural History) an der Universität Edinburgh erhielt. Geologie und Mineralogie waren in diesen Lehrstuhl eingeschlossen. Im Jahre 1808 gründete JAMESON mit 8 anderen Gelehrten und Juristen in Edinburgh die 'Wernerian Natural History Society'. Der junge DARWIN hatte etwa ein Vierteljahrhundert nach JAMESONs Amtsantritt bei ihm in Edinburgh Geologievorlesungen gehört, aber war davon unbeeindruckt geblieben, ja fühlte sich gelangweilt, und glaubte, daß er sich niemals mit Geologie beschäftigen würde. Andererseits hörten bei JAMESON oft zwischen 50 und 100 Studenten pro Jahr, also doch etliche von den 1500 Studenten, die insgesamt in Edinburgh gleichzeitig immatrikuliert waren. In Freiberg wurden im Jahr nur etwa 20 neue Studenten immatrikuliert.

Unter den Franzosen sah DELAMETHERIE 1797 (S. 173) in Granit **und Porphyr** das Material der "ursprünglichen Gebirge".

In den USA ging von WERNERs Ansicht aus WILLIAM MACLURE, auch AMOS EATON (C. L. FENTON et al. 1952).

Mehr und viel Kritik an WERNERs System und weitere Forschungen in diesem Zusammenhang

WERNERs System fand stets auch kritische Begleitung. Darin liegt aber auch die **anregende Wirkung** von WERNERs System. Als sich erwies, daß Gesteinsfolgen an verschiedenen Stellen von WERNERs System abwichen, folgten bald andere, die sich an des Meisters WERNER Auffassung "rieben" und dadurch eigene wissenschaftliche Lorbeeren verdienen wollten. So wurden bald etliche weitere Beobachtungen über Gesteinsfolgen zusammengetragen. Die Bedeutung einer wissenschaftlichen Theorie liegt oft nicht in ihrem "Ewigkeitswert", nicht in dem, was von ihr bleibt. Ebenso wichtig sind die von ihr ausgehenden Forschungsanregungen, und diese können bedeutsam sein, auch wenn von der ursprünglichen Hypothese nichts übernommen werden kann.

Die Kritik betraf das **allgemeine Herangehen**, also das Ausgehen WERNERs von lokalen Verhältnissen. Dazu trat, daß WERNERs einzelne **petrographische und geologische Behauptungen** nach weiterer Untersuchung den Verhältnissen

in der Natur widersprachen.

Im Mittelpunkt vieler Debatte stand der **Granit**. Ziemlich große Gneisgeschiebe in einem Granit bei Ehrenfriedersdorf verwiesen darauf, daß es Gneis gibt, der älter als Granit ist, was schon WERNER wußte. Wobei der Gneis aus Granit entstanden sein mag. Schon 1778 plädierte J. F. W. CHARPENTIER, der auch in Freiberg tätig gewesen war, für die gleichzeitige Entstehung von Granit und Gneis. HUTTON hatte 1785 in Schottland auf Granit verwiesen, der als Adern und Gänge Sedimentgesteine durchsetzt, also in diese in geschmolzenen Zustand eingedrungen sein muß. Ende August 1799 fand CHARPENTIER (1804) auf dem **Riesengebirge** auf der Schneekoppe Gneis zwischen Granit, weshalb der Gneis nicht 'neuer' als der Granit sein könne. Manche Reisende hätten das übersehen, weil sie nur auf die 'Koppe' selbst schauten, wie CHARPENTIER kritisierte. Auch ein Basaltgang durchsetze den Granit in der Kleinen Schneegrube und liegt hier keineswegs oberhalb dieses Gesteins. H. B. DE SAUSSURE (s. 1781, II. Theil, S. 324, 325), der in den Alpen ausreichend Granit kannte, betonte einerseits seine Überzeugung, daß die Granite "sowohl als die Marmor und die Schiefer, schichtenweise sind gebildet worden", aber "Seekörper" wurden trotz allen Suchens eben doch niemals im Granit gefunden. DE SAUSSURE tröstete sich dann damit, daß "in den hohen Bergen" die Schiefer und die ältesten Kalkarten ebenfalls nur "ungemein wenige Seekörper" enthalten. Von der **Auvergne** in Zentralfrankreich berichtete 1798 (S. 92) DEODAT DOLOMIEU, daß hier zahlreiche "noch deutliche Denkmäher von zahlreichen Vulkanen" vorkommen und diese gewiß "beständig unmittelbar über dem Granit gelagert sind." Die Ausbrüche, die zu diesen Vulkanen führten, müssen ihren Weg aber durch das granitische "Ur-Gebürge" gebahnt haben, sodaß die zu den Vulkanen führenden Massen sich unter dem Granit befanden, "ehe sie durch die Gewalt der Vulkane auf denselben geworfen wurden." Da die Vulkanstoffe aber nicht Granit sind, müssen unter dem Granit ältere Substanzen vorhanden sein, und "in welchen der Heerd der Vulkane befindlich ist."

Unter den WERNER-Schülern, die sich dann gegen den Meister wandten und deshalb Schelte erfuhren, befindet sich KARL FRIEDRICH VON RAUMER (M. SCHWARZBACH 1957). Geboren 1783 in Wörlitz bei Dessau, später Jura-Student in Göttingen mit Neigung zu den Naturwissenschaften, dann in Halle/S. und Freiberg, in Paris und bei dem vom Äußeren ihn abstoßenden PESTALOZZI in Ifferten, wurde er 1810 im Berg- und Hüttendepartment in Berlin angestellt. 1811 wurde RAUMER Professor der Mineralogie an der neuen Universität Breslau, 1819 in Halle 1827 in Erlangen. Als junger Mann und WERNER-Anhänger hatte VON RAUMER gemeint: "An der Wahrheit der Wernerschen Geognosie hegte ich nicht den leisesten Zweifel. Ich war so übergläubig, daß ich an Untersuchung der Gebirge zur kritischen Sichtung der Wernerschen Lehre gar nicht dachte, und alle derglei-

chen Untersuchungen mir nur dazu notwendig schienen, um jene Lehre mehr und mehr durch Tatsachen zu belegen. ...”1811 aber berichtete er, wie er mit seinem Freunde MORITZ VON ENGELHARDT auf einer Exkursion festgestellt hatte, daß am Ostrand des Erzgebirges Granit und Syenit dem ”Übergangsgebirge” auf liegen und auch der Brockengranit, den GOETHE als den Urgrund gesehen hatte, eine jüngere Bildung sein muß.

WERNERs Gesteins-, ”Gebirgs”-Abfolge stimmte vielfach eben nicht.

Viele Überlegungen stammen von JOHANN LUDWIG HEIM (1798, 1799) (GÜMBEL 1880). Als Berufsfach hatte er zwar Theologie studiert, aber schon auf der Universität Jena wandte er viel von seiner Zeit der Mineralogie zu. Später, als Instructor des nachmaligen Meininger Herzogs GEORG durchwanderte und durchforschte er geologisch den **Thüringer Wald**. Statt von der ’Uranfänglichkeit’ von Gesteinen wollte HEIM lieber vom ’Grundgebirge’ sprechen, das die Gesteine unterhalb des ’Totliegenden’, des späteren Rotliegenden, ausmacht. Während die ’primitiven Lager’ nach HEIMs (1806, S. 4) Beobachtungen im Thüringer Wald relativ rasch wechselten, nahm er von den Flözlager an, daß sie sich ”über ganze Welttheile verbreiteten und einst in einem fortlaufenden Zusammenhang gestanden zu haben scheinen”. Das letztere sollte offenbar der Fall sein, obwohl HEIM (1806, S. 14) wußte, daß das ’Todtliegende’ (Rotliegende) ”blos aus Trümmern primitiver und zwar der zunächst umher befindlichen Berge” ”besteht”, aus den ”Trümmern einer zerstörten Erdoberfläche” (S. 21). Das hätte ein weithin gleichmäßiges ’Lager’ eher ausgeschlossen, jedoch er meinte (1806, S. 20): ”Das Todtliegende ist also ein allgemein über die Erdoberfläche verbreitetes Gebürgslager, das sich vom Altai und Kaukasus, über das Riesengebirge, die Alpen und Pyrenäen, aus der nördlichen, bis zu den Kordillieren in der südlichen Halbkugel erstreckt”. Ebenso ”ein allgemein über die Erde verbreitetes Flözlager” (1806, S. 72) sollte der nach oben folgende ’ältere Kalkstein’ sein, der etwa, ”mit dem thüringischen Zechstein von einer und eben derselben Formation” nach von BUCH ”die Hälfte von Oberschlesien” bedeckt (1806, S. 74)

In Norwegen fand LEOPOLD VON BUCH 1807 nicht Granit, sondern Gneis als das allgemeine Grundgebirge. Ja es fand sich bei der damals Christiania genannten norwegischen Hauptstadt sogar **Granit über Übergangsgebirge** mit paläozoischen Fossilien, mit Trilobiten und Orthocers. LYELL besuchte den Ort im Juli 1837 (L. G. WILSON 1980). Gegen die Ursprünglichkeit allen Granites äußerten sich BUFFON, HACQUET, LINK (G. B. GREENOUGH 1821). Kritisiert wurde etwa von G. B. GREENOUGH (dtsh. 1821) das von WERNER ausgeschiedene ’Übergangsgebirge’, das auch bei J. L. HEIM nicht erschien.

Mit der Auffindung von größeren tektonischen Störungen, so mit Überschiebungen,

finden sich Aufschlüsse, in denen die von WERNER gegebene Gesteinsfolge geradezu umgekehrt erschien. Das war etwa an der Lausitzer Überschiebung der Fall, wo Syenit über dem Flözgestein des Kreide - Pläners liegt (O. WAGENBRETH 1987). A. SEDGWICK und R. I. MURCHISON fanden (1842) am Brocken im Harz im Granit eingebettete Stücke von Grauwacke, weshalb der Granit jünger als die Grauwacke sein mußte.

Es blieben auch in neuer Deutung manche Züge von WERNER Gesteinsabfolge erhalten.

Für die Beurteilung des **Granits** war wichtig, wie man dessen waagerechten **Klüfte** sah. Diese waagerechten Klüfte in vielen Granit-Vorkommen, die "Bankung", sieht Sedimentschichten wirklich ähnlich. Nie finden sich in Granit allerdings Fossilien. DELAMETHERIE (1797, S. 177) beispielsweise unterschied diese 'Risse' der Granite von "wirklichen Lagen", sah in der Granitbankung also nicht Schichtfugen: "Meistentheils sind diese Granite auf verschiedene Art gesprungen oder zerrissen, und diese Risse entsprechen einander zuweilen, so daß man bey dem ersten Anblick, Lagen zu sehen glaubt; allein wenn man diese Steinmassen genauer betrachtet, so wird man bald gewahr, daß sie von wirklichen Lagen sehr verschieden sind." Noch bis weit ins 19. Jh. wurde auch gedacht, daß Gneis die erste Erstarrungskruste der Erde war und "die ihr auflagernden ältesten Sedimente in ihren unteren Teilen durch hohe Temperatur und Druck unter Mitwirkung von Wasser umgewandelt wurden" (F. KOSSMAT 1925, S. 22). Nach NAUMANNs weiterer Vorstellung (S. 22), sollte das aber nicht generell gelten, und die Granulite und Teil der Gneise (Granitgneise) drangen als "Eruptivmassen" in die bei ihrem Aufsteigen bei der varistischen Gebirgsbildung in die darüberliegende Sedimenthülle ein und metamorphosierten sie. Als Ausdruck einer Art "Fließstruktur" kam es zu Bankung und Streifung (S. 22). Schichten werden sukzessive gebildet, nicht so die Fugen (J. ROTH 1887). Die Fugen im Granit müssen bei der Erstarrung des Granits entstanden sein. Eigenwillig erscheinen dann die Granitkomplexe in '**Wollsackform**', deren Fugen wohl durch die auch von Huminsäuren getragene Verwitterung vergrößert wurden und immer mehr gerundet ihre Form annehmen. Nach 'Sediment' sehen die nun nicht mehr aus. Verschwinden immer mehr von den Blöcken in einem Wollsackkomplex und verschwindet auch immer mehr an der Unterseite bleiben am Ende die allerdings seltenen und dann viel beachteten '**Wackelsteine**' übrig, die nur mit einer kleinen Unterlage aufliegen.

Was für die Deutung der Granit-Bankung geschah, ließ auf die Deutung der Bankung des Granulits, einem feineren Gesteins, warten, bis 1903 vor dem Geologenkongreß in Wien auch der Sachsengeologe HERMANN CREDNER den "Grundgedanken" von NAUMANN über die eruptive Natur des Granulits anerkannte, wobei auch gilt, daß "erhebliche Mengen von Sedimentgestein im Granulit aufge-

zehrt sind” (F. KOSSMAT 1925, S. 22).

Der noch in viele Fragen aus der klassischen Zeit der Geologie eingebundene und noch oft zu erwähnende KARL FRIEDRICH NAUMANN (J. G. BURKE 1977, O. WAGENBRETH 1979) war der am 30. Mai 1797 in Dresden geborene Sohn eines Kirchenmusik-Komponisten. NAUMANN studierte noch bei WERNER in Freiberg, dann in Leipzig und Jena, reiste 1821/1822 in Norwegen und wurde nach Dozentenzeiten in Jena und Leipzig 1826 Professor der Kristallographie an der Bergakademie Freiberg. NAUMANN wandt sich dann zunehmend zur Geognosie und in Freiberg ab 1835 genannt Professor der Geognosie. 1842 folgte er einem Ruf als Professor der Mineralogie und Geognosie an die Universität Leipzig. Gestorben ist NAUMANN am 26. November 1873 in Dresden, wohin er nach der Emeritierung gezogen war.

Schichtung gibt es auch bei langen **Basalt-Ausflüssen**, wo sich Magmaschicht auf Magmaschicht lagert, wie bei den Trapp-Bildungen (s. d.).

Die Neptunismus-Plutonismus-Debatte

Daß WERNER den Basalt wie den Granit aus Wasser entstehen ließ, führte zu einer der großen Kontroversen in der Entwicklung der Geologie, der Neptunismus-Plutonismus-Debatte über die **Herkunft** von **Basalt**, jenem meist dunklen und in Säulen erstarrtem Gestein, das in Landschaften oft Erhebungen gegenüber der Umgebung, ja Berge bildet. Eine durchgehende Basaltschicht ist selten gegeben. Der zu den Plutonisten führende Begriff **’plutonisch’** geht, laut J. HALL (1826, S. 317) auf KIRWAN zurück, der den Ausdruck zur Ironisierung einführte. Der Name **’Basalt’** in Deutschland geht zurück auf AGRICOLA, der die Bezeichnung allerdings irrtümlich für dieses Gestein aus PLINIUS herausgelesen hätte (F. KRAFFT 2009). Der Schweizer HORACE BE’NE’DICT DE SAUSSURE sagte 1795: ”Glückliches Land, wo die Wissenschaften Interesse genug haben, um bei der Frage über die Entstehungsheit eines Fossils” -also des Basalts - zwei Parteien, die Neptunisten und die Vulkanisten hervorzubringen” (u. a. bei F. KRAFFT 2009, S. 236). Diese Debatte um den Basalt war wichtig, aber wohl nicht von jener Einzigartigkeit, die ihr manchmal zugeschrieben wird, zumal richtigere Ansichten vorher bestanden hatten.

Viele Naturforscher hatten vor dieser Debatte im engeren Sinn die vulkanische Herkunft etwa des Basaltes erkannt und sogar erloschene Vulkanreste beschrieben. Die Schwierigkeit war, daß frisches oder auch länger erstarrtes Magma, wie man am Vesuv oder massenweise in Island sieht, gar nicht an Basaltsäulen erinnern, die eben nicht bei jedem sich abkühlendem Magma ausbilden. Es gibt auf Island



Abbildung 26: Hier Lava ohne Säulen, Island.

Basaltsläulen und sie erscheinen fast als Symbol der Isländer, aber es gibt eben in all den vulkanischen Auswurfmassen nicht nur Säulen.

Es war eine nicht so rasch einsichtige bedeutsame Erkenntnis, den **Zusammenhang von Lava und Basalt** auszumachen (P. NIGGLI 1937, S. 21). So hatte als erster wohl GUETTARD 1751 (G. DE BEER 1962) auf die vulkanische Natur der Basaltberge der **Auvergne** verwiesen und hat sich auch NICOLAS DESMAREST 1774 (L. G. WILSON 1980) dafür ausgesprochen, ebenso DOLOMIEU (1798). In der Auvergne gibt es noch kegelförmige Berge, nicht einmal hoch, die eine Krater-einsenkung besitzen. Sie erloschen als Vulkan also vor noch gar nicht langer Zeit. Schöne Beispiele gibt es etwa bei Clermont-Ferrand in der Umgebung des Puy de Dôme. Der in der Wissenskulturskultur Frankreich viel beschäftigte DESMAREST stellte fest, daß die Vulkane der Auvergne verschiedenen Alter aufwiesen, daß wenigstens dreimal vulkanische Aktivität getrennt durch längere Pausen stattfand. GUETTARD hatte am Mont Dore inmitten der erhaltenen Lava säulenförmigen Basalt entdeckt, aber noch als Produkt einer Kristallisation erachtet. Für ARDUINO (J. J. FERBER 1773) waren in Oberitalien die vulkanischen Gebirge durch andere Schichten hindurchgebrochen. DOLOMIEU wies wiederum für die Auvergne darauf hin, daß das Material der Vulkane den Granit durchbrochen hat, also von unterhalb des Granits stammt. Damit aber entfiel, "daß das Nahrungsmittel des vulkanischen Feuers ... auf den Steinkohlen oder andern brennbaren Stoffen beruhe", die der letzten Erdepöche angehören (1798, S. 93). DOLOMIEU sah hierin einen wichtigen befund für die "Theorie der Vulkane". Aber selbst für Italien wurde von SPALLANZANI, der 1788 sowohl den Ätna wie den Stromboli und den Vulkanismus auf den Liparischen Inseln gesehen hatte, lag die Ursache der Vulkanerscheinungen in geringer Tiefe, stand mit unterirdischen Bränden in Beziehungen, wie es selbst WERNER für etliche Punkte zugab. Als brennende



Abbildung 27: Säulen im Basalt der Auvergne.

”Materien”, die lange Zeit einen Vulkan speisen können, erörterte er Schwefel oder Steinöl. Während SPALLANZANI Schwefel wahrnahm und der also im Erdinneren zu brennen schien, ließ sich jedoch Steinöl nicht erweisen. SPALLANZANI erlebte dann auch den Vesuvausbruch 1794. Der französische Naturforscher BORY DE ST. VINCENT (1805) sah um 1800 die Insel Reunion südöstlich von Afrika als Produkt vulkanischer Ausbrüche. Bei HUTTON und PLAYFAIR, die eigentlichen Vertreter einer WERNER entgegengesetzten Ansicht, trat aus dem Erdinneren austretende glutflüssige Schmelze am Meeresboden in die Substanz der Erdrinde ein, wobei gerade diese eine sanfte Entwicklung auf der Erde vernuteten.

Auseinandersetzungen gab es etwa in Edinburgh, wo noch der junge ARCHIBALD GEIKIE (1924, S. 28) mit Menschen sprach, die sich an den ”warfare of the Plutonists and Neptunists”, das heißt zwischen den Protagonisten von HUTTON, dem JOHN PLAYFAIR und JAMES HALL, und dem ”stout partisan of Werner”, ROBERT JAMESON, erinnerten.

Für **Deutschland** kann man für die verschiedenen dann als vulkanisch anerkannten Berge und Höhen die Erkenntnis von der vulkanischen Natur verfolgen. Der Plutonist GUETTARD (R. LAUTERBORN 1930, S. 286) reiste ohnehin 1764 durch das südliche Deutschland nach Wien und nach Polen. In **Thüringen**, wo Basalt an einigen Stellen den Buntsandstein durchbrochen hat oder sich **bei Eisenach** steckengebliebene Basaltgänge fanden, schloß sich von den zeitweiligen Anhängern WERNERS Bergrat JOHANN CARL WILHELM VOIGT den Vul-

kanisten an (B. v. FREYBURG 1932). Das, nachdem er 3 Jahre bei WERNER studiert hatte und 1783 Bergsekretär in Weimar, 1789 Bergrat im 1784 wieder eröffneten Bergwerk zu Ilmenau geworden war. VOIGTs Vorgesetzter GOETHE, der aber auch VOIGTs Freund war, folgte dem aber nicht, ließ aber die Kontroverse seine dichterischen Gestalten etwa in "Faust II" aussprechen, was ihm jederzeitigen Rückzug ermöglichte. 1789 trafen sich GOETHE und WERNER erstmals persönlich. An verschiedensten Orten in Deutschland suchte man nach ehemaligen Vulkankratern, die so schön in Frankreich zu sehen waren. 1789 hielt VOIGT die **Maare der Eifel** für Vulkankrater. Für den aus der Oberrheinischen Tiefebene herausragenden **Kaiserstuhl** mit der höchsten Höhe von 556,6 m und 377, 1 m über dem Rhein, hat der GOETHE-Freund JOHANN HEINRICH MERCK 1786 die Vulkannatur behauptet (R. LAUTERBORN 1930, S. 258). Der Löß-Mantel des Kaiserstuhl wurde einmal als vulkanische Asche gedeutet, was H. B. DE SAUSSURE korrigierte (S. 258). Für den **Hegau**, mit dem 686 m hohen Hohentwiel, wurden die herausragenden Phonolith- und Basatlkuppen von GREGOR (GEORG) RASUMOFISKY, Bruder des eigenwilligen, in Wien lebenden russischen Diplomaten ANDREAS K. RASUMOWSKY als vulkanische gesehen und ebenso von dem geologische Autodidakten FRANZ EGON CÖLESTIN Freiherr VON BEROLDINGEN (S. 259).

Als einen kleinen Vulkan erkannte GOETHE jedoch schließlich den kleinen, vielfach aus Tuffen bestehenden Hügel **Kammerbühl**/Komorni Hurka **bei Franzensbad** im nordwestlichen Böhmen an. Von Wiesbaden aus schrieb GOETHE am 2. August 1815 (s. 1949, S. 5): "... So muß es mir mit Gewalt abgenötigt werden, wenn ich etwas für vulkanisch halten soll, ich kann nicht aus meinem Neptunismus heraus ... und wenn ich einmal einen Vulkan anerkenne und verteidige, dann will es auch was heißen; so in Böhmen, da habe ich bewiesen, wie ich mich eines Vulkans annehmen kann."

1822 hatten GOETHE, der schwedische Chemiker BERZELIUS und Graf KASPAR STERNBERG (F. PALACKY' (in K. STERNBERG 1868, S. 219) in Marienbad, vom Kammerbühl ziemlich entfernt, "unter einem Dache gewohnt, und einander lieb gewonnen", was hier nicht mißverstanden werden darf. Denn "die Natur und ihre Wunder waren die Mittel, das sie zuerst zu einander führte; ..." Ihr gemeinsames Interesse war aber auch auf den Kammerbühl gerichtet. Im Sommer 1822 gaben sich der nach Eger vorausgereiste GOETHE und die nachkommenen BERZELIUS und Graf KASPAR STERNBERG ein "Rendez-vous" auf dem Kammerbühl (K. STERNBERG 1868, S. 121). BERZELIUS, "welcher die vulkanischen Gebilde der Auvergne bereist hatte, sah im Kammerbühl wegen seiner Ähnlichkeit mit erloschenen Vulkanbergen der Auvergne einen 'vulkanischen Ursprung' Die Frage war, ob der Aufstieg des Materials der Kammerbühl aus den



Abbildung 28: Kammerbühl fern.



Abbildung 29: Kammerbühl.



Abbildung 30: Am Kammerbühl.



Abbildung 31: Hauptsache GOETHE war da.



Abbildung 32: Kammerbühl-Auswurf.



Abbildung 33: Basaltreste Kammerbühl.

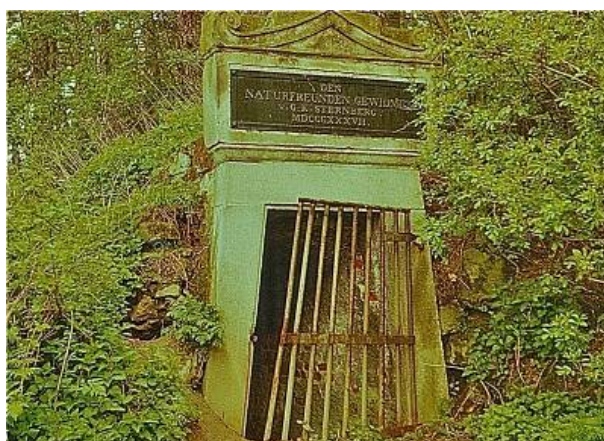


Abbildung 34: Kammerbühl, Schacht.

Tiefen der Erde nachgewiesen werden konnte oder ob es sich beim Kammerbühl um die Auswirkungen eines nahe der Erdoberfläche erfolgten Kohlenbrandes handelt. GOETHE war auf seinen Exkursionen begleitet von einem Diener, der ihm Hammer und Hacke nachtrug (H. HÖLDER 1989, S. 217). WERNER und 1832 GOETHE waren tot. Graf KASPAR VON STERNBERG ließ am Kammerbühl einen auf GOETHEs Anregung zurückgehenden Stollen in das Gestein treiben - ein frühes Beispiel eines aus wissenschaftlichen Gründen angelegten Stollens. 1834 mußte K. VON STERNBERG bei seinem Besuch auf dem Kammerbühl aber feststellen, daß man vor dem Eindringen "in festes Gebirg ... vom Wasser verdrängt" war (S. 171). Im September 1835 waren "Ihre Majestäten" das Kaiserpaar, mit dem seit Mai 1835 regierenden FERDINAND I, nach Böhmen gereist und von Franzensbad aus mit dem sie führenden K. VON STERNBERG nahmen sie die Arbeiten am Kammerbühl in Augenschein (S. 174). Die Arbeiten waren "noch nicht vollendet, die Eruptionsquelle zwar mit Wahrscheinlichkeit nachgewiesen, aber noch nicht zur Gänze umgrenzt, - woran jedoch gearbeitet wird." 1836 war VON STERNBERG wiederum am Kammerbühl, "wo meine Bergarbeiten der Vollendung nahten (S. 179) und wollte nach einem Besuch am 13. Oktober mit einer kleinen Nachgrabung die Forschung am Kammerbühl beenden. Am 20. Detember 1838 ist VON STERNBERG auf seinem Sitz Brezina gestorben.

Der aus der Umgebung nur wenig herausragende **Kammerbühl/Komorni Hurka** ist ein Schlackenkegel, 503 m über NN, und seine Entstehung wurde für uns auf vor 720.000 Jahren ermittelt, also ein Vulkan des Quartär, im Nachklang des Absinkens der Südseite des Erzgebirges. Seit 1951 ist der Komorni Hurka geschütztes Naturdenkmal (Wikipedia 2013).

Anerkennung fand der Vulkanismus schließlich bei VON BUCH, worüber auch an

anderer Stelle einiges gesagt werden soll. Entscheidend für VON BUCH war seine Reise in die Auvergne im Jahre 1812. Hier brechen die Vulkane direkt aus dem Granit hervor, von unterliegenden Steinkohlenbränden konnten diese Vulkane jedenfalls nicht herrühren (H. VOGELSSANG 1867). In der Auvergne hatten nach den späteren Darlegungen nach CONYBEARE die Laven als alt geltende Gesteine durchbrochen und wies das auf eine tief im Erdinneren gelegene Hitzequelle der Laven hin (L. G. WILSON 1980). Durchbrochen waren allerdings später als metamorph erkannte Gesteine, deren Alter unterschiedlich ist.

Mit der Betrachtung des Vulkanismus als eine "Gruppe eigenständiger, von der neptunistischen Sedimentation unabhängiger geologischer Vorgänge" (O. WAGENBRETH 1967, S. 368) größeren Ausmaßes wurde nach der Begründung von WERNERS Neptunismus ein besonders wichtiges Glied aus dem WERNERSchen Erdbild herausgerissen. **Die Gesteinsbildung** war damit **vielseitiger, variantenreicher** als nach dem einen WERNERSchen Schema denkbar war. **Die Geologie differenzierte sich**. Mit der Verselbständigung des Vulkanismus wurde in die geologischen Ansichten ein Dualismus eingeführt: 1. es gab bei der Gesteinsbildung die Sedimentation, weiterhin im Wasser, besonders im Meer, als 'neptunisch' zu bezeichnen, 2. es bestand der davon unabhängige 'Vulkanismus' (s. O. WAGENBRETH 1967, S. 368), der etwa bei MORO und RASPE schon die Szene beherrscht hatte - jedoch bei diesen fast allein. Und auch der Granit blieb später nicht von zeitlich einheitlicher Entstehung, als Gestein eines bestimmten Erdalters. Die Differenzierung im geologischen Weltbild schritt weiter.

Daß **vulkanische Eruptionen** auch in **erdgeschichtlich junger Zeit** auch noch in **Mitteleuropa** stattfanden wurde um 1850 auch bewußt, als deutlich wurde (HESSEL 1850), daß **Bimssteinkörner** in der Nähe von Marburg von einer Eruption "aus den Gegenden des Laacher See" von vielleicht mehr als 2000 Jahren stammen, und sie teils durch die Luft, teils zu Wasser etwa in der Lahn unter anderem bis in die Gegend um Marburg gelangten. Man konnte das Vorkommen solcher Bimssteinkörner vom Laacher See aus über den Rhein hinüber nach Osten über Andernach, Neuwied und weiter verfolgen und die "Körner nehmen an Grösse ab, je weiter man vom Laacher See aus ... fortschreitet." In Kurhessen wurde dieser Bimsstein zum Bau von Eisenbahndämmen benutzt.



Abbildung 35: SAUSSURE. Chamonix.

Exogene Faktoren bei der Gestaltung der Erdoberfläche im späten 18. Jahrhundert: DE SAUSSURE, DELAMETHE-RIE und andere

Von manchen Forschern gerade im späten 18. Jh. wurde die Bedeutung der exogenen 'Kräfte' für die Erdkrustengestaltung durchaus erkannt und erst danach teilweise wieder in Abrede gestellt oder wenigstens verkleinert. In HUTTONs geologischem 'System' bildete die Verwitterung den einen großen Vorgang im Kreislauf der Substanzen auf der Erdoberfläche.

Daß die **Flüsse** beachtliche Mengen an **Material transportieren** und selbst ziemlich große Gerölle weithin verfrachten wurde namentlich an Alpenflüssen deutlich, wie es der Genfer Naturforscher HORACE BÉNÉDICT DE SAUSSURE (dtsh. s. 1781, I. Theil) um 1780 beschrieb.

DE SAUSSURE war der erste große Bergsteiger unter den Geologen, der, unter Mitnahme von Trägern und Zelten, 1787 den Montblanc bezwang, dann Monte Rosa, Rothorn, Gabelhorn, Breithorn (M. BROCKMANN-JEROSCH et al. 1952). Was die Landbildung durch Ablagerung betrifft, so bewiesen ihm die weiten Flächen der Lombardei, daß durch Flüsse "herzugeschwemmte Steine und Sand den Grund der Seen, des Meers usw. nach und nach anfüllen" (1781, I, Fußnote S. 8) und so neues Land bilden. DE SAUSSURE fand, daß die den Genfer See durch-

fließende Rhone "vollkommen hell aus dem See herausfließt" (S. 9), also nach dem Eintreten in den See alles aus den Alpen mitgebrachte Material "darin zurückläßt", was das Seebecken nach und nach auffüllt. Es ließe sich, wenn die Menge des in den See gespülten Materials bekannt wäre, berechnen, wann der Genfer See zu Land geworden ist. Das Geröllmaterial in Flußtälern ist eine in den Mengen selektive Anhäufung der Gesteine aus dem Herkunftsgebiet der Flüsse. Während bei Genf der Grund auch des Flußtals Kalkstein oder Sandstein ist, wurde in den Tälern der Flüsse massenweise Kiesel und Felsen aus "Granit, blättrichten Felsarten und anderen primitiven Alpensteinen" abgelagert, also aus dem Herkunftsgebiet der Flüsse mitgebracht. Sie wurden bei dem Transport auch zugerundet, wobei DE SAUSSURE allerdings schrieb, "daß sie von dem Wasser zugerundet wurden" (S. 168), nach späterer Erkenntnis allerdings das Reiben an anderen Steinen beim Transport entscheidend war. Es fanden sich diese Fremdgerölle auch nur auf der den Alpen zugewandten Seite des Jura, nicht auf der den Alpen abgekehrten. "Bey Erwägung dieser Betrachtungen", schrieb DE SAUSSURE (1781, I, S. 168 / 169), "wird man sich nicht erwehren können, zu gestehen, daß diese Bruchstücke nicht in unserm Thale gebildet werden, auch nicht auf den Bergen, die dasselbe einschließen, sondern daß sie fremdhergekommene Körper sind, die auf den Alpen aus ihrem Geburtsorte durch eine mächtig wirkende Ursache losgerissen worden, welche sie fortgeführt, zugerundet, und ohne Ordnung auf einander gehäuft hat." Alle Betrachtung der Zurundung, des Fehlens der leichteren Teile an diesen Bruchstücken zeige, daß "das Wasser diese wirkende Ursache sey" und nicht das auch in die Überlegungen einbezogene Feuer. "Am Grunde der Moldau wandern die Steine", sollte im 20. Jh. BERTOLT BRECHT schreiben, um die ständige Veränderung der Dinge zu betonen. Hochwasser können die Wirkung des Flußtransports vervielfachen und es war nicht ganz unverständlich, wenn auch die großen ortsfremden Felsblöcke im Vorland der Alpen oder in Norddeutschland auf eine Wasserflut zurückgeführt wurden. Nach der Anerkennung einst weiterer Gletscherausbildung wurde die Annahme, daß der Transport von großen Felsblöcken durch strömendes Wasser geschah, manchmal zu verächtlich gemacht.

Die Anlage der großen Täler sollte nach DE SAUSSURE (1781, S. 171) jedoch durch "eine heftige Erschütterung der Erdkugel" erfolgt sein, zu Zeiten, als die Alpenberge noch zu einem Teil vom "Gewässer des Weltmeeres" bedeckt waren, und das nach der Erschütterung gegen die dabei entstandenen Abgründe "mit einer ihrer damaligen Höhe verhältnißmäßig großen Gewalt" andrangen und die großen Täler ausgruben. WREDE führte 1794 das Entstehen der Berge auf das Einsinken der Talungen zurück. Das Erdreich aber sank ab wegen des Abtransportes von Material durch Wasser. Etwa im Adersbacher Gebirge in Böhmen, einer Sandsteinlandschaft, wäre die Wasserwirkung deutlich, denn der abgetragene Sand liegt noch rings um die Felsen. Wegen des abtragenden Wassers gäbe es zum Haupt-

kamm der Gebirge senkrechte Seitengebirge. Daß abgetragenes Material anderswo abgelagert wird, bewies die Vergrößerung des Nildeltas, worauf etwa DELAMETHERIE (1797, S. 211) verwies. Im 12. Jahrhundert wäre der französische König und Kreuzfahrer LUDWIG der HEILIGE noch in Damiette als einer Hafenstadt gelandet. Gegenwärtig liegt der Ort "sehr weit vom Meere entfernt". Überhaupt werden die Ebenen immer größer. Auf vielen Bergen liegen große Haufen von Blöcken, etwa von Granit, als Produkt der Verwitterung. DELAMETHERIE verwies (dtsh. 1798, S. 799 auch auf die "Gewalt der Meereswogen", die stark gegen "alle ihnen entgegenstehenden Küsten" wirken. In Deutschland führte JOHANN LUDWIG HEIM 1791 die Bildung der Täler auf die in ihnen fließenden Ströme zurück, wobei er das zurückverfolgt bis zum Beginn der Zertalung der ursprünglichen Erdoberfläche. Der Gedanke wurde dann von LYELL weitergeführt. Angenommen wurde auch, daß die Vegetationsdecke die weitere Verwitterung unterbindet (J. F. W. v. CHARPENTIER 1804). In der frühen Geologie wurde auch die Verwitterungsdecke größtenteils nicht vom unterlagernden Gestein abgeleitet (R. BRINKMANN 1948), sondern galt als Absatz von früherer Überschwemmung, was teilweise noch weiterhin gemeint wurde.

Vergleich der geologischen 'Systeme' von HUTTON und WERNER:
Siehe Tabelle im Anhang.

5. Auf dem Wege zur Periodisierung der Erdzeitalter

Erdgeschichte aus den Sedimentgesteinen - Allgemeines

Die Erdgeschichte wurde vor allem in den Sedimentgesteinen dokumentiert. Diese wurden im Meere, in Seebecken oder auch in festländischen Senken abgelagert. Bei ungestörter Lagerung befinden sich die ältesten Gesteine unten, die jüngsten oben. Von unten nach oben würde man in die Sedimente zu immer jüngerer Perioden emporsteigen. Wären alle irgendwo abgelagerten Sedimente in ihrer ursprünglichen Lagerung verblieben, könnte Erdgeschichte nur durch Tiefbohrungen ermittelt werden, indem man zu den nach unten immer älteren Schichten hinabstiege. Aber **Erdkrustenteile wurden aber gehoben, gesenkt, gefaltet**. In der Schale der Erde gab es "durch die geologischen Epochen hindurch Bewegungen und Verschiebungen ..., die das im dunklen Untergrund Ruhende an das Tageslicht

gebracht haben" (G. LINCK 1924, S. 5). **Die Sedimente aus den verschiedensten Erdzeitaltern gerieten in ganz unterschiedliche Höhenlage.** Zum Glück für den Erdgeschichtsforscher! Die Sedimente aller Erdzeitalter, auch der alten und ältesten, liegen irgendwo auch an der Erdoberfläche. Auf den Höhen des Harzes befinden sich viel ältere Gesteine als im Thüringer Becken und im nördlich des Harzes. Erdgeschichte kann also auch ausschließlich mit an der Erdoberfläche aufgeschlossenen Sedimenten betrieben werden. Voraussetzung jedoch ist, daß die Zeitstellung der Gesteine ermittelt wird.

Die Sedimente, deren Gesamtheit nach VERNADSKY (s. 1930) als "Stratisphäre" bezeichnet werden sollte, bilden auf der Erdoberfläche keine geschlossene Hülle, stehen ungeachtet ihres Auftretens auch in Wüsten und Süßwasserbecken in ihrer großen Masse in "engstem Zusammenhang mit der einstmaligen Verteilung der Meere" (S. 58), und vielerorts lagern an der Erdoberfläche plutonische Gesteine, weithin zwischen den Sedimentregionen. Bestimmte Sedimente sind, wie andere Gesteine aber auch, regional gebunden, selbst wenn bestimmte Ablagerungen auch weite Gebiete umfassen können, etwa Nordwestdeutschland und Südengland. Damit überhaupt Sedimente entstanden, mußte jedoch das Material von irgendwo herkommen, von anderen Gesteinen, mußte "einem Gravitationsstrom" folgen und "zu jedem Absatzgebiet gehört ein Zerstörungs- und Transportgebiet" (S. VON BUBNOFF 1954, S. 16)

Es war eine manchmal verwirrende Arbeit, die Zeitstellung der verschiedenen Sedimentgesteine zu ermitteln und aus der Abfolge dann die Erdgeschichte zu rekonstruieren. Sedimente werden dort, wo sie vorkommen, wie deutlich wurde, auch nicht kontinuierlich abgelagert. Gerade die Lücken lassen einzelne Schichten, dieses so wesentliche Merkmal der Sedimente, hervortreten, Schichten voneinander unterscheiden. Oftmals fehlen in Sedimentpaketen die Ablagerungen ganzer Formationen.

Sedimente wurden in der Erdgeschichte vielfach verändert. Druck in der Erdkruste prägte manchen Sedimenten noch eine andere Ebene der Spaltung als die ursprüngliche Schichtung, welche die ursprüngliche Schichtung in einem Winkel schneidet: die **Schieferung** (J. ROTH 1887) ('slaty cleavage', A. SEDGWICK 1835). Diese Schieferung durfte nicht mit der Schichtung verwechselt werden, wobei die ursprüngliche Schichtung oft gegenüber der Schieferung sehr in den Hintergrund tritt.

Geklärt wurde das mit zuerst von SEDGWICK, vor allem in einer grundlegenden Arbeit von 1835. In einer Ausschlagtafel von 1835 wurde eindrucksvoll demonstriert, zu "distinguishing Stratification from Cleavage". SEDGWICK legte hier auch dar, daß **erkaltende feuerflüssige Massen** bei der Abkühlung kontra-



Abbildung 36: Schiefer. NW-Schottland.

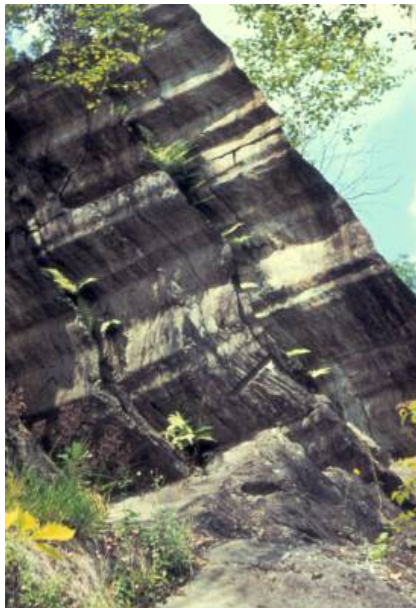


Abbildung 37: Schichtg.-Schiefer., Greiz.



Abbildung 38: Mittagsstein. Riesengebirge..



Abbildung 39: Riesengebirge: Sausteine.

hieren, dabei **sich zusammenziehen** müssen und dann Risse und Längsspalten auftreten, welche etwa bei gebanktem Granit Schichtung vortäuschen.

Die Feststellung von Sedimentabfolgen und ihre Zusammenschau konnte bis zu einem gewissen Grade auch unabhängig von den Erörterungen über Katastrophismus und Aktualismus erfolgen. Gerade für die Anhänger der Katastrophentheorie mußten die Erdzeitalter besonders scharf getrennt sein. Als sich das nicht durchhalten ließ, wurde die aktualistische Ansicht bevorzugt, bei der aber mit viel mehr lokalen Abweichungen gerechnet werden mußte.

Für große Schichtenkomplexe, deren Entstehung in größere Zeitabschnitte der Erdgeschichte fiel, wurde in Großbritannien zunehmend der Ausdruck "**Sytem(e)**" benutzt. In Deutschland setzte der Begriff "**Formation**" durch. Auf dem Internationalen Geologen-Kongreß in Bologna 1881 wurde zwar der Terminus "System"

für verbindlich erklärt (R. HOERNES 1884), aber fand in Deutschland trotz mancher Forderung nach seiner Durchsetzung nur bedingt Anerkennung.

Beschreibung der Gesteins- und Sedimentfolgen in begrenzten Territorien von etwa 1800 bis etwa 1830

Mit der Feststellung und Beschreibung der Gesteins- beziehungsweise Schichtfolgen in begrenzten Gebieten wurde die eigentliche Erdgeschichtsforschung aufgenommen, schon im 18. Jh. bei FÜCHSEL, LEHMANN, ARDUINO. WERNERs Annahme von erdweiten Formationen, die er aber nur aus seinem sächsischen Untersuchungsgebiet ableitete, wurde nicht allgemein angenommen, da, wie G. B. GREENOUGH (dtsh. 1821, S. 166) bemerkte, "... Formationen nicht allgemein sind, und Gebirge in verschiedenen Gegenden der Welt, obwohl ähnlich, doch verschiedenen Zeitepochen angehören können." Die örtliche Beschreibung von Gesteinsabfolgen behielt also trotz WERNER ihre Bedeutung und die Parallelisierung der Gesteine in verschiedenen Teilen der Welt konnte nicht aus dem Gesteinscharakter geschehen. Der Begriff "Formation" wurde zuerst auf Schichtpakete in lokal untersuchten Abfolgen angewandt, was einen Vergleich mit "Äquivalenten" anderswo nicht ausschloß.

Am Ende des 18. Jh. untersuchte HEIM die Gesteinsabfolge im und am Thüringer Wald (s. a. GÜMBEL 1880). Als 'Flözgebirge', also die ungefalteten Sedimente, erschien ihm an den Rändern des Thüringer Waldes 1. Totliegendes mit Steinkohlen, 2. Zechsteine mit Rauchwacke und Kupferschiefer, 3. Bunter Sandstein mit Gips und Steinsalz, 4. Muschelkalk und Jurakalk. Da der Basalt auf Jura liegt, galt er als jünger (J. L. HEIM 1812, S. 222). Nach den Verhältnissen in der Rhön habe nach HEIMs Ansicht der Basalt wohl auch einmal eine zusammenhängende Decke wie die Kalk- und Sandstein - "Lager" gebildet, die erst danach teilweise zerstört wurde. VON HOFF (R. MÖLLER 1972) unterschied in Thüringen Urgebirge (Kristallines Grundgebirge) - Übergangsgebirge (Schiefergebirge) - Ältere Flözgebirge - Neuere Flözgebirge.

Im Auftrag der preußischen "kgl. obersten Bergwerksbehörde" bereisten von Juli bis November 1823 C. VON OEYNHAUSEN, H. VON DECHEN, H. VON LA ROCHE (1825) das **Rheingebiet zwischen Basel und Mainz**. Auf das "Uebergangsgebirge" mit seinem "Thonschiefer" folgten als "Flötzgebirge": 1. die "Formation des Grauliegenden, Kupferschiefers und Zechsteins". 2. die "Formation des rothen oder bunten Sandsteins", 3. die "Formation des rauchgrauen Kalksteins oder Muschelkalks", 4. die "Formation des oberen bunten Mergel oder des Keuper", 5. die "Formation des Gräphitenkalks und seiner bituminösen Mergel, 6. die

”Formation des eisenhaltigen Sandsteins”, 7. die ”Formation des Jurakalksteins”
Darauf folgte das ”tertiäre und das Trappgebirge” - letzteres also die Basalte.

In **Nordwest-Deutschland** verfolgte der Göttinger Mineraloge JOHANN FRIEDRICH LUDWIG HAUSMANN die 1824 veröffentlichte Abfolge der ”jüngeren Flötzgebilde im Flußgebiete der Weser”. Er unterschied: 1. die ”Formation des bunten Sandsteins” mit 2 Gruppen, 2. die ”Formation des Muschelkalkes” mit 3 Gruppen, die ”Formation des Thons und Mergels” mit 3 Gruppen, wobei die 3. Gruppe die des Quadersandsteins war, also späterer Kreide-Sandstein, 4. die ”Formation des weißen Kalkes”. Weitausgedehnter in Nordwest-Deutschland als HAUSMANN hat aus eigenen Forschungen FRIEDRICH HOFFMANN (1830) eine vorbildliche, der bleibenden Formationstabelle kurz vorangehende Gliederung der Schichtenfolgen gegeben, wobei er auch Parallelisierungen mit Bildungen etwa in England vornahm. HOFFMANN wurde geboren am 6. Juni 1797 bei Wehlau in Ostpreußen, wo sein studierter Vater eine Vereinigung ”mannichfaltiger Mühlenwerke” beaufsichtigte, bald aber, 1798, nach Königsberg zog, 1809 nach Berlin, seit 1801 im Staatsdienst arbeitete. Eben erst 16-jährig zog F. HOFFMANN 1814 mit den preußischen Truppen nach Frankreich, studierte nach Privatunterricht ab Herbst 1814 bis Ostern 1818, mit kurzer Unterbrechung 1815, Medizin in Berlin und dann in Göttingen. Hatte er in Göttingen den Mineralogen HAUSMANN gehört, so beeinflusste ihn danach wieder in Berlin WEISS. Auf einer Studienreise 1820 fesselte ihn zwischen Magdeburg und Helmstedt der Wechsel der hier vorkommenden ”Gebirgsarten”, d. h. der Gesteine, namentlich der Sedimente und versuchte sie mit den ähnlichen Formationen in England zu parallelisieren. VON BUCH wie A. VON HUMBOLDT waren auf HOFFMANNs Untersuchungen aufmerksam geworden, er habilitierte sich in Halle als Privatdozent, forschte in den Sommerferien weiter, 8 Jahre lang, ausgedehnt auch auf Helgoland und in Thüringen, Er schuf ein ”Muster” geologischer Landesuntersuchung, niedergelegt 1830 in einem umfassenden Buche, wobei er auch Nutzgesteine und nutzbare Mineralien, so Flußspat, erfaßte. Die Zahl der benannten Schichten hatte er fast verdoppelt. Er erhielt die Mittel, Ende Oktober 1829 bis März 1833 nach Italien zu reisen und namentlich 17 Monate lang auf Sizilien zu forschen. Er hatte Reisegefährten und hielt sich am Beginn der Reise zu Studienzwecken in Wien auf. HOFFMANN erlebte im Februar 1822 einen Ausbruch des Vesuv. Er lehrte im Winterhalbjahr 1833 / 1834 in Berlin, aber nach längerer schwerer Krankheit starb HOFFMANN am 6. Februar 1836.

Nordwest-Deutschland nördlich vom Harz sah HOFFMANN als ehemaliges riesiges Meeresbecken, das bis an den Rand der Mittelgebirge reichte und Ostsee wie der südlichste Teil der Nordsee blieben als Reste davon zurück. Er gliederte die Gesteine hier noch nach den bisherigen Bezeichnungen. ”Urgebirgsarten” fanden sich nicht, ”Uebergangsgebirge”, also ”Thonschiefer und der von ihm abhängigen

Grauwacken und Grauwackenschiefer" kaum. Anders stand es mit diesen 'Gebirgsarten' im Harz. Die meisten anstehenden Gesteine Nordwest-Deutschlands fanden sich als Glieder der "**Flöz-Formation**". Der Terminus "Formation" wird noch sehr uneinheitlich und für unterschiedlich auffallende Bildungen verwendet. Manche Bezeichnungen entsprechen auch den später beibehaltenen, waren ja auch anderswo schon mit diesen Namen ausgegliedert. Unter HOFFMANNs Vorgängern, die schon wichtige Parallelisierungen mit den Bildungen in England durchführten, nennt er BOUÉ, der festgestellt hatte, daß es in England keine dem Muschelkalk in Deutschland entsprechende Bildung gibt, nennt aber sicher Jura-Oolithe bei Hildesheim, Lias-Mergel bei Pyrmont, Kreide am Teutoburger Wald, am Nordrande des Harzes, im Hügelland zwischen Oker und Innerste. Fossilien der einzelnen "Formationen" werden bei HOFFMANN in Tabellen angeführt.

Um HOFFMANNs Darlegungen zu folgen: Dem Alter nach nannte er (1830, II, S. 438 ff.) als älteste die von HAUSMANN in Göttingen so bezeichnete "**Thüringische Flözformation**", gegliedert in das "Rothliegende oder die alte Flözsandsteinformation", "das Kupferschiefergebirge", "der bunte Sandstein", "der Muschelkalkstein", "das bunte Mergelgebirge, oder die Keuperformation". Aus den Eigenschaften der Gesteine sucht er deren Entstehung abzuleiten, und vom "Rothen todten Liegenden", aufgelagert unmittelbar auf dem Schiefergebirge der Übergangsformation heißt es: "Im Wesentlichen aus den Bruchstücken älterer Gebirgsarten zusammengesetzt, welche durch eine fast beständig hoch eisenrothe Schieferlettenmasse verkittet werden, unterscheidet sich dieser Sandstein vor allen andern des Flözgebirges insbesondere immer durch seine fast durchgängig rein conglomeratistische Natur, durch das fast immer auffallend sehr grobe Korn seiner Bestandtheile, welche unregelmäßig durch einander geworfen, das Erzeugnis eines stürmischen Meeres waren." Die Rotliegend-Bildungen wurden von späteren Geologen zwar als Festlandsprodukte gesehen, schon ihrer fossilen Pflanzen wegen. Aber HOFFMANN deutete wie später auch richtig: "Im ganzen Gebiete der jüngeren Formationen ist uns vielleicht kein Bild einer so vollkommenen und ausgedehnten Zerstörung älterer Gebirgsmassen aufgehoben" wie im Rotliegenden, und die im Rotliegenden gefundenen Conglomeratstücke sind solche, die als dem älteren, abgetragenen Gebirge entstammend zu erkennen sind. HEIM hatte bemerkt (F. HOFFMANN 1830), daß er kein Geschiebe im Rotliegenden gefunden habe, das weiter als 3 Stunden von seinem ursprünglichen Ort, dem noch anstehenden alten Gebirgsrest, entfernt liegt. Für die Rotliegend-Gerölle war also die Herkunft eines Sedimentes von ihrem Ursprungsort erfaßt. Die rote Farbe, die sich vom Schwarz und Grau der durch Kohle bestimmten Färbung des Schiefergebirges abhebt, zeigt ihm "zugleich auffallend, daß wir mit diesen Gesteinen in das Gebiet einer neuen Bildungsperiode übertreten." Porphyre waren in das Rotliegende einzuordnen, deshalb nicht Glieder eines alten Urgebirges. Die Keuper-Formation, um gleich diese zu betrachten, wurde erst kurz vor

1830 aufgestellt und benannt, nachdem, wie HOFFMANN hervorhebt, ihre Bildungen bis in jüngste Zeit mit Ablagerungen der "bunten Sandsteinbildung" und anderen Bildungen verwechselt, und nur die Auflagerung des "Keuper" auf dem Muschelkalk läßt den Keuper als eigene "Formation" erkennen. Die Kohle in ihm wurde von VOIGT einmal als "neue Kohlenformation" unterschieden.

Auf die Thüringer Flözformation lagern sich, wenn auch nicht großräumig in Thüringen selbst, die Gesteine der "**Juraformation**", in Mitteleuropa wie anderswo in Europa. 'Jura' genannt, weil ihre Bildungen "völlig mit den Gesteinen übereinstimmen, welche in grösserer Entwicklung die mächtige Masse des schweizerischen und süddeutschen Jura zusammensetzen ..." (S. 445). Die "untere Abtheilung der Juraformation" sieht er als Entsprechung "der Gruppe des englischen Lias oder des süddeutschen Gryphitenkalksteines", wobei er weiter untergliedert, unten etwa eine ausgezeichnete Sandsteinbildung, die vom Quadersandstein unterschieden werden muß. Die "obere Abtheilung der norddeutschen Juraformation" 'parallelisiert' er mit den "Schichtender Oolithreihe von England, so wie mit der großen Kalksteinmasse des Jura ..." (S. 451).

Als "letzte und jüngste unter den Gruppen des norddeutschen Flözgebirges" erscheint jene, "welche wir nach ihrem Bildungsalter, so wie nach der Beschaffenheit der in ihr herrschenden, organischen Reste vielleicht am passendsten die **Kreideformation** nennen."

HOFFMANN hatte die Dinge, die für die Aufstellung erdweit verbindlicher Erdzeitalter zu beachten waren, durchaus weitgehend beachtet. Er ist durchaus ein Pionier der Aufstellung der bald als gützig gesehenen Formationstabelle und vieler Untergliederungen der Formationen. OPPEL und andere werden das fortführen und erweitern.

Die Grenzen der Gesteinsgeologie

Es wurde durch die Untersuchung der Sedimentfolgen deutlich, daß dieselben oder sehr ähnliche Gesteine in sehr verschiedenen Epochen der Erdgeschichte gebildet werden konnten. Sandstein ist nicht nur als Produkt einer einzigen Periode. Gewiß sind die roten Ablagerungen des Totliegenden / Rotliegenden nach J. L. HEIM (1806) meistens grobkörniger als der eher feinkörnigere bunte Sandstein, aber schon dieser Unterschied war nicht immer deutlich. Richtig auch im Lichte späteren Wissens war: Gewiß häufen sich die Vorkommen bestimmter Gesteine, bestimmter Sedimente, in bestimmten Perioden und fehlen in anderen, wie die namentlich auf bestimmte Zeiten gebundenen großen Kohlelager selbst in verschiedenen Teilen der Erde bezeugen oder die, in anderen Perioden entstanden, die

meisten Salzlager und selbst dunkle Gesteine und auch Kalkablagerungen erscheinen in bestimmten Perioden gehäuft (F. LOTZE 1938). Das hing unter anderem mit Orogenesen zusammen. Aber Häufung eines bestimmten Gesteins in bestimmten Perioden, meistens in mehreren, bot dennoch nicht die Grundlage für eine annehmbare Chronologie. Kohlen gab es vor allem in der Steinkohlenzeit (Carbon) und im Tertiär, aber eben nicht nur, sondern etwa auch im Keuper. Seit der Herausbildung von Landpflanzen gab es irgendwo auf der Erde immer einmal Kohlebildungen.

Trennung erdgeschichtlicher Perioden nach der Stellung von Sedimenten (Flözgebirgen) in der Sedimentabfolge, nach den 'Lagerungsverhältnissen'

Daß **Sandstein oder Kalkstein** in verschiedenen Perioden abgelagert wurden, konnte aus den **unterschiedlichen unter oder über ihnen liegenden Schichten** ermittelt werden. Voraussetzung für die Feststellung dieses Sachverhaltes war, größere aufgeschlossene Schichtkomplexe, also Orte, Aufschlüsse, wo ein größerer Teil der erdgeschichtlichen Schichtfolge zu sehen war. Solche idealen Aufschlüsse durch längere Zeiten der Erdgeschichte wie etwa im Durchbruchstal des Colorado-Flusses gibt es aber nicht häufig.

Mit zunehmender Kenntnis von Aufschlüssen wurde die Verschiedenartigkeit gleichartig aussehender Sedimente immerhin deutlich. Bei J. L. HEIM (1806, S. 8) wurden die verschieden alten "Lager" von Kalkstein unterschieden. Je nach der Stellung in der Schichtenfolge hatten sie andersartige "liegende" und "hängende" Schichten. Das oft aus rötlichen Konglomeraten oder grobem rötlichem Sandstein bestehende "Totliegende"/Rotliegende **unter** dem "älteren Kalkstein", dem **Zechstein**, war von dem "bunten feinkörnigten Sandstein" **über** dem Zechstein und unter dem "neueren Kalkstein", dem Muschelkalk, unterscheiden. KARL von RAUMER (1819) fand in Nieder-Schlesien die Quader- und Pläner-Sandsteine, welche später der Kreideformation zugerechnet wurden, teilweise auf Rotliegendem aufliegen. Das Rotliegende besteht auch aus Sandsteinen besteht, wenn auch meistens mit gröberer Korngröße und mit stärkerer roter Farbe als Sandsteine der Kreide. Lagen die Sandsteine der Kreideformation auf denen des Rotliegenden, konnte man sogar an eine durchgehende einheitliche Ablagerung denken. Es fanden sich jedoch Aufschlüsse in Sachsen, in denen die Ablagerungen des Rotliegenden und des Quader- und Pläner-Sandsteins durch ganz andere Lagen von Sedimenten getrennt waren. Dann war also deutlich, daß Sandsteine in unterschiedlichen Perioden der Erdgeschichte entstanden. In Großbritannien wurde gar ein weit verbreiteter roter Sandstein unter den Steinkohlenschichten nachgewiesen, der iesser 'Old

Red Sandstone', von dem kein zeitliches Äquivalent in Mitteleuropa fand.

Trennung erdgeschichtliche Perioden durch Diskordanzen

Diskordanzen erkannte vor allem ELIE DE BEAUMONT als Zeugnisse von Orogenesen. So sind eben in Mitteleuropa alle Schichten bis einschließlich dem unteren Carbon stark gestört, vor allem gefaltet, Zeugnisse eines allerdings total abgetragenen Gebirges. Auf dem gefalteten Unterbau liegen mehr oder weniger oder nur noch schwächer geneigte und im Verband gebliebene Schichten. Das ist die entscheidende Gliederung der Sedimente in Mitteleuropa, an manchen Aufschlüssen in Ost-Thüringen auch an der Oberfläche sichtbar. ELIE DE BEAUMONT wollte durch Dislokationen Perioden abgrenzen, dabei aber von der Voraussetzung ausgehend (R. I. MURCHISON 1847), daß es mehrfach gleichzeitig in größeren Teile der Erde Gebirgsbildungen gab. Diese Voraussetzung ließ sich nicht bestätigen, jedenfalls wenn man die Gliederung von Perioden nach der Fossilabfolge traf. Diskordanzen gab es nicht ersweit. Eine neue Großgliederung der Erdgeschichte auf tektonischer Grundlage unternahm im 20. Jh. HANS STILLE, ohne selbstverständlich die Bedeutung der Fossilien in Frage zu stellen.

Die meisten Aufschlüsse von Sedimenten bieten nur einen kleinen Ausschnitt aus der Ablagerungsfolge. Die darunter liegenden oder darüber anzunehmenden liegenden Gesteine sind nicht aufgeschlossen. Es mußte also ein dringender Wunsch sein, daß es so etwas wie eine "**Zeitmarke**" gibt, die angibt, welcher Periode der Erdgeschichte etwa ein Sandstein oder ein Kalkstein angehört. Das fand sich in den **Fossilien**.

Die Fossil-Geologie - der große Fortschritt der Stratigraphie und damit der Erschließung des Ablaufs der Erdgeschichte

Der wohl mit größte Schritt in der Erdgeschichtsforschung war der Schritt **von der reinen Gesteins-Geologie zur Fossil-Geologie**, von der **Lithostratigraphie zur Fossilstratigraphie** resp. der petrographisch gegliederten Stratigraphie zur paläontologisch gegliederten Stratigraphie. Nicht die Gesteinstypen, nicht also Granit, Kalk, Sandstein, Basalt und andere, die offensichtlich zu einem großen Teil wenigstens in den verschiedensten Perioden entstehen konnten, sondern die Lebewesen in ihrer irreversiblen Abfolge wurden als die **Zeitmarken der Erdgeschichte** erkannt, als Objekte, welche nur zu einer bestimmten Zeit lebten. Das traf zu auf Arten, aber auch für Gattungen und ganze Familien, bei Betrachtung größerer Zeiträume auch Ordnungen, Klassen, ja Stämme. Die höheren taxonomischen Kategorien existierten natürlich im allgemeinen länger als Arten.

Entdeckung der Zeitgebundenheit der Fossilien

Gefunden, entdeckt, wurde die **Schichtgebundenheit** von Fossilien von verschiedenen Forschern. Zuerst wurde das nur annäherungsweise erkannt und ausgesprochen. Man näherte sich regelrecht der Erkenntnis in verschiedenen Schritten, bis es auf den Begriff gebracht wurde. Im späten 17. Jh. hatte der Engländer M. LISTER, der in den Fossilien sah, auch die Horizontbeständigkeit mancher Fossilien ausgemacht, sah in ihnen andererseits nur Naturspiele. Die Zeitgebundenheit der an Lebewesen erinnernden Reste war also nicht an die Anerkennung ihres Wesens gebunden. WOODWARD erkannte ebenso die Fossilien als schichtgebunden, aber Schichten wie die in ihnen enthaltenen Fossilien sollten in der Sintflut ihre Ordnung gefunden haben, abgesetzt nach der Schwere (H. HÖLDER 1989, S. 214) wie die Schichten in Thüringen bei LEHMANN. Immerhin war das, was in der Sintflut umgekommen sein sollte, kein bloßes Naturspiel, sondern Überbleibsel eines einst lebenden Lebewesens. GOETHE schrieb am 27. Oktober 1782 an den befreundeten Weimarer Schriftsteller JOHANN HEINRICH MERCK (aus u. a.: H. HÖLDER 1985, S. 8, W. von SEIDLITZ 1932, S. 667): "Es wird nun bald die Zeit kommen, wo man Versteinerungen nicht mehr durcheinander werfen, sondern verhältnismäßig zu den Epochen der Welt rangieren wird." Im gleichen Jahre fand Abbé SOULAVIE in Südfrankreich, daß beim Hinabgehen in tiefere und damit ältere Schichten die Fossilien dorthin immer fremdartiger werden.

Namentlich durch WILLIAM SMITH (S. WINCHESTER 2001). Geboren wurde SMITH am 23. März 1789 als erster Sohn eines Dorfschmiedes im Dorfe Churchill in Oxfordshire geboren (S. 28). SMITH arbeitete später, wo ein großes Kohlefeld war bei High Littleton in Somerset im Südwesten Englands, in einer Kohlen-Zeche, bei Vermessungsarbeiten und dann beim Bau eines Kanals. In einer Zeche sah er einen raschen Wechsel der Gesteine von Kalksteinen zu stark verfestigten graubraunen Gesteinen und eine Neigung hatten die Gesteine auch (S. 77). Die beim Anlegen von Kanälen durchschnittenen Schichten, so im Jura bei der westenglischen Stadt Bath, ließen immer wieder dieselbe Schichtenabfolge erkennen. In den einzelnen Schichten aber wurden immer wieder dieselben fossilen Arten besonders an **Ammoniten** und Mollusken gefunden (**1794, 1799**), auch über engere Lokalitäten hinaus. SMITH schrieb auf einen Notizzettel am 5. Januar 1796 von der 'wunderbaren Ordnung und Regelmäßigkeit ... "mit der die Natur diese sonderbaren Erzeugnisse" - die Fossilien - "verteilt und jeder Klasse" - wohl gemeint Arten - "ihre besonders Schichte zugewiesen hat" (so . S. WINCHESTER 2001, S. 125). Gleichartige Fossilien-Arten schienen in allen fossilführenden gleichalten Schichten aufzutreten. SMITH achtete dabei namentlich auf die spezifischen Arten in den einzelnen Schichten, noch nicht auf die ganze Zeitalter charakterisierenden größeren Gruppen. Die Ammoniten aber hatten in der Erdgeschichte so

zahlreiche Arten herausgebildet, daß in der Schichtfolge immer wieder neue, etwas andere Arten erschienen und sie, was blieb, in der Schichtengliederung von besonderem Wert waren. Die Gliederung der Schichten geschah bei SMITH für Teile des Mesozoikum, etwa ab dem 'Oolith', also Teilen von WERNERs jüngstem 'Gebirge' (C. SCHWEIZER 2008). Ein Ergebnis von SMITH' Erkundungen waren der großmaßstäbliche 'Geologische Atlas von England und Wales', besser 'Eine Beschreibung der Schichten von England und Wales mit Teilen Schottlands' (S. WINCHESTER 2001, S. 25), gefördert von BANKS, mit Erscheinungsdatum 1. August 1815 (S. 217). Auch das Unterirdische, oben bedeckte, war einbezogen worden. 20 Jahre lang hatte SMITH kostspielige Reisen, viele 1000 km im Jahr in Großbritannien durchgeführt, auf eigene Kosten (S. 257). Weil SMITH eine nicht bezahlbare Schuldbürgschaft übernommen hatte, war er inhaftiert worden. Dem Neffe J. PHILIPPS wurde vom Wohnungsvermieter gekündigt (S. 254/255). An **Fossilien** verkaufte SMITH später an das British Museum **2657 Stück in 693 Arten**, (S. WINCHESTER 2001, S. 244), was zeigt, auf welcher Fossilbasis SMITH aufbaute. 1821 vollendete SMITH eine detaillierte geologische Karte von Yorkshire (S. 267). SMITH starb erkältet auf einer Unterbrechung seiner Reise zur Jahrestagung der British Association in Birmingham bei einem Freund in Northampton am Abend des 28. August 1839 (S. 291/292). Andere dehnten schon zu SMITH' Lebenszeit die Schichterkennung durch spezifische Fossilien nach oben und nach unten aus. Die von SMITH entwickelte **Leitfossil-'Methode'** wurde die bedeutendste Methode der Stratigraphie, um die Schichtenfolgen zu gliedern und weithin zu vergleichen, ja schließlich möglichst erdweit zu parallelisieren. SMITH wurde deshalb als der 'Father' der englischen Geologie, ja der Geologie überhaupt, bezeichnet. Der Begriff 'Leitfossil' wird zurückgeführt auf VON BUCH.

Etwa zu der Zeit, als SMITH seine bedeutsamen Erkenntnisse gewann, fand CUVIER in den Tertiärschichten des Pariser Becken die Bindung von **Säugetierfossilien** an bestimmte Schichten und BRONGNIART konnte Schichtgebundenheit für Pflanzenfossilien nachweisen.

In Deutschland kam ERNST FRIEDRICH VON SCHLOTHEIM zur Anerkennung der Schichtgebundenheit fossiler Formen. Der Kameralist VON SCHLOTHEIM hatte bei BLUMENBACH in Göttingen gehört, später auch bei WERNER und stieg im gothaischen Staatsdienst hoch empor, 1828 als Oberhofmarschall des Herzogtums Sachsen-Coburg und Gotha (Wikipedia 2018, G. ZIRNSTEIN 2007). VON SCHLOTHEIM zog seine Schlüsse, etwa 1813 (S. 4), vorsichtig, war sich des geringen Umfangs der "geognostischen Kenntnisse, insbesondere über das Vorkommen der Versteinerungen in den verschiedenen Erdstrichen" bewußt. Und so schrieb er (S.5): "Offenbar kann uns das Vorkommen der Versteinerungen die wichtigsten Aufschlüsse zur nähern Bestimmung des relativen Alters mehrerer Ge-

birgsarten, und der gleichzeitigen und ungleichzeitigen Bildung derselben und ihrer untergeordneten Schichten verschaffen” und Einblick in die Erdrevolutionen geben, ”vielleicht sogar die Epoche einzelner solcher Revolutionen bestimmen helfen, ...”

SCHLOTHEIM hat sich zur Schichtgebundenheit der Fossil-Arten geäußert, über eventuelle Umbildung der Arten, in fast aktualistischer Weise über Ähnlichkeiten von Gegenwart und Vergangenheit - aber immer mit Vorsicht. So sehr seine Vorsicht beim damaligen Erkenntnisstand richtig war, er hat sich damit um den Ruhm gebracht, die jene bekamen, die viel kühner auftraten: LAMARCK mit der Transformation der Arten, oder SCHLOTHEIMs Gothaer Landsmann VON HOFF mit dem Aktualismus. Kühnheit siegt auch in der Wissenschaft, wenn wenigstens zunächst die Bedenken gegen eine neue Hypothese oder Theorie weggewischt werden.

Warum gibt es Leitfossilien? Wie entstanden sie, wie verschwanden sie?

Warum es an bestimmte Straten gebundene Fossilformen gibt, wurde unterschiedlich gesehen (C. SCHWEIZER 2008). Man mochte an **Neuschöpfungen** denken, aber auch an **Klimaunterschiede** bei der Bildung der verschiedenen Straten, etwa bei Kohle, und so jeweils **bestimmte Arten in den Vordergrund rücken** lassen. Der Botaniker LINDLEY untersuchte die Erhaltungsfähigkeit von Arten verschiedener Pflanzengruppen und fand, daß Farne, Coniferen, Cycadeen **robuster sind und mehr fossilisiert** werden könnten und deshalb in etlichen Straten im Vordergrund, als leitende Fossilien, stehen (S. 266). Das wurde bald widerlegt. Die dann wohl allgemein anerkannte Lösung brachte DARWINs **Evolutionstheorie**. Mit einer **Deszendenztheorie** hatte die schon lange vor DARWIN erfolgte Anerkennung von Leitfossilien **zunächst wenig** zu tun. Die Entstehung der Leitfossilien stand dem Erdgeschichtsforscher wenigstens zunächst ferner. Er sah damit auch nicht oder nur unzureichend die ihn vielleicht störende Instabilität von Formen, über die sich zu grämen seiner Haltung eher widersprach. Andererseits gibt es eben auch kein allgemeines Durcheinander der Formen: ”Es ist ein Vorzug der Zoologie, daß Lücken vorhanden sind, im Gegensatz z. B. zur Petrographie, wo wir die meisten Zwischentypen kennen ...” (W. VON SEIDLITZ 1920, S. 36). Dabei waren Fossilien durchaus auch die Zeugnisse für **Umwelt einst** und für **Klimawandel**.

Die Anerkennung der Zeitgebundenheit von fossilen Formen schloß ein, daß immer **einmal neue Formen aufkamen** und andere **verschwanden**, ausstarben. Viele

fossilen Formen konnten **nicht bei gegenwärtig lebenden eingeordnet** werden. Die völlig gleichen Formen kamen niemals wieder. Nur zeitgleiche Sedimente ließen also gleichartige Fossilien erwarten, möglicherweise (A. SEDGWICK 1847) sogar bei Unterschieden in der Gesteinsausbildung. Gleichartige Sedimente unterschiedlicher Zeitstellung mußten durch andersartige Fossilien ausgezeichnet sind. Die Verwendung von **'Leitfossilien'** bildete den entscheidenden Schritt, die aufeinanderfolgende Perioden in der Erdgeschichte aufzustellen. Mit der Anerkennung der Zeitgebundenheit vieler Fossilien, also mit der Anerkennung der **'Leitfossilien'**, wurden **viele Grundfragen der Erdgeschichtsforschung paläontologisch entschieden**, wurde das Auftreten bestimmter Fossilien zum Entscheidungskriterium erdgeschichtlicher Fragen. Das geschah bei der Abtrennung von Formationen aber auch bei der Anerkennung von Überschiebungen, wo also ältere Sedimentkomplexe über jüngere geschoben worden waren und diese Umkehr der Lagerung aus der hierbei veränderten Fossilabfolge erschlossen wurde. In Sachsen vermeinte man an etlichen Stellen das unterste Paläozoikum, also **'Kambrium'** zu haben, aber ohne Fossilien blieb das eben offen (K- PIETZSCH 1917, S. 185). Manche regionale **stratigraphische Lücke** war nur durch eine Lücke bei der anderenorts vollständigeren Fossilabfolge **festzustellen**. Gerade bei fossillosen sedimentären Gesteinen mußte immer wieder einmal eine eher hypothetische Auffassung korrigiert werden. **Historische Geologie** resp. Stratigraphie **und Paläontologie** gingen nun **Hand in Hand**. Aber die **Fülle der** zu kennenden **Fossilien**, ihre bei verwandten Arten oft nur mühsame Feststellung der Unterschiede, veranlaßten die Paläontologie sich immer mehr als eigenständiges Fach abtrennen. Fossilien zu erfassen, abzubilden, sie beschreiben, sie eindeutig zu diagnostizieren, auch in Gedächtnis zu behalten, das ließ die sich mit den fossilen Tieren sich befassende **Paläozoologie** und bei der fossilen Pflanzen die **Paläobotanik** der rezenten Zoologie und rezenten Botanik an die Seite treten. Eine gewisse Kenntnis heutiger Formen war für die Entschlüsselung fossiler Formen natürlich auch unumgänglich. Die biologische Seite der Fossilien, ihre Lebensweise, wurde dabei vielfach nicht einmal sehr beachtet und oft stand die stratigraphische Einordnung im Mittelpunkt.

Viele Gesteine, die plutonischen sowieso, enthalten keine Fossilien. Aus ihrer Lagerung, bei Eruptivgesteinen etwa dem Eindringen in Sedimente, mußte auf ihre Stellung in der aus den Fossilien ermittelten stratigraphischen Folge geschlossen werden. Aber auch Sedimente sind nun nicht überall voll von Fossilien. Im Sandstein des Elbsandsteingebirges kann man in vielen Lagen lange nach Fossilien suchen und zur Gliederung vieler Sedimentfolgen mußte auf Gesteinskriterien zurückgegriffen werden. Für die **geologischen Karten** (O. WAGENBRETH 1967 c) mußte wie bei WERNER das anstehende Gestein eingezeichnet und markiert werden und wenn möglich dann die stratigraphische Einordnung nach den Leitfos-

silien geschehen.

Wie aussagekräftig ist der 'fossil record', die Fossilabfolge? - Wie sehr waren Leitfossilien ohne Wiederkehr?

Manche sahen die Schichtgebundenheit von Fossilien als Täuschung, als Schein, nur als Ergebnis der riesigen **Lückenhaftigkeit** der Fossilüberlieferung, die eben wegen zufälliger Erhaltungsbedingungen viele Fossilien nur in ganz bestimmten begrenzten Schichten bewahrte. So meinte auch der bald führende britische Geologe CHARLES LYELL, daß die Fossilabfolge von einfachen zu der Gegenwart nahen Formen wegen der Lückenhaftigkeit der Überlieferung vorgetäuscht wäre, was den Wert der Leitfossilmethode recht begrenzt sehen ließ. Die meisten Geologen sahen jedoch zunehmend in der Schichtgebundenheit eine reale Widerspiegelung des Vorkommens der Arten und Gruppen in der Erdgeschichte. Lücken waren dann Ausdruck von stattgefundener Vernichtung. Gleichartige Fossilabfolge über längere Zeiträume in verschiedenen Regionen schränkte Täuschung ein.

Der kritische LYELL selbst bewies den Nutzen der Leitfossilmethode bei Kalkgesteinen in der Limagne in Frankreich, hier, wo er im Mai 1828 mit MURCHISON reiste (L. G. WILSON 1980). Diese **Kalksteine** sahen den **englischen Oolithen** ganz **ähnlich**. Die englischen Oolithe enthielten jedoch Seetiere, wie sie im Erdmittelalter auftraten. Die weißen Kalksteine der Limagne dagegen enthielten ganz andere Lebewesen, so vor allem Larven der auch gegenwärtig auftretenden Köcherfliegen, Phryganea, die zu den Netzflüglern gehören. Sie waren deshalb trotz des fast gleichen Aussehens mit den englischen Oolithen von einem ganz anderen Alter, dem der Tertiärgesteine im Pariser Becken. Der Kalk der Limagne konnte auf Grund des Vorhandenseins von Resten von Süßwassertieren zudem nur in einem Süßgewässer abgelagert worden sein und die Fossilreste zeigten sein anderes Alter als jenes der englischen Oolithe.

Fossilien-Fragen besonders in der zweiten Hälfte des 18. Jh., mit dem Problem des Aussterbens von Taxa in der erdgeschichtlichen Vergangenheit - frühe Vorstellungen und Gegenargumente

Es ist interessant zu verfolgen, wie man sich schrittweise **weiteren Einsichten** über die fossilen Lebewesen nähert, **immer mehr Formen bekannt** werden und

sie auch zu **Deutungen über frühere Zustände auf der Erde**, etwa mehr 'Meer'. genutzt werden.

Wenn fossile Taxa zeitgebunden sind, damit also als Leitfossilien dienen konnten, dann mußten immer wieder Taxa verschwunden, womöglich **ausgestorben** sein. Die **Anerkennung von Leitfossilien** für bestimmte Schichten **schloß die Anerkennung des Aussterbens ein**. Denn ansonsten hätten höchstens Neubildungen neben allen überlebenden alten Formen als Zeitmarken dienen können.

Die Einsicht in das Aussterben von Formen war eine wesentliche Einsicht in die Entwicklung des Lebens auf der Erde. Sie bedeutete aber auch einen Bruch mit dem bisherigen Weltbild. Aussterben widersprach schon der von PLATO(N) ange deuteten Idee, daß jedes Ding, perfekt ist oder das Ding gar nicht existieren kann. Das Aussterben vertrug sich auch nicht so recht mit der Idee der Schöpfung, zu der das spätere Verschwinden mancher ihrer Geschöpfe nicht recht passen sollte. Gott ließ also nicht alle seine geschaffenen Formen für immer bestehen und löste sie sogar mitten im Geschichtsprozeß ab. Auch der Tod, auch ganzer Formen, schien vor dem Sündenfall der ersten Menschen, in die Welt der Lebewesen gekommen zu sein und war dann nicht Folge des Sündenfalls (D. R. DEAN 1981, S. 118).

Im 18. Jahrhundert war allgemein **geglaubt** worden, daß **alle fossilen Formen** irgendwo auf der heutigen Erde und womöglich in unzugänglichen Ozeantiefen noch **lebende, ihnen gleichende Nachfahren** besitzen und diese eines Tages aufgefunden werden. Dann war das Aussterben also nur vorgetäuscht und war nur Einschränkung einstiger weiter Verbreitung. LEIBNIZ hatte darauf hingewiesen, daß manche in Deutschland gefundenen Pflanzenabdrücke indischen Pflanzenarten gleichen (aus: E. F. v. SCHLOTHEIM 1804). SCHRÖTER meinte 1778 (S. 71): "und wenn wir auch gerade nicht alle Originale der Versteinerungen entdecken sollten, so wollen wir nicht gleich sagen, daß vielleicht Thier- und Pflanzengeschlechter ausgegangen sind". Mit "Originale" waren gemeint die anzunehmenden heute noch irgendwo lebenden gleichartigen Nachfahren. Nahe der Auffassung vom Aussterben kam REAUMUR um 1720 (in 1751, S. 240), wenn er darauf verwies, daß man "Copien von Muscheln entdeckt, von denen uns die Meere noch keine Originale geliefert. Das einzige Geschlechte der Ammonshörner hat mehr als vierzig bis fünfzig Arten", von denen alle nur fossil bekannt sind. Diese Auffassung vom **Weiterleben der bisher nur fossil bekannten Formen** irgendwo auf der Erde erhielt neuen Auftrieb als GUETTARD 1755 einen aufgefundenen lebenden 'Pentacriniten' beschrieb und damit die bisher "räthselhaften Encrinitenstiele in ein klares Licht stellte" (F. A. QUENSTEDT 1852, S. 6). Diese "Encrinitenstiele" sind die Stengelglieder der zu den Stachelhäutern gehörenden Seelilien. Fossil oft gefunden, waren solche runden Stengelglieder als "Bonifatius-Pfennige" bezeichnet worden.

Ein nicht bei lokalen Fossil-Fragen stehenbleibender französischer Forscher war ANTOINE DE JUSSIEU, 1686 geborener Sohn eines Apothekers in Lyon und zudem ein bald führender Botaniker, am Beginn einer Botanikerdynastie, den JUSSIEUs. A. DE JUSSIEU (1722/1751) kennt die Schale des Nautilus und die Ähnlichkeit mit den **Ammonshörnern**, die eben nicht Naturspiele sind und, worauf auch REAUMUR (s. o.) hinwies, daß die Ammonshörner viele Arten haben mit "sehr großen Unterschied", in so vielen Orten in Europa, "seyn so viele Gattungen von indischen Nautilen, welche in unsern Gegenden versteinert worden" (S. 571), "mit der Schneckenlinie ... mit mehr oder weniger" Umgängen und "selbst die Gelenke auf der Oberfläche dieser Steine sind sehr unterschieden" (in der Vorbemerkung 'Historie' S. 565). Schon ARISTOTELES und PLINIUS beschrieben sie, die später anderswo einzuordnende Art, "PLINIUS: "der *Nautilus papyraceus* .., den PLINIUS am meisten kennen" (S. 572). Es wäre merkwürdig, daß "bey der großen Menge Gattungen von Nautilen nur eine, *Nautilus papyraceus*, in unsern Meeren, und noch dazu sehr selten ... ist" (S. 576/577). Man könnte von den bisher gefundenen, "bemerkten" Steinen der Ammonshörner schon "über hundert Arten oder Gattungen machen" (S. 576). Es ist "wahrscheinlich", das Meer, "der See", "habe unsere Erde einst bedeckt, und jene Stücke zurückgelassen" (S. 577). Von Sintflut ist hier bei dem 1758 gestorbenen A. DE JUSSIEU keine Rede. Die **Ammoniten** erscheinen in ihrer Bedeutung als Fossilien, und auch (S. 577) in ihrer Nutzung zur Feststellung einstiger Zustände auf der Erde, der Meersausdehnung, wenn auch auf weitere rezente Beobachtungen gesetzt wird.

Gedanken zu den Knochen von **Großsäugern**, namentlich den **Elefanten**, ihren **Stoßzähnen**, aber auch zum **Irishen Riesenhirsch** (S. 5), äußerte der 1660 in Killyleagh auf Irland geborene 'Ritter' HANS SLOANE (1727/1752), nach einer Jamaika-Reise Nachfolger NEWTONs als Präsident der Royal Society und als Sammler derjenige, der, gestorben 1753, den Grundstock für das British Museum in London legte,. Gefunden worden waren Elefantenknochen "in England, Flandern, Deutschland, , ja in Irland und Siberien" ('Historie', S. 2), nach Graf MRSIGLI auch in "Hungarn und Siebenbürgen" (SLOANE S. 29), und viele Zeitgenossen erwähnen sie. Bisherige Erklärungen für das Vorkommen von Stoßzähnen außerhalb der heutigen Areale der Elefanten waren die 'Römer' oder die 'Sintflut' (Vorbemerkung 'Historie', S. 3) oder gar ALEXANDER DER GROSSE (S. 16). SLOANE (S. 7) nennt als "das merkwürdige Elephantengerippe ... das von Tonna in Thüringen", beschrieben von "dem berühmten Tenzel ..." Bekannt ist, daß man in Rußland mit den "Zähnen", Stoßzähnen, "großen Handel" treibt, und diese "Zähne" auf ein "Mammotoroikost" genanntes Tier zurückgeführt werden, "das unter der Erde lebe" (S. 10), nach Ansicht der "Jakuten, Tunguten und Ostjaken ... der großen Kälte wegen" (S. 11). Vom Mammut ist also hier noch kaum etwas bekannt! Die Russen sahen in ihnen echte Elefanten; obgleich" - und das weiß

SLOANE - die Stoßzähne "... etwas gekrümmeter und in dem Kinnbacken enger neben einander standen, ... Nach Ansicht der Russen sollten diese Elephanten davon zeugen, daß "vor der Sündfluth ... ihre Länder sehr heiß waren ..." (S. 12). Ohne die 'Sintflut' wird offensichtlich die Erklärung der Stoßzahnvorkommen schwieriger als bisher mit ihr und "bleibt ... eine große Frage übrig: Wie haben die Elephanten ihre Knochen in Ländern hinterlassen können, wo es nicht wahrscheinlich ist, daß jemals lebende Elephanten gewesen" ('Historie', S. 4).

A. DE JUSSIEU stellte auch von ihm untersuchte Steinkohlenpflanzen aus Süd-Frankreich noch zu rezenten tropischen Farnen und Palmen. Eine Meeresüberflutung sollte diese tropischen Gewächse in nördlichere Territorien getragen haben (O. H. SCHINDEWOLF 1948).

In Deutschland hat etwa 1790 der Göttinger Naturforscher JOHANN FRIEDRICH BLUMENBACH gemeint, daß es von der Erde verschwundene Formen, "untergegangene Geschlechter" (S. 1) gibt. Das beweise jeder Göttinger Pflasterstein, auf denen oft also Fossilien zu sehen waren, und kein Ammonit wurde in der gegenwärtigen "Schöpfung" aufgefunden. Atheisten würden Entstehung und Aussterben allerdings besonders gern aufnehmen. **Um 1800** hat vor allem **CUVIER** das **völlige** Verschwinden, das **Aussterben** mancher fossilen Formen zur bald anerkannten Tatsachen erhoben. Wenn CUVIER 1796 fossile Elefanten als ausgestorben ansah, so hatten diese immerhin noch recht nahe lebende Verwandte. Aber man mußte auch erst einmal Elefanten unterscheiden lernen. Also von LINNÉs *Elephas maximus maximus* 1758 den *Loxodonta africanus* BLUMENBACH 1797 von den 3 bald unterschiedenen 3 asiatischen Unterarten, mit dem *indicus* CUVIER 1797. CUVIER sah im Mammut eine eigene Gattung, BLUMENBACH nannte es *Elephas primigenius* (W. HERRE et. al. 1990). 47 ausgestorbene Arten habe CUVIER angegeben. In England hat JAMES PARKINSON, als Mediziner der Beschreiber der 1876 nach ihm benannten Parkinsonschen Krankheit, der 1804 - 1811 in 'Organic Remains of a Former World' von den einstigen Lebewesen etliche für ausgestorben hielt, mit dem frontispiece von Noahs Arche, vor der einige Ammoniten und Trilobiten tot liegen und die Arche offensichtlich nicht mehr lebend erreicht hatten (D. KNIGHT 1986, S. 39). Ja, wer zu spät kommt ... Später dachte PARKINSON vernünftiger. Wiederum ein Prediger, im Braunschweigischen, JOHANN GEORG JUSTUS BALLENSTEDT, klärte die weitere Öffentlichkeit auf im Buch 'Die Urwelt oder Beweis von dem Daseyn und Untergange von mehr als einer Vorwelt', das 1819 in 3 Auflage erschien (im Internet 2017, s. a. Wikipedia 2017).

Problem war auch, **welcher Anteil** an den **zu einer bestimmten Zeit** auf der Erde vorhandenen Formen **verschwunden war** und wieviele gleichzeitige überlebten. Verschwanden nur wenige Formen und viele überlebten, dann wider-

sprach dies einer katastrophistischen Vernichtung aller oder auch nur von Teilen der Lebewesen einer Zeit. Es wurden nämlich auch noch heute vorhandene und offenbar verschwundene Arten jedenfalls anscheinend gemeinsam gefunden. SCHLOTHEIM, der zuerst namentlich fossile Pflanzenreste im Rotliegenden in Steinkohlenbergwerken Thüringens bei Manebach sammelte, sah 1804 (S. 13) in ihnen neben noch anderswo lebenden auch "untergegangene Arten einer frühern Schöpfung". Steinkohlen wären teilweise aus untergegangenen, teilweise aus lebenden Pflanzenarten hervorgegangen.

"Aussterben" konnte unterschiedlich gesehen werden. Es konnte bedeuten, daß etliche Formen nachkommenlos vernichtet wurden. LAMARCK dachte aber, daß **Formen sich im Laufe der Generationen in andere, in entwickeltere** Formen umbildeten. Es sollte dabei niemand nachkommenlos "untergehen". Schildkröten hatten sich nach seiner Ansicht in Vögel umgewandelt. LAMARCK, (so G. G. SIMPSON 1985), kannte Evolution ohne Aussterben (extinction), CUVIER sah Aussterben ohne Evolution, denn dem Aussterben folgte Neuschöpfung. Bei DARWIN gab es Evolution mit Aussterben.

In Deutschland dachte VON SCHLOTHEIM (1804, S. 66) an eine allmähliche Umbildung von Arten. Der immer wieder zu nennende ERNST FRIEDRICH Freiherr VON SCHLOTHEIM (B. VON FREYBERG 1975, v. GÜMBEL 1890) wurde geboren am 2. April 1765 (?) auf dem der Familie gehörenden Schloßgut in Almenhausen nahe der Kleinstadt Schlotheim in Nordwest-Thüringen. Er studierte zuerst in Göttingen die Rechte, und hörte, schon im Gothaischen Staatsdienst, noch an der Bergakademie in Freiberg naturwissenschaftliche und montanistische Fächer. SCHLOTHEIM stieg in der Verwaltung des gothaischen Staates auf, wurde 1817 Präsident des Kammercollegiums in Gotha. In seiner Freizeit aber befaßte er sich eingehend mit Fossilien und legte eine der reichsten Privatsammlungen an, mit zuletzt 1.741 Arten. Gestorben ist VON SCHLOTHEIM am 28. März 1832 in Gotha. Der preußische Staat kaufte die Sammlung 1832 für Berlin. Manche Arten wären gemäß VON SCHLOTHEIM "zum Theil nach so vielen Jahrtausenden so ausgeartet ... , dass es uns schwer fällt, mehrere der jetzt vorhandenen Geschöpfe für die Nachkommen jener fossilen Stammväter zu halten" (Unterstrichen im Original). Bei den Katastrophen, die SCHLOTHEIM 1820 (a, S. X) wenigstens bis zu gewissem Grade für möglich erkannte, sollten erhalten gebliebene Lebewesen, "Veränderungen ihres Wesens, ihrer Formen erleiden" die sie in den langen vielleicht tausendjährigen Zwischenräumen mehr oder weniger unkenntlich in Vergleichung mit ihren Stammvätern machten. Wenn also solche umgebildeten Formen keinerlei Nachkommen in der ursprünglichen Gestalt hinterließen, mußten also alle Individuen von der Umbildung, der "Ausartung", betroffen gewesen sein.

In der Anerkennung des Aussterbens von Formen, einer einst aus anderen Grup-

pen bestehenden Tierwelt, kann man schließlich auch CUVIER (nach W. VON SEIDLITZ 1920, S. 33/34) zitieren: "Der Mensch, der nur eine kurze Zeitspanne auf Erden lebt, kann sich des Ruhmes erfreuen, die Geschichte der Jahrtausende vor seinem Dasein wieder hergestellt zu haben und ebenso von Tausenden von Wesen, die vor seiner Zeit gelebt haben, die seiner Zeit vorangegangen sind und nicht seine Zeitgenossen waren."

Taxonomisch richtige Einordnung der Fossilien als Voraussetzung ihrer Nutzung und die Namensgebung

Eine wichtige **Voraussetzung der auf den Fossilien beruhenden Stratigraphie** war, daß die Fossilien **taxonomisch richtig eingeordnet** wurden. Von Richelsdorf bei Eisenach wurde ein Fußabdruck von Sauriern als 'Kinderhand' beschrieben, BLUMENBACH ordnete diese Lebensspur bei *Glires* /Hörnchen ein (J. L. HEIM 1806). Bei fossil gefundenen Formen, die lebenden ähnlich sind, oft besonders schwierig, ausreichende Unterschiede zur Einordnung in verschiedene Arten zu erkennen, damit auch das eventuelle Aussterben von Vorgängerarten auszumachen. VON SCHLOTHEIM wies noch 1804 darauf hin, wie schwierig es wäre, fossile Fische, oft nur unzureichend erhalten, mit lebenden zu vergleichen und auch die Unterschiede festzustellen. Bei Pflanzenresten war die Diagnose, die **Zuordnung**, oft besonders **schwierig** möglich und falsch. So teilt VON SCHLOTHEIM (1813, S. 12) mit, daß einer der Casuarina ähnlichen Baumart für Stengel eines Equisetum, Stämme von baumähnlichen Farnen für Rohrarten gehalten wurden. Getreidekörner sahen manche im Fruchtschiefer des Vogtlandes, schwarze körnige Mineralien auf der schieferfläche. GREENOUGH schrieb (1821) von "cactus" in den Kohlenbergwerken.

Mit der Einordnung in das System der Tiere und Pflanzen wurde auch die **Namensgebung** für die verschiedenen Fossilien akut, für jene, die keine überlebenden Vertreter hatten und so nicht wie ihre lebenden Nachkommen benannt werden konnten. Durch LAMARCK, BOSC, MONTFORT (VON SCHLOTHEIM 1813) wurde die LINNÉsche **binäre Nomenklatur** auch für **tierische Fossilien** angewandt. Für Formen, die ausgestorben sind, und das war für viele offensichtlich der Fall, und sie waren damit eigenständige Arten, mußten eigene Namen in Anlehnung an die LINNÉsche Nomenklatur gegeben werden. Zu beachten war, welchen in anderen Arten noch vorhandenen Gattungen sie einzuordnen sind. VON SCHLOTHEIM benannte mit der binären Nomenklatur nicht mehr vorhandene **Pflanzen**. In seinem Werk "Petrefaktenkunde" von 1820 hat VON SCHLOTHEIM konsequent die Spezies unter Verwendung der binären Nomenklatur benannt.

Aber es gab offensichtlich auch **ganze Gruppen, die nicht überlebten**, ja die nicht **einmal in eine große rezente Gruppe eingeordnet** werden konnten oder das nur angenähert hypothetisch möglich war. Das waren die **Graptolithen** aus dem Altpaläozoikum, waren die vom Quedlinburger Pastor J. CHR. MEINECKE (1774. so zit. bei H. HÖLDER 1985 b, S. 778) auf ausgestorbene Tiere zurückgeführten **Belemniten** und nur der Nautilus ähnelte so weit den zahlreichen **Ammoniten**, das diese bei den Cephalopoda einzuordnen waren. Unbekannte taxonomischer Stellung blieben die zu den marinen Mikrofossilien gehörenden, 1856 erstmals von PANDER beschriebenen **Conodonten** (Wikipedia 2018). Die paläozoischen **Trilobiten** mochten zu den Crustacea/Krebse gehören, auch ohne direkte Nachkommen. Auch bei den problematischen Gruppen wie den Graptolithen und Belemniten wurden Arten aufgestellt und bekamen diese Fachnamen gemäß der LINNÉsche Nomenklatur.

Rekonstruktion von unvollständigen Fossilresten zu einem Gesamtbild

Bei Fossilien wirbelloser Tiere, etwa bei Ammoniten, kann man im Falle der Lückenhaftigkeit oft nicht viel ergänzen. **Größere Tiere**, große Reptilien und Säugetiere, fanden sich oft nur **in Stücken des Skeletts**, ja in einzelnen Knochen, so von Gliedmaßen, von Schädelteilen bis zu solchen Einzelteilen wie Kiefer und auch diese noch unvollständig. Es war auch hier CUVIER, der Regeln, ja Gesetze der **Korrelation** fand, aus denen wahrscheinlich Zusammengehörendes und Sich-Ausschließendes zu trennen waren. Für Fleischfresser-Gebisse waren Beute erfassende Krallen wahrscheinlich, denn die Beute mußte irgendwie ergriffen werden.

Selbst aus **einzelnen fossilen Zähnen** wurden etwa zur Rekonstruktion des Stammbaumes des Primaten und der Vorfahren des Menschen wichtige Schlüsse gezogen.

Diskussionen zum erdweiten Vorkommen von Leitfossilien

Mit der Anerkennung der Leitfossilimethode kam es zu dem Bestreben, den **Fossilbestand in den einzelnen Schichten möglichst weltweit zu erschließen** und so die Zeitstellung, zeitlich parallel, oder nicht, für möglichst viele Schichten in aller Welt festzustellen und die Gleichheiten und Unterschiedlichkeiten in der erdgeschichtlichen Entwicklung in den verschiedenen Regionen der Erde zu

ermitteln. Ein großer Aufwand an Sammeln im Gelände an möglichst vielen Orten war erforderlich. Schritt für Schritt konnten die Fossilien und ihre Schichten-Bindung ermittelt werden - Arbeit und Brot für eine größere Zahl von Geologen und Paläontologen wie sinnvolle Freizeittätigkeit für Amateurforscher. Je häufiger eine Art oder andere Formengruppe war, desto besser war sie als Leitfossil geeignet. Und es wurden Fossilien aus anderen Kontinenten an die europäischen und vor allem britischen Geologen gesandt. Kohle wurde auch in **Australien** erschlossen und mit ihr Fossilien, die auch hier auf das die Formation des Carbon verwiesen. Gesammelt hat hier Fossilien schon ROBERT BROWN (C. SCHWEIZER 2008, S. 271). Pioniergeologe in Australien war dann WILLIAM BRAMWHITE CLARKE (S. 272). BUCKLAND hatte in seiner Sammlung fossile Pflanzen aus Australien, Indien und vom Lake Huron in Nordamerika. Aus der Sammlung von BUCKLAND stammte auch ein fossiler Farn, der augenscheinlich nur auf der Südhalbkugel vorkommt, der 1828 von ADOLPHE BRONGNIART beschriebene *Glossopteris browniana* (C. SCHWEIZER 2008, S. 272). Ein führender Vertreter der Fossilstratigraphie wurde dann auch der böhmische Graf VON STERNBERG, der außer auf Trilobiten auf **Pflanzenfossilien** setzte und der zu einem der bedeutenden Begründer der Paläobotanik wurde, und der hierzu eine umfangreich Korrespondenz führte (s. C. SCHWEIZER 2008, S. 264 ff.).

Immer wieder war zu fragen: Wie erdweit zeitgleich verbreitet sind die für die Stratigraphie nutzbaren Formen, also **wie erdweit die Stratigraphie** entwickelt werden konnte? OPPEL soll noch etwa 1856 gedacht haben, daß die Ammonitenzonen erdweit bestehen (J. W. GREGORY 1931, S. 860). Der Engländer GREENOUGH (V. A. EYLES 1972) hatte (1821) bezweifelt, daß, wie gegenwärtig ebenso früher jeder Teil der Erde zur gleichen Zeit mit denselben Tieren bevölkert war. In früheren Perioden waren heute etwa auf Süd-Amerika, Australien oder Ozeanien beschränkte Formen, so die Beuteltiere, einst auch in Europa vorhanden, Aber sie leben heute und das schon ziemlich lange, nicht mehr in Europa. Um einen interessanten Befund aus dem 20. Jh. vorwegzunehmen: In der Grube Messel bei Darmstadt, also aus dem Tertiär, wurde ein Ameisenbär gefunden, eine gegenwärtig nur in Südamerika beheimatete Tiergattung, heute also viel beschränkter als einst verbreitet. Zahlreiche Fossilien schienen offenbar bestimmte gleichalte Schichten **weithin auf der Erde** zu charakterisierten, so gleichartige gleichalte Formen in Rußland, in Skandinavien und England und dann noch in Nord-Amerika (R. I. MURCHISON 1849). Aber das mußte mit Vorsicht geschehen: Wenn die **Altersgleichheit von räumlich entfernten Sedimenten** auf Grund **nur von bestimmten Fossilien** behauptet wurde, bestand gewiß die Gefahr eines **Zirkelschlusses**. Aus der Gleichartigkeit des Fossilbestandes wurde auf gleiches Alter geschlossen, aber es war damit die Gleichaltrigkeit in den Sedimenten in den verschiedenen Regionen nicht unabhängig von den Fossilien auch bewiesen.

THOMAS HENRY HUXLEY benannte später Schichten, die gleiche fossile Arten aufweisen, als **homotax**, aber schloß dabei ebenfalls ein, daß **gleicher Artenbestand nicht Zeitgleichheit bedeuten muß**. Etliche Formen, vor allem im Meer oder auf dem Festland bei Pflanzen-Gattungen, hatten jedoch wohl ziemlich gleichzeitige erdweite Verbreitung beziehungsweise ihre zeitlichen Verbreitungsunterschiede störten die Verwertung für die Stratigraphie nicht zu sehr. In Deutschland hat HERMANN CREDNER etwa 1872 (S. 262) diese Überlegungen näher ausgeführt. Durch gleichen Fossilinhalt ausgezeichnete Schichten nannte er **homologe oder äquivalente Bildungen**. Sie sollten gleiche Stufen in der offenbar als überall ähnlich vorausgesetzten Entwicklungsgeschichte der Erde repräsentieren. Das durch seine Fossilien gekennzeichnete Devon sollte durchaus immer zwischen dem Silur darunter und dem Carbon darüber liegen. Über die Zeitgleichheit aller devonischen Ablagerungen war damit noch nichts gesagt. Es könne, meinte H. CREDNER (1872, S. 262), "z. B. die nordamerikanische Devonformation einige Millionen Jahre früher oder später als unsere deutsche zur Ablagerung gekommen sein." Das könne uns aber bei der Aufstellung einer Formation Devon gleichgültig sein. Außer den Ammoniten fanden sich ausreichend andere Fossiliengruppen, die bei weiter räumlicher Verbreitung eine Begrenzung auf **enge Zeitabschnitte** aufwiesen. **Graptolithen** finden sich im Altpaläozoikum und die einzelnen Formen meistens auf bestimmte Schichten begrenzt, Sigillarien und Stigmarien kennzeichnen die Steinkohlenzeit, **Belemniten** stehen für Jura und Kreide, **Nummuliten**-Arten sind kennzeichnend für das Tertiär. Wie alle Organismen und das seit DARWIN 1859 allgemein anerkannt veränderten sich auch die Leitfossilien bis auf gewisse persistenten Formen immerfort, sonst könnten sie nicht zeitgebundene Leitfossilien sein. Unter Beachtung all der Bedenken muß wohl als etwas übertrieben gesehen werden, wenn W. VON SEIDLITZ (1920, S. 47) vielleicht in zu starker Unterschätzung mancher Persistenzen schrieb: "Einen Stillstand gibt es da nicht und somit ist der Begriff des Leitfossils, das eine zeitliche Entwicklungsstufe zur Norm erhält, auch ein zeitarmer Begriff, der unserer heutigen Auffassung vom Fluß und der Entwicklung der organischen Welt widerspricht." **Bei aller Relativierung, es gibt Leitfossilien**, auch wenn sie nicht erdweit für gleiche Zeiten stehen mögen. Die Möglichkeit, mit Hilfe von Leitfossilien Schichten zu charakterisieren, sollte nicht nur schlechthin auf dem Vorkommen irgendwelcher spezifischer Organismenreste in bestimmten Schichten beruhen, sondern auch auf dem Bewußtwerden einer allgemeinen Höherentwicklung, einer "Progression". Leitfossilien eines Stratum sollten auch möglichst verschiedenen Gruppen angehören. Gewiß war ein Problem auch die unterschiedliche Umbildungsgeschwindigkeit in den einzelnen Gruppen (S. VON BUBNOFF 1954), was die Abstimmung zwischen den verschiedenen Leitfossil-Gruppen erforderte, denn Brachiopoden hatten ihre Grenzen nicht unbedingt dort, wo sie Cephalopoden hatten.

Als man nur eine begrenzte Zahl fossiler Arten und diese auch nur in einem begrenzten Territorium kannte, konnten die Formationen oder bestimmte Perioden manchmal **schärfer als später** abgetrennt werden. So war eben CUVIER auf Grund der im Pariser Becken von ihm erkannten Faunensprünge zu seinen Katastrophen gekommen. Je mehr fossile Arten bekannt wurden, desto mehr verschwammen wegen Überschneidungen im Auftreten der Fossilien teilweise Anfang und Ende von Formationen und Abteilungen (BEYRICH 1853), ohne allerdings unmöglich zu werden. Die Feststellung von Formations - und Abteilungsgrenzen blieb ein wichtiges Anliegen der Stratigraphie auch später - und bis heute, mit immer neuen Bemühungen weltweit die Grenzen festzulegen, auch bei nicht immer gleichem Fossilbestand in den Regionen.

Die Einteilung der Erdgeschichte nach dem Fossilgehalt in Abschnitte, in Perioden, war anfangs bei den einzelnen Forschern verschieden, auch anders als nach den nunmehr geläufigen "Formationen". D'ORBIGNY, der 18.000 fossile Spezies auswertete, unterschied, wie schon erwähnt, **27 "étages"**, getrennt durch Katastrophen, dargelegt etwa 1850 bis 1852 in seinem "Prodrome de paléontologie stratigraphique universelle". Er benutzte für die "étages" teilweise auch von anderen verwendete Namen, so "Silurian", erfand für andere "étages" auch eigene Bezeichnungen. Auch seine eigenen Termini gingen in die Stratigraphie ein, so als Abteilungen von Systemen/Formationen, etwa "Aptian", "Cenomanian". SALOMOM-CALVI bemerkte (1918, Fußnote S.3) wohl zu Recht, daß man die Katastrophentheorie mehr mit dem Namen D'ORBIGNY verbinden solle als dem von CUVIER.

Fossile Organismen als Zeugnisse für die Lebensumstände

Aus den Fossilien auf die einstige Umwelt oder einstige Ereignisse zu schließen wurde etwa von VON SCHLOTHEIM (1813, 1820) angestrebt, und er empfahl (1813, S. 15): "Man kann überhaupt bei den Untersuchungen über das Vorkommen der Versteinerungen nicht aufmerksam genug auf alle hierbei eintretenden Umstände seyn, ..." Die "Versteinerungen" könnten darüber belehren, "ob eine Flözschicht z. B. bloß durch Austrocknung, bei einem langsamen und allmähigen Zurückzug der Land- und Meergewässer entstand, oder ob dieses Zurücktreten plötzlich ohne Spuren einer gewaltsamen Zerstörung, oder mit den heftigsten Aesserungen derselben, als Folge einer grossen weit verbreiteten Erdrevolution statt fand" (S. 16). Von den "ältesten Flözen der Formation des Muschalkalks, dem Trochitenkalke an" bis zu den "Kreidelagern auf den tiefsten Punkten seiner Erstreckung" scheinen die Niederschläge aus dem nur "nach und nach in grossen Zeitepochen zurückweichenden Meere, erfolgt zu seyn ..."

Korallenriffe der "Vorwelt" sah SCHLOTHEIM (1820 b) wie anderenorts BLU-

MENBACH am Südrand des Thüringer Waldes, bei Bad Liebenstein etwa. Der Thüringer Wald war SCHLOTHEIM Grundgebirge, das die Zeiten überdauert hatte, und an seinem Fuß rauschte das Meer, aus dem Kalk abgelagert wurde und an der Küste wuchsen die Korallenriffe wie anderswo heute. Das Meer zog sich dann augenscheinlich allmählich zurück.

Gesteinsbildung durch Organismen - Zeitgebundene Gesteine

Wenn, wie sich vor allem später zeigte, die **Bildung mancher Gesteine**, von Sedimenten, als **abhängig von Organismen**, namentlich der Vegetation, ihrer Abwesenheit oder Anwesenheit erwies, dann war auch Gesteinsbildung nicht zeitunabhängig (K. VON BÜLOW 1941). Also hat die Erforschung der vergangenen Organismenwelt, ihrer Evolution, auch wieder den Moment der zeitgebundenen Gesteinsbildung eingeführt. Grobe rote Konglomerate, wie in Rotliegendem und Buntsandstein, waren mit Pflanzen auch auf trockenem Boden schwer vereinbar.

6. Grundauffassungen Katastrophismus - Aktualismus - und die moderne Gliederung der Erdzeitalter, die 'Formations'-/'System'-Tabelle

Erdgeschichtsforschung im Banne der zunächst bevorzugten Katastrophen-Theorie

Katastrophismus und Uniformitarismus im Widerstreit

Als grundsätzliche Auffassungen über das Geschehen in der Erdgeschichte standen sich am Anfang des 19. Jahrhunderts gegenüber der "**Katastrophismus**" (**catastrophism**) und der zunehmend siegreiche "**Uniformitarismus**" (**uniformitarianism**) synonym "**Aktualismus**". Die Termini catastrophism und uniformitarianism gehen stammen von dem führenden britischen Wissenschaftstheoretiker der Mitte des 19. Jh. WILLIAM WHEWELL.

Die Katastrophen - oder Kataklysmentheorie

Erste Vertreter der Katastrophentheorie

Die Anhänger der Katastrophen- oder Kataklysmentheorie dachten, daß die Erdoberfläche durch **mehrfach aufgetretene katastrophale und weithin alles Leben vernichtende Fluten** geformt wurde. Einer solchen Katastrophe entsprach die Sintflut, jedoch auch bei Zweifeln an der biblischen Form einer Katastrophe wurde mit weiten Fluten gerechnet, ja sollte es sogar mehrere Fluten gegeben haben.

Die Katastrophen-Theorie hat mehrere Väter. Der schon genannte LEHMANN hatte schließlich alle Ablagerungen im Thüringer Becken bei einem einmaligen Ereignis, einer Flut, entstehen lassen, ohne sich auf die Bibel zu berufen. PALLAS (1778/1986) hatte angenommen, daß der Indische Ozean einmal durch ungeheure vulkanische Ausbrüche seine Gewässer nach dem Norden trieb, bis über den Altai, und dabei die im Boden Sibiriens nicht seltenen Skelette von **Elefanten und Nashörnern**, vor allem auch die elfenbeinernen Stoßzähne bis nach dem Nordmeere verfrachtet wurden. Das sollte so schnell geschehen sein, daß im kalten Nordklima die toten Körper nicht einmal alle verwesen konnten. Und "eine wahrscheinlich natürliche Erklärung der sogenannten Sintflut", die in der Erinnerung fast aller asiatischen Völker fortlebe, schien gegeben. J. C. DELAMETHERIE (1798) kritisierte die Möglichkeit solchen Transportes von Tierkadavern in recht aktualistischer Weise, indem er darauf verwies, daß ein von Indien nach Sibirien bewegtes Rhinceros nicht unzerrissen geblieben wäre.

CUVIER als Hauptbegründer der Katastrophentheorie

Der **hauptsächliche Begründer der** oder einer **Katastrophentheorie** war GEORGES CUVIER. Dieser Mann war innerhalb etwa 35 Jahren bis zu seinem Tode 1832 einer der europaweit führenden Wissenschaftler. Er galt als Autorität in der vergleichenden Anatomie, der Paläontologie und eben der Geologie. Geboren wurde CUVIER am 23. August 1769 in der damals zu Württemberg gehörenden, in der Burgundischen Pforte liegenden Stadt Mömpelgard, das 1793 als Montbéliard zu Frankreich kam. Sein Vater war dort Offizier. Der Sohn, eben GEORGES CUVIER, war damit württembergischer Untertan.

CUVIER besuchte die Hohe Karlsschule in Stuttgart. Im Unterschied zu dem einstigen Karlsschüler SCHILLER gefiel es ihm auf der Karlsschule und CUVIER war ein ausgezeichnete Schüler, bald befreundet mit dem etwa 4 Jahre älteren C. H.



Abbildung 40: CUVIER. Montbeliard.

KIELMEYER, von dem er so viele Anregungen zu Naturwissenschaften erhielt, daß CUVIER ihn scherzhaft als "seinen Lehrer" bezeichnete, aber gelehrt hat KIELMEYER erst später. Wegen der prekären Finanzlage seiner Familie ging CUVIER dann als Hauslehrer auf das Schloß von Fiquainville bei Caen in die Normandie. An Naturgeschichte interessiert, begann er hier Meerestiere zu untersuchen. Durch Vermittlung eines vor der Revolution nach der Normandie geflohenen Gelehrten trat er in Briefwechsel mit dem Pariser Naturforscher ÉTIENNE GEOFFROY SAINT-HILAIRE, folgte dessen Einladung nach Paris und stieg hier als Gelehrter empor, seine Förderer hinter sich lassend. Sowohl unter NAPOLEON wie danach unter den Bourbonen hatte CUVIER hohe Staatsämter inne, namentlich in der Unterrichtsverwaltung und war schließlich für den Unterricht der in der Minorität befindlichen nichtkatholischen Bevölkerung Frankreichs zuständig. Im Jahre 1819 wurde er Baron und Pair von Frankreich. Als ihn 1832 der junge, ständig arbeitende Schweizer LOUIS AGASSIZ besuchte, sagte CUVIER zu ihm: "Seien Sie vorsichtig und bedenken Sie, daß Arbeit tödtet." Am nächsten Tag, dem 13. Mai 1832, fiel CUVIER "vom Schlage gerührt" von der Tribüne der Abgeordnetenkammer nieder (E. AGASSIZ-CARY 1886).

Wie man die von CUVIER viel vorsichtiger geäußerten Gedanken wiedergab: Die gesamte Erdoberfläche sollte während ihrer Geschichte von etlichen jedenfalls auf dem Festland alle Lebewesen vernichtenden Katastrophen oder Kataklysmen heimgesucht. Gegenwärtig manchmal vorkommende große Überschwemmungen oder

Vulkanausbrüche reichten bei weitem nicht an diese die Erdoberfläche formenden Katastrophen heran. Zwischen den Katastrophen sollten längere Zeiten der Ruhe gelegen haben. Auch im Meere mußten sich die Katastrophen nicht gegen alles Leben auswirken. Wie A. G. WERNER und die frühen Stratigraphen wie FÜCHSEL, LEHMANN und andere ihre Auffassung **aus territorial beschränkten Erfahrungen** entnommen hatte, so auch CUVIER. Für ihn entschied, jedenfalls zuerst, die sprunghafte Abfolge der Faunen von fossilen Säugetieren im Pariser Becken. Und das wurde manchmal auf die ganze Erde übertragen. CUVIERs viel zitierte Katastrophentheorie hing eigentlich fast allein am Montmartre mit seinen Gips- und Kalkstein-Steinbrüchen des Tertiär ab und diese hingen wieder auch zusammen mit neuer Bautätigkeit in Paris zur Zeit NAPOLEONs (s. a. D. KNIGHT 1986, S. 40). Sicherlich wurden dann auch die Mammute Sibiriens einbezogen. Wie die deutsche Übersetzung von CUVIER etwa 1830 (S. 3) darlegt, habe gemäß CUVIER, der die gesamte Zeit der Französischen Revolution in ihrem Zentrum erlebt hatte, eben auch die Erde ihre 'innerlichen Kriege' aufgewiesen und "sey" "die Oberfläche der Erde durch eine Folge von Umwälzungen und mannichfaltigen Catastrophen verheert worde ..." CUVIER mahnte (dtsch. 1830, S. 16): "Diese grossen und fürchterlichen Ereignisse haben überall deutliche Spuren zurückgelassen, wenigstens für ein Auge, dass ihre Geschichte in ihren Denkmälern zu lesen versteht". Die letzte Katastrophe sollte dabei etwa 5000 bis 6000 Jahre zurückliegen. Betroffen waren die Festländer und nicht das Meer und auf die Sintflut wird im physikotheologischen Sinne nicht verwiesen (E. MAYR 1984, S. 290), und die viel striktere Katastrophentheorie folgt bei einigen seiner Anhänger. Meer habe dabei durchaus zeitweilig die Festländer überflutet. Eine Evolution der Organismen, gerade auch die im Sinne LAMARCKs, lehnte CUVIER vehement ab. Trotzdem sollte **nach jeder Katastrophe**, wie die Säugetierreste zeigen, einer **neue**, der Gegenwart näherstehende Welt dieser **Organismen** erschienen sein. Offen blieb, wie das geschah. Durch Evolution jedenfalls nicht. Annahme von **Katastrophen** und **Progression** waren also in eine **enge Verknüpfung** eingetreten.

Aber CUVIERs Ansichten sind nicht durchgehend dieselben und bleiben nicht bei strikten Aussagen. Immerhin haben aber eben als katastrophal zu bezeichnende Ereignisse auf der Erde stattgefunden und seine Grundgedanken wurden simplifiziert und undifferenziert weitergetragen und die Katastrophen' und diese Simplifizierung ging in die Geologiegeschichte ein. Letztlich, wie E. MAYR (1984, S. 292) herauslas, "war Cuviers Katastrophentheorie recht "sanft" verglichen mit denen einiger seiner Anhänger wie Buckland, d'Orbigny und Agassiz." CUVIER zusammen mit BRONGNIART hätten teilweise (E. MAYR 1984, S. 201) auch erkannt, daß Fossilien nicht unbedingt strenge Grenzen haben, CUVIER dachte in Andeutung dann in bezug auf die geänderte Fauna nach einer Katastrophe auch an Einwanderung von Tieren aus nicht betroffenen Gebieten (E: MAYR 1984, S. 291)

in die verwüsteten. Australiens kürzlich entdeckte, heute so andersartige Tierwelt gab CUVIER zu denken. Der Mensch sollte erst nach der letzten Katastrophe erschienen sein und damit gab es also keinen 'fossilen Menschen'. Es gab damals auch noch keine in dieser Weise denkbaren Funde, ja auch das erste Primatenfossil wurde erst 1832 entdeckt (E: MAYR 1984, S. 293).

Eines seiner Argumente gegen Organismen Umwandlung nach der letzten Katastrophe waren die mumifizierten Tieren aus dem alten Ägypten, so vor allem die des heiligen Ibis. Das Skelett der in altägyptischen Tempeln gesammelten mumifizierten Ibis-Exemplare glich völlig dem lebender. Da die Katastrophen immer wieder die Festländer heimsuchten, war eine langsame Umbildung der Organismen durch die ganze Erdgeschichte hinweg ohnehin nicht denkbar, wie auch die Oberfläche kaum ruhig ihren Formenschatz hatte entwickeln können. War die Erde in ihren wesentlichen Zügen auch durch die Katastrophen gestaltet, so wurden gewisse begrenzte Änderungen auf der Erdoberfläche nach der letzten Katastrophe von CUVIER (1830) allerdings anerkannt. Dazu zählte er die Absetzung von Schlammmassen durch Flüsse wie Nil, Rhone, Po, Arno oder auch durch die Flüsse in Holland. Torfmoore haben sich gebildet und Dünen rückten vor.

In der Erdgeschichtsforschung sah CUVIER ein wichtiges Anliegen der Wissenschaft. So wie die Menschen die Grenzen der Räume auf der Erde überschritten, so sollte nunmehr die **Grenzüberschreitung für die Zeit** geschehen (G. CUVIER 1830, S. 2).

Waren an den fossilen Säugetieren am Montmatre herausgelesene Katastrophen auch falsch, so fand sich später in der weiten Erdgeschichte zeitlich begrenztes und damit katastrophistisch wirkendes Massenaussterben, auch im Meer. Und danach erschien eine in großen Teilen erneuerte Fauna. Man kannte das zuerst von der Perm-Trias-Grenze. Das Verschwinden der Reptilien der Kreidezeit wurde zunächst auf längere Zeiträume gelegt, bevor im 20. Jh. die Meteoritenkatastrophe erkannt wurde. CUVIER hatte von diesen neueren Befunden nicht einmal eine Vorahnung und man sollte bei Wissenschaftlern nicht Voraussicht hineinlesen, wo keine bestand.

Katastrophismus bei anderen Paläontologen und Geologen, besonders D'ORBIGNY

Nachfolger der Grundauffassung CUVIERs suchten die Katastrophentheorie zu verfeinern, suchten die einzelnen Katastrophen genauer festzustellen und vermehrten dabei ihre Zahl und das bis zur **Übertreibung**. Damit erscheint nun die Katastrophentheorie im engeren Sinne. **Bis zum Extrem** trieb die Katastrophen-

theorie der in der Gliederung der Erdzeitalter und in der Paläontologie durchaus verdienstvolle ALCIDE CHARLES VICTOR DESSALINES D'ORBIGNY (H. TOBIEN 1974). Geboren am 6. September 1802 als Sohn eines wissenschaftlich interessierten, von Santo Domingo stammenden Arztes, betrieb D'ORBIGNY Zoologie, studierte bei CORDIER und sammelte und forschte im Auftrage des Pariser Muséum d' Histoire Naturelle vom Juni 1826 bis zum März 1834 in Südamerika. Da er danach lange Zeit keine Professur bekam, war er sehr verbittert. Erst 1853 wurde ihm eine Professur für Paläontologie am Muséum d' Histoire Naturelle eingerichtet. Unter Auswertung von 18000 fossilen Spezies unterschied er **27 "étages"** in der Schichtabfolge, wobei die einzelnen "étages" scharf voneinander getrennt sein sollten, getrennt durch Katastrophen. WILHELM SALOMON (1918) mochte die von D'ORBIGNY in ihrer "schärfsten Form" vertretene 'Kataklysmmentheorie' daher viel eher mit dessen Namen als mit dem von CUVIER verknüpft sehen. D'ORBIGNY starb am 30. Juni 1857.

So wie **LINNE's strenge Trennung der Arten** ihre genaue Beschreibung förderte und schließlich dadurch deutlich und nicht nur vage auch deren Variabilität erkennen ließ, meinte SALOMON (später mit Zunamen CALVI) (1918, S. 9), daß ungeachtet der nicht zu akzeptierenden Kataklysmmentheorie diese dazu beitrug **Erdperioden scharf zu trennen** und das war zeitweise wichtiger als einen "gleichmäßigen Gang der Erdgeschichte" anzunehmen. Auch W. VON SEIDLITZ (1920, S. 39) hielt D'ORBIGNY zugute, daß sein Streben nach möglichst scharfer Auseinanderhaltung der Schöpfungen, wenn auch getrennt durch die unmöglichen Katastrophen, die Verschärfung der Chronologie wesentlich beeinflusste. Wissenschaft schreitet auch durch Irrtümer vorwärts!

Ein anderer Anhänger solcher Ansicht war LOUIS AGASSIZ (E. MAYR 1984).

Argumente der Anhänger von Katastrophentheorien

Später wurde die Katastrophentheorie manchmal nur karikiert. So meinte HAECKEL in seinen "Welträtseln" (1899, Ausgabe 1929 S. 81), daß die Katastrophentheorie "zu den absurdesten Folgerungen führte und auf den nackten Wunderglauben hinauslief". Das, trotzdem CUVIER selbst die Katastrophentheorie viel weniger dogmatisch vorgetragen hatte als manche seiner Nachfolger, die von Neuschöpfung nach den Katastrophen sprachen.

Die 'Katastrophentheorie' kann aber nicht, wie es manchmal geschah, nur als 'unwissenschaftlich', mystisch bezeichnet werden, denn es wurde **zugunsten der Katastrophen mit sachlichen Belegen** argumentiert (L. G. WILSON 1980). Auch haben die sogenannten 'Katastrophisten', wie die Geologen um und in der Nachfol-

ge von CUVIER genannt wurden, auch andere Ansichten als nur die Plötzlichkeit, das "Saltatorische", der Veränderungen ausgesprochen, so ihre durchaus vernünftigen Vorstellungen über irreversible Wandlungen in der Organismenwelt (s. u. a. M. J. S. RUDWICK (1971).

Unter den für die Katastrophentheorie angeführten Zeugnissen stand an erster Stelle der **plötzliche Wechsel von Faunen und Floren** und auch der oft **plötzliche Wechsel in der Schichtenfolge**. Sprunghafte Folge der fossilen Arten gibt es wie in den Sedimenten wie die scharfe Abgrenzung der Sedimentschichten gibt es überall durchaus. Es gab noch nicht die Vorstellung, daß die Ablagerung von Sedimenten selbst in erdgeschichtlich ruhigen Zeiten nicht kontinuierlich geschieht, daß also die abgelagerten Schichten auch bei konkordanter Lagerung vielfach nur Ausschnitte aus dem 'Tagebuch der Erde' enthalten. Im 20. Jh. sollte einmal RICHTER-BERNBURG sagen, daß der größte Teil der Erdgeschichte sich in den Schichtlücken befindet.

Die letzte Katastrophe sollte vor allem deutlich sein in den Kadavern großer Säugetiere im Norden, also im gefrorenen Boden von Sibirien, und die gefrorenen Kadaver etwa vom Mammut in Nordasien sollten auch für die Plötzlichkeit dieser Katastrophe sprechen. Immerhin sollten die Mammute nunmehr stets in Sibirien gelebt haben, wenn auch in einem von der Temperatur her einst angenehmen, und die Katastrophe so war immerhin weniger abenteuerlich als die Herbeischwemmung all der Knochen aus Indien.

Auch von CUVIER selbst (dtsch s. 1822, 1830) wurden für die Katastrophen weiterhin die **Schichtstörungen** angeführt, da die **geneigten Lager von Gesteinen** älter wären als die horizontal liegenden. Die ehemals horizontal gelagerten Schichten zu stören und aufzurichten hätte zumindestens eine Katastrophe erfordert, aber genaueres Studium der 'geneigten Lager' zeige sogar, daß mehrere Katastrophen einwirken mußten. "Die Zerstörungen, Umbiegungen und Umstürzungen der älteren Lager", hieß es bei CUVIER (1830, S. 15), "lassen uns nicht bezweifeln, dass plötzlich und heftig einwirkende Ursachen sie in die Lage versetzt haben, worin wir sie jetzt erblicken..." WEBSTER beschrieb Schichtstörungen im Sinne der Katastrophentheorie von der südenglischen Insel Wight.

In besonderen Maße aber wurden auch die **ortsfremden Gesteinsblöcke** etwa in Norddeutschland und auch im Alpenvorland bis hinauf an die nach den Alpen hin gerichteten Jurahänge als Ergebnis einer gewaltigen Flut, also einer Katastrophe, wenigstens der letzten, angeführt. Selbst der HUTTON und PLAYFAIR im wesentlichen verpflichtete JAMES HALL (1815) meinte, daß die großen fremdartigen Gesteinsblöcke auf dem Süd - Hang des Schweizer Jura - Gebirges und in der norddeutschen Tiefebene nur durch eine sehr große, in der Gegenwart noch nicht

beobachtete Flut transportiert wurden, die durch die eben nicht ruhige Kontinenthebung zustandekam. Zudem wirkten die Felsen in Skandinavien überall wie poliert, geschliffen, was auch für eine gewaltige Überströmung sprechen sollte.

Es gab also **Phänomene, die für Katastrophen sprachen**, und eine immerhin **rationale Erklärung** für das Entstehen von erdweiten Katastrophen lieferte der bald führende französische Geologe ELIE DE BEAUMONT, (d. d.) wenn er sie auf die nur **episodischen**, die Erdkruste weithin erschütternden **Gebirgsbildungen** zurückführte, die wiederum infolge der durch gleichmäßigen Abkühlung schrumpfenden Erde saltatorisch zustandekamen (M. J. S. RUDWICK 1971). Katastrophen waren damit in das allgemeine Erdgeschehen eingebunden. Die letzte eine Katastrophe auslösende Gebirgsbildung sollte namentlich die Anden hervor gebracht haben und ELIE DE BEAUMONT lieferte CUVIER damit "das geologische Rüstzeug für die Theorie der Katastrophen" (M. PFANNENSTIEL 1972 / 73).

Daß die Katastrophentheorie relativ lange anerkannt wurde und eine recht große Anhängerschaft besaß, führte viel später E. WEGMANN (1950, S. 127) auch darauf zurück, daß es einem 'Urbilde des menschlichen Geistes', einem 'Archetypus' im Sinne von C. G. JUNG entsprach, die Vorgeschichte als eine Kette von Katastrophen zu sehen. Ist es so? Immerhin gibt es auch den Gedanken verflossener 'goldener Zeiten', in die Katastrophen nicht so recht passen würden. Aber auch GOETHE gab eine auf die Psyche bezogene Erklärung für die Neigung zur Katastrophentheorie (aus: W. von SEIDLITZ 1932, S. 670): "...da den Menschen nur solche Wirkungen in die Augen fallen, welche durch große Bewegungen und Gewaltigkeit der Kraft entstanden, so ist er jederzeit geneigt zu glauben, daß die Natur heftige Mittel gebraucht, um große Dinge hervorzubringen, ob er sich gleich täglich an derselben eines anderen belehren könnte".

Irreversibilität im Auftreten der Organismen und Änderung in der Wirkung der anorganischen Kräfte in der Erdgeschichte

Nach einer Katsatrophe sollte wenigstens auf dem Festland eine neuartige Fauna und Flora erschienen sein, und zware 'höher' ausgebildet als die Organismenwelt davor, mehr an die Gruppen der Gegenwart angenähert. Das war ein bliebender , von anderen Geologen und Paläontologen geleugneter Vorgang, die Irreversibilität in der Ausbildung der Organismenwelt. Die Vorstellung einer irreversiblen Entwicklung der Erdkruste gab es bei WERNER.

Schon 1790 hat J. F. BLUMENBACH einmal gemeint, daß die Vorwelt durch einen

Erdbrand eine "Totalrevolution" erlitt. Dadurch waren viele Stoffe derart modifiziert, daß auch der "Bildungstrieb" modifiziert war und nunmehr andersartige Organismen hervorbrachte. So, meinte BLUMENBACH, wirke der Schöpfer.

Das Problem von und Diskontinuität und Kontinuität in der Erdgeschichte

Die Katastrophentheorien sahen die durchaus real getrennten Gesteinsschichten als reale, also in ihrer Bildung stattgehabte Diskontinuitäten in der Erdgeschichte (E. WEGMANN 1950). Änderungen und auch Schnitte in den Ablagerungen ergaben die Stratigraphie. Ein volles Kontinuum ließ sich nicht gliedern, in den norddeutschen Lockermassen war eine Gliederung lange schwierig. Es war manchen Geologen wohl sympathisch, wenn die Zeitalter der Erdgeschichte wie in der Katastrophentheorie deutlich getrennt waren und sich durch spezifische Merkmale unterscheiden ließen, so, wie es SEDGWICK und BRONGNIART annahmen (J. W. GREGORY 1931). Gewisse Diskontinuitäten, lokale auf jeden Fall, waren auch in anderen Auffassungen als der von erdweit postulierten Katastrophen anzunehmen. Der Gedanke einst andersartiger, vor allem stärkerer Kraftäußerungen der Erde und ihrer zunehmendem Abnahme blieb über das Bestehen der Katastrophentheorie hinaus erhalten. Jedenfalls meinte 1855 (S. 3) wohl etwas zu transzendental KARL CAESAR von LEONHARD (GÜMBEL 1883), Ordinarius in Heidelberg: "Erst seit des Menschen Erscheinen trat die Erde selbst in ein ruhigeres Stadium ein, die früheren, so heftigen Revolutionskatastrophen geben sich nur noch in Zuckungen zu erkennen. Die Titanen - Kraft der Erde wird seitdem gleichsam von der geistigen gebrochen,..."

Andererseits war eine gewisse Kontinuität in der Erdkrustenentwicklung anzunehmen und damit ergab sich ein Gesamtbild von Erdgeschichte, das eben nicht nur eine Folge getrennter Episoden wäre.

Modifikationen zur Katastrophentheorie - Einschränkungen der Katastrophen

Im einzelnen besaßen die Forscher über die Katastrophen auch individuell variierte Ansichten, ja wurde deren Wirkung eingeschränkt, ohne sie ganz aufzugeben. Bei J. L. HEIM liest sich (1812, S. 222) die Ansicht heraus, daß zunächst die Sedimente, die Flözgebirge, ziemlich eben lagen und danach, nach der Ablagerung des Basaltes, die Erdoberfläche eine in den Höhen wechselnde Gestalt annahm und zerrissen und zerschnitten wurde: "Gerade in diese Periode fällt aber auch - ... - das Emporsteigen der Bergketten - die Zerstörung der Flözebene - der Abzug des Oceans - das Einschneiden der Täler - kurz die ganze Revoluti-

on welche die gegenwärtige Gestalt der Erdoberfläche herbeygeführt hat.“ Ganz so erdweit wirkt das nicht. SCHLOTHEIM schrieb 1820 (Einleitung) von den ”heftigsten Kämpfen der Naturkräfte”, welche ”die nachfolgenden ruhigern Zeitepochen vorbereitet” haben und daß die ’Übergangsformation’ jedenfalls das gewaltsame Eindringen der Meere, die Zerstörung der kristallinen Grundgebirge zeige. Aber andererseits wollte gerade SCHLOTHEIM das Wirken der Katastrophen begrenzt sehen, hatte 1813 (S. 20 / 21) geschrieben, daß manche ”grössere und kleinere Erdrevolutionen ohne alle Noth zu Hülfe rufen, wo die Natur doch ungestört in ihrem gewöhnlichen Laufe geblieben, und bei den Niederschlägen aus Wasserbedeckungen nothwendig nach chemischen Gesezen, und nach den Gesezen der spezifischen Schwere verfahren, und weit einfacher zu Werke gegangen ist.” Ein großer Teil der ”Geschöpfe” habe sich offensichtlich über die Revolutionen hinweg erhalten, sich umgebildet, und SCHLOTHEIM wollte nicht der Meinung beypflichten, ”dass wir bey solchen Revolutions-Epochen stets neue Schöpfungen der Thier- und Pflanzenwelt anzunehmen hätten” (1820 b, S. 35). FRIEDRICH VON ALBERTI, der die Trias-”Formation” aufstellte, sah innerhalb der Trias Gesteinsbildung teilweise durch katastrophistische und teilweise durch rezent noch wirksame Faktoren und repräsentierte so eine eigenwillige Zwischenstellung, wenn er etwa 1834 (S. 11) meinte: ”Betrachtet man mit Aufmerksamkeit die steilen Thäler des bunten Sandsteins und des Muschelkalks und die schlangenförmigen Krümmungen, welche sie bilden, so erscheint es als Unmöglichkeit, dass diese durch Flüsse oder Bäche ausgegraben seyn können. Bei dem Keuper, wo die Formen mehr abgerundet sind, wäre die Möglichkeit aber gegeben ...”

Eine individuelle Katastrophentheorie bot L. AGASSIZ inden 40er Jahren des 19. Jh. In seinem Buche ”Untersuchungen über die Gletscher” von 1841 schreibt er, daß sich vor der Hebung der Alpen die Erde von den Polargegenden über die ganze Nord-Halbkugel mit einer **ungeheuren Eiskruste** bedeckte. ”Der Tod”, schrieb AGASSIZ (1841, S. 294), ”war eingekehrt mit seinen Schrecken in einer mächtigen Schöpfung, er hatte sie vernichtet mit einem Schlage seiner gewaltigen Hand, um ein neues Geschlecht erstehen zu lassen, damit das Werk gekrönt werden durch die Erschaffung des Geschöpfes, welches allein fähig sein sollte, selbst dasjenige zu erschließen, was die Nacht der Vergangenheit den andern für ewig verhüllte”. Als sich die Gebirge hoben, beschreibt AGASSIZ, fielen deren Trümmer auf die Gletscher und wurden von ihnen fortbewegt.

In begrenzteren Gebieten aber konnten durchaus Ereignisse nachgewiesen werden, welche in einer mehr oder weniger langen Zeit zum völligen Wechsel der Organismenwelt führten und somit das Bild begrenzterer Katastrophen erlaubte. So wurde mit der Transgression des Lias-Meeres über den Rät eine ganz neue Tierwelt verbreitet (E. FRAAS 1899).

Noch im Banne des Katastrophismus: Gebirge und Hebungen

Große Frage: Was hob die Berge und Gebirge - Tektonik

In den Auseinandersetzungen zwischen der Katastrophentheorie, der späteren aktualistischen Auffassung und anderen geologischen Hypothesen wurde die **Bildung der Berge und Gebirge** sowie die **Störung von Schichten**, etwa deren Aufrichtung, stark einbezogen. Diese Störungen der Schichtenlagerung und die Gebirgsbildung sind Gegenstand der Tektonik. Durch die Aufbiegung oder Verschiebung waren sehr verschieden alte Schichten in eine gleiche Höhenlage, ein gleiches Niveau an der Erdoberfläche, gebracht worden, oder kamen ältere Gesteine in ein höheres Niveau als benachbarte jüngere. Der Harz besteht aus viel älteren Gesteinen als ein Vorland. Das mußte bei der Erschließung der Erdzeitalter aus der Schichtenfolge berücksichtigt werden.

Im neptunistischen geologischen Weltbild gab es fast keine Tektonik. Schrägstehende Schichten wurden nach der Ansicht von Neptunisten wenigstens bis zu einem Fallwinkel von 30 Grad an ein geneigtes Relief angelagert. Sie befanden sich also in primärer Schieflage. Nur geneigte Schichten mit einem Winkel von 40 Grad sollten durch lokale Höhleneinbrüche in ihre starke Schieflage gekommen sein. Jüngere Schichten konnten horizontal auf die schrägen Schichten abgelagert werden. Unter dem Einfluß des Denkens von WERNER meinte auch der Alpengeologe HORACE BÉNÉDICT DE SAUSSURE (M. PFANNENSTEIL 1970 a) zunächst, daß die steilstehenden Schichten des Faltenjura durch Ausfällen von Sedimenten an ein präexistentes Relief niedergeschlagen wurden. Als SAUSSURE jedoch senkrecht stehendes Karbonkonglomerat der Aiguilles Rouges in Hochsavoyen mit Geröllen bis zu einem halben Meter Durchmesser fand, erschien eine primäre senkrechte Stellung doch als unwahrscheinlich. Es mußte die Schlußfolgerung gezogen werden, daß die Konglomerate einst horizontal abgelagert wurden und erst später in die saigere, das heißt die stark schräge Stellung gebracht wurden. Etwa GREENOUGH (dtsh. 1821) bezweifelte, daß allein zweimaliges Emporheben zu solchen Diskordanzen führt, wie sie HUTTON und PLAYFAIR von der schottischen Küste beschrieben hatten. Das Neigen, das Schrägstehen der unteren Schichten konnte durch Emporheben und nochmaliges Wiederabsenken nicht erklärt werden. Die stark gestörten Schichten mußten ihre Schrägstellung, ihre Faltung oder ihr Zerbrechen auf möglicherweise lange nach der Ablagerung auf sie wirkenden, sie stark verändernden Kräften verdanken. Damit wurde dann schließlich jede Schichtstörung als Ergebnis von nach der mehr oder weniger horizontalen Ablagerung wirkenden Kräften gedeutet. Die Schichtstörung galt vielfach als ein wichtiger

Beweis für Katastrophen. Durch sie sollte die Schichtenstörung letztlich zustande gekommen sein. Aber unter dem Einfluß der aktualistischen Auffassung wurde an allmähliche, schrittweise Hebungen und Störungen gedacht.

LEOPOLD VON BUCH: Hebung durch Magma

Eine für längere Zeit maßgebende, mit der Katastrophenauffassung harmonisierende Theorie erklärte die **Entstehung von Vulkanen wie auch von Gebirgen** durch **empordringendes und die Erdkruste emporhebendes Magma**, was namentlich LEOPOLD von BUCH zu begründen suchte (A. HEIM 1908, H. VOGELANG 1867, O. WAGENBRETH 1979). Hier irrte VON BUCH. Aber die Diskussionen wurden entscheidend angeregt. VON BUCH hat der Geologie, der Erdgeschichtsforschung manche wichtigen Anregungen gegeben, und er ist in der Geologie-Geschichte nicht nur ein Irrender, sondern er ist **einer der großen Begründer der Geologie**.

Dieser für etliche Zeit führende deutsche Geologe wurde am 24. April 1774 in Stolpe in der Uckermark als Sohn von ADOLF VON BUCH, Rittergutsbesitzer, Minister, auch preußischer Gesandter am kursächsischen Hof, geboren. LEOPLOD VON BUCH studierte an der Bergakademie in Freiberg in Sachsen. Im Staatsdienst war er nur kurzzeitig tätig. Unter Einsatz seines Vermögens beziehungsweise seiner Einkünfte als Privatmann wirkte er als Privatwissenschaftler. Er durchwanderte als geologischer Forscher große Teile von Europa, wobei Norwegen im Norden und die schon zu Afrika gehörenden Kanarischen Inseln die Grenzen seiner Wanderungen markieren. Auf seinen Wanderungen konnte VON BUCH plötzlich zu Besuch bei Naturforschern an seinem Reiseweg erscheinen. VON HOFF (2012, S. 298) in Gotha hielt fest: " ... als ich eben meinen Kindern den Weihnachtsbaum anputzen wollte, erschien einmal unerwartet Freund Buch ... blieb einige Tage und gab mir einen sehr interessanten Abend, zu welchem ich die eben anwesenden Bundesgesandten Wangenheim, Schlotheim, Studnitz, Kries eingeladen hatte." Der Botaniker ALEXANDER BRAUN schrieb einmal aus Baden (12. Juli 1835) (C. METTENIUS 1882, S. 294): "Er" - VON BUCH - "kam eines Morgens ganz unerwartet zu mir ... Ich war erst gar nicht geneigt, mich von dem unscheinbaren Manne lange stören zu lassen;..." Beide haben aber recht bald gemeinsam Fossilien betrachtet.

Zu seiner **Hebungstheorie für Berge und Gebirge** kam VON BUCH bei einer Reise in die Auvergne 1802, als ihm hier die erloschenen Vulkane, die Puys, als Produkte des aufgestiegenen Magmas erschienen.

1818 (1877) berichtete VON BUCH über seine Beobachtungen an Vulkanen auf



Abbildung 41: BUCH-Erinnerung Freiberg.



Abbildung 42: Auvergne: Puy de Dome.

den "canarischen Inseln, dann in den schottischen Hochländern und in einigen der Hebriden-Inseln (S. 3). An einzelnen Vulkanen auf Inseln, so auf den 1815 besuchten Kanaren, etwa auf Teneriffa, sah VON BUCH "die Zusammensetzung aus Schichten übereinander, welche sich von allen Seiten gegen die Mitte heraufheben, und aus der grossen Kessel-Umgebung des Innern, die ich den Erhebungs-Krater, *crate're de soule'vement*, zu nennen gewohnt bin." LYELL und bedeutende Zeitgenossen sahen den Vulkanaufbau dann anders, nicht als plötzliches Ereignis (s. d.).

VON BUCH war also im Gelände, hat beobachtet. Und trotzdem haben seine **Beobachtungen nicht ausgereicht**, um eine weiterbestehende Gebirgs- und Vulkantheorie zu begründen. Der Vulkanforscher KARL SAPPER (1927, S. 385) schrieb über VON BUCH: "..., der weitgereiste, hatte eben zuletzt seine Verteidigung auf ein zu geringes Maß von Beobachtungen ausgebaut, denn schon eine genaue Wiederdurchforschung der liparischen Inseln hätte ihm zeigen können, daß tatsächlich Lavaströme stellenweise auf recht steiler Grundlage auch in ziemlich ansehnlicher Mächtigkeit erstarren können", also nicht der Hebung von unten bedürfen. **Wie viele Erfahrungen und Beobachtungen muß ein Geologe** und überhaupt Erdgeschichtsforscher **erwerben**, um **Theorien aufzustellen**? wohl eine verallgemeinerungswürdige Frage!

Wie VON BUCH (1818/1877, S. 4) auch in den Beschreibungen von ALEXANDER von HUMBOLDT fand, treten Vulkane in etlichen Erdregionen in Reihen, in Ketten auf was seine Ansichten über Entstehung auch von nicht-vulkanischen Kettengebirgen über längsgestreckten unterirdischen Magmenspalten wohl begünstige. Es wird nicht jeder Erhebungs-Krater zum Vulkan (S. 17), also Magma kann heben ohne hervorzubrechen. Es kann auch an Seiten eines Vulkans ohne Gipfelöffnung austreten, wie am Puy de Dome (S. 16).

Magma wurde mit BUCHs **Hebungstheorie** als **aktiver Faktor** betrachtet. Hebendes, emporströmendes Magma sollte sowohl die Gestalt der Gebirgsketten, die Form einzelner Berge und auch die Anlage der Täler bestimmt haben. Dieses von unten nach oben hebende Magma konnte durch Krater bis auf die Erdoberfläche fließen, konnte aber auch im Inneren der Erdkruste steckenbleiben und seine Existenz war dann nur an der durch sein Empordringen in der Tiefe bewirkte Hebung der Erdkruste darüber zu erkennen. Langgestreckte Gebirgsketten befanden sich dann dort, wo Magma an Spalten emporgedrungen war. Der **Thüringer Wald** wurde nach VON BUCH, 1824, über einer langer Spalte von emporgedrungenen "schwarzen Porphyr", also dem später Melaphyr genanntem eruptivem Gestein, emporgehoben (H. WEBER 1955, S. 4/5). **Magma** war das eigentlich **reliefgestaltende Agens**. Den exogenen Faktoren blieb nur eine geringe Wirkungsmöglichkeit, wobei gewiß auch nach späterer Erkenntnis die exoge-

nen Faktoren höchstens die Außenhaut modifizieren. Aber bei BUCH mußte man doch sagen: "Allzusehr begriff man die äußere Gestalt der Gebirge als das Abbild ihres inneren Gefüges" (R. BRINKMANN 1948, S. 1). BUCHs Hypothese von der die Erdoberfläche gestaltenden Kraft des Magmas kann als der Höhepunkt des Vulkanismus betrachtet werden. ALEXANDER von HUMBOLDT und andere Naturforscher der ersten Hälfte des 19. Jh. schlossen sich dieser Auffassung an.

Vorbereitet war VON BUCHs Ansicht durch die um 1800 von PALLAS hervor gehobene Erkenntnis, daß die meisten großen Gebirge in ihrer Mittelzone aus kristallinen Gesteinen wie Gneiß, Granit, Syenit, Glimmerschiefer bestehen und ihnen beidseitig Randzonen von oft stark gestörten Sedimentgesteinen vorgelagert sind (A. HEIM 1908). Bei den Alpen gibt es den kristallinen Mittelteil, das 'Helveticum' sowie die südlichen und die nördlichen 'Kalk'alpen, wobei die aus stark gefaltetem und in anderer Weise gestörtem Kalk oder Dolomit bestehenden 'Kalkalpen' große Flächen einnehmen, also sehr breite 'Rand'zonen bilden. Der Zentralteil ließ sich als von unten emporgewölbt ansehen und hatte die Randgebiete beseitigegeschoben und stark verändert.

Für die Alpenketten wandte BUCH seine Magmahypothese 1824 bei Studien im Fassatal in den Südtiroler Dolomiten an. Er sah hier Lagerungsstörungen im Alpendolomit. Unter dem Dolomit lagen vulkanische Gesteine. Das Aufsteigen der vulkanischen Gesteine sollte Hebung und Störung des Dolomits hervor gebracht haben. VON BUCH hat seine Betrachtungen dann auf die Alpen namentlich in Bayern ausgedehnt (1828 / 1831). Gleichförmig steige die große Ebene von Ober-Schwaben und Bayern mit ihren Sedimentschichten von den Ufern der Donau bis zum Fuße der Alpen, welche in ihrem Inneren durch ein in der Tiefe befindliches langes Magmaband emporgehoben wurden. Im Süden der Alpenkette aber gäbe es ein korrespondierendes Bild (1828, S. 81): "Je mehr man aber diese Berge kennen lernt, um so mehr entwickelt sich eine, kaum geahnete Correspondenz der Gebirgsarten auf der Nord - und auf der Südseite der Alpen". Im Süden hatte BERNARD STUDER auf einer Exkursion 1827 die Verhältnisse bis Parma und Modena verfolgt (L. v. BUCH 1828). Für die Gebirge und namentlich für die Alpen war die Schichtenfolge und namentlich die Schichtenlagerung damals nur unzureichend untersucht, was alle frühen Deutungen der Alpenentstehung mit großen Unsicherheiten belasten mußte. FRIEDRICH HOFFMANN (1831) wandte die Theorie der 'Hebungskratere' auf das Albanergebirge südöstlich von Rom an.

Ein **Kettengebirge**, ja das Musterkettengebirge, ist das namentlich in der Schweiz verlaufende **Jura-Gebirge**, erforscht von JULIUS (JULES) THURMANN (R. LAUTERBORN 1934, S. 117). THURMANN fand es als "ein System von sehr zahlreichen, meist parallel verlaufenden, bisweilen auch gegabelten Ketten, deren er schließlich 160 unterschied, darunter 30 Ketten erster Ordnung." 1836 nahm

THURMANN an, daß die ursprünglich horizontal liegenden Erdschichten, also vor allem Jura-Sedimente, durch eine Kraft von unten "gehoben und dabei zu Gewölben (voutes) emporgehoben wurden. Es gibt Täler, in denen "jede Felsen-seite ein halbes Schichtengewölbe bildet", als ob die Mitte eines Gewölbes ein-brach und zum Tale wurde (so J. G. EBEL zitiert bei R. LAUTERBORN 1934, S. 117/118). In einer posthumen Arbeit hat der 1855 gestorbene THURMANN allerdings Faltung durch Seitendruck angenommen.

Da es in vielen weiteren Gebirgen, auch in Mittelgebirgen, magmatische Gestei-ne gibt, wurde allein aus ihrer Existenz abgeleitet, daß sie etwa den Harz, den Thüringer Wald, das Erzgebirge, ja sogar die Oberlausitz an der Lausitzer Überschiebung hochgehoben haben (O. WAGENBRETH 1979 a). Es wurde **in allen Gebir-gen nach den vulkanischen Gesteinen gesucht**, denen man **die Gebirgs-hebung zuschreiben** konnte (O. WAGENBRETH 1967). In Sachsen sah der Leipziger Professor NAUMANN auch im Sächsischen Granulitgebirge das Ergeb-nis von Magmaaufstieg. Die Hebungstheorie wandte NAUMANN dann auch auf andere isolierte, mehr oder weniger ringförmige Granitvorkommen in Sachsen an, so auf das Massiv des Kirchberger Granit im westlichen Erzgebirge (O. WAGEN-BRETH 1979 b). Deutlich wurde: Mit der Hebung sollte Gesteinsmaterial aus größerer Erdtiefe nach oben gebracht worden sein und wurde durch die nachfol-gende Abtragung immer weiter freigelegt und es gab also einen Blick so einen anzunehmenden Blick in die Erdtiefe. Damit wurde einiges von den in der Tiefe sich abspielenden Vorgängen erfaßt. Ob es neben Hebungen auch eigenständige Senkungen gibt, wurde etwa 1863 von VON SECKENDORFF diskutiert. Da man nicht die Kraft nachweisen könne, welche die gehobenen Gesteine an ihren Platz brachte, so habe nach VON SECKENDORFF die Hebungstheorie nicht mehr Wert als eine "unbegründete Senkungstheorie", die auch manches erklären könne.

In den USA hat HENRY DARWIN ROGERS (G. P. M. 1963 a) für die Appalachen nachgewiesen, daß die klaren, vorzugsweise nach Südosten gerichteten Faltenzüge nicht durch Hebung von unten entstanden.

Umfassendere Entwicklungsgedanken am Anfang des 19. Jahr-hunderts

Spekulationen über den möglichen Anfang der irdischen Entwicklung gab es noch manche. So dachte auch JOHANN LUDWIG HEIM (1812, S. 144), wie die geolo-gische Entwicklung mit dem Beginn der Rotation der Erde um die Sonne begonnen hatte und sah die Bildung wie Entwicklung einer Kruste als Sonderfall solcher Vorgänge auf Himmelskörpern überhaupt. Die Entstehung der Erdkruste wurde

als chemischer Prozeß gesehen. Dann kamen zu "den chemischen Wirkungen der fluiden" "die mechanischen der soliden Massen hinzu. Es begann eine neues Spiel einander bald aufregender, bald aufhebender Massen.

Von dieser Veränderung werden auf allen Planeten Spuren anzutreffen, natürlich aber auf einem jeden, nach Maasgabe seiner physischen Beschaffenheit, verschieden seyn". Auf der Erde kamen die neuen mechanischen Kräfte mit der "Scheidung zwischen den primitiven und den Flözgebürgen zum Vorschein. Hier sieht man noch auf der primitiven Seite - ruhige reine Absonderung und Bildung der Materien nach chemischen Gesetzen - während daß auf der andern gleich im ersten Flözlager, die mechanischen Kräfte, mit größter Gewalt hervorbrechen". Aus dem "gasförmigen Fluidum" sollten unmittelbar feste mineralische Substanzen entstehen können. In der Kirche von Torre del Greco hereingeflossene Lava des Vesuv habe Dämpfe abgegeben und aus diesen entstanden an den Wänden Pyroxenkristalle (J. L. HEIM 1812, S. 319).

Schwerer Abschied von der Sintflut, in England und auch anderswo

Unter all den aus dem Altertum überlieferten Sagen und Mythen wurden wenige so lange für bare Münze genommen wie die von der wegen Gottes Strafgericht die ganze Erde etliche Zeit bedeckende 'Sintflut und der Rettung der einzigen, für eine neue Menschheit zuständigen Menschenfamilie unter Noah in einer 'Arche'. Mit allen geretteten Tieren sollte dieses Gefährt am Berge Ararat nach dem Rückgang der Gewässer gestrandet sein und wurden von großer Höhe her die Festländer neu besiedelt. Wie gläubig und unkritisch nahm die Mehrzahl auch gebildeter Menschen, ja nahmen auch Gelehrte das hin! Man könnte an so viel Kritiklosigkeit verzweifeln! Am 27. September 1829 erstieg der Dorpater Professor und in Hochgebirgen erfahrene FRIEDRICH PARROT mit einigen Gefährten den wegen seiner Lage in einer niedrigeren Umgebung so eindrucksvollen, 5127 m hohen **Ararat**. PARROT, Naturwissenschaftler, schrieb (in Ausgabe 1985, S. 138/139) offenbar hingebungsvoll gläubig über die Abstiegsroute: "... wie vor 4000 Jahren der Erzvater Noah "mit seinen Söhnen und mit seinem Weibe und mit seiner Söhne Weiber" vom Berge Ararat herabgezogen war, und brachten des Tages nach unserer Heimkehr in sonntäglicher Andacht dem Herrn die Opfer unseres Dankes vielleicht nicht unweit von der Stelle dar, wo Noah "dem Herrn einen Altar gebaut und Brandopfer darauf geopfert hat","

'Englische Geologen gehörten trotz des in Edinburgh wirkenden HUTTON wohl zu den letzten vom Fach, welche sich von der einen Flut und gar der Sintflut verab-



Abbildung 43: Bei BUCKLANDs.

schiedeten (D. R. DEAN 1981). Die Fossilien schienen dem führenden WILLIAM BUCKLAND dafür zu sprechen und er verband noch 1820 Schöpfung und 'Flood' in "The Connexion of Geology with Religion Explained." Wie andere englische Gelehrte, so die Geologen SEDGWICK und CONYBEARE war BUCKLAND geweihter Geistlicher der anglikanischen Kirche. Aber um 1830 war der Druck der Tatsachen so groß, daß der Flut Farewell gesagt wurde, bei SEDGWICK 1831, bei BUCKLAND 1836. BUCKLAND war dennoch 1845 Dean of Westminster geworden. Später fiel BUCKLAND in Demenz und starb 1856.

Der Aktualismus/Uniformitarismus zerstörte die "Balance" zwischen Naturtheologie und Katastrophentheorie mit der noch möglichen Sintflut, vor allem auch in den USA (PH. J. LAWRENCE 1972, S. 29).

Der Kapitän des Schiffes 'Beagle' bei dessen Weltumseglung 1831 - 1836 hat in einem Zusatz zu seinem Bericht über diese Reise 1839 sich noch einmal zur Auffassung der erdweiten 'Deluge' bekannt. Nachdem er selbst Zweifel hatte, hätten ihn die "immense tracts of land composed, solely, of fossils shells, bones ,and an earth which looked like dried sandy mud<. - ..." und weiteres von der Richtigkeit des Bibelberichtes überzeugt. FITZ-ROY war kein Geologe. Und der naturwissenschaftliche Begleiter der Reise CHARLES DARWIN sah die Dinge anders, war Anhänger des Katastrophen ablehnenden LYELL, und bei aller Ausdehnung von Meeren in der Vergangenheit gab es nie eine erdweite Flut. Auch ohne die große Flut suchten viele Bibel und Geologie zu versöhnen. Viel mehr als etwa in Deutschland haben Englands Dichter sich mit den von der Geologie aufgeworfenen Ansichten auseinandergesetzt. Und Poeten jammerten noch lange über den beschädigten Glauben, wollten ihn retten. RUSKIN jammerte über die "dreadful

Hammers" (zit. bei D. R. DEAN 1981, S. 123). Die Natur erschien der Dichterin BRONTE mehr und mehr 'höllisch' (S. 121).

In Deutschland waren Gelehrte wohl weniger sintflutfreudig, aber verrückt ist, was 1841, 8 Jahre nach LYELLS 'Principles ...', im 178. "Theil" von KRÜNITZ' vielbändiger **Encyklopädie** unter dem Stichwort "Sündfluth" S. 426 ff. zu lesen ist. Es wird vorgestellt, was in der Bibel zu lesen ist! Die Arche wäre entgegen Zweifeln möglich gewesen, weil ein holländischer Mennonist ein solches Schiff nachgebaut habe, und dieses "weit mehr als die gewöhnlichen Schiffe tragen könne" (S. 428). Wie der Artikelschreiber in KRÜNITZ' Encykopädie zu wissen vorgab: "soll das unterste Stockwerk für die vierfüßigen Thiere, das mittlere für den Proviant, und das oberste für Noah und seine Familie und das Geflügel und dessen Futter bestimmt gewesen sein" (S. 427). Und zum Einzug und Aufenthalt der Tiere in der Arche ist "nichts anderes anzunehmen, als daß nach dem Willen des Höchsten die Thiere zu der Zeit der Sündfluth dem Kasten oder der Arche näher gebracht worden sind, indem der Instinkt sie aus allen Gegenden dahin trieb oder vielmehr die einzelnen dazu ausersehenen Gattungen, die am Leben bleiben sollten, dieses löset natürlich alle Zweifel, und löset sie auch bei dem Proviant, und giebt den reißenden Thieren auf die Dauer der Sündfluth die nöthige Sanftmuth, um nicht den übrigen gefährlich zu werden" (S. 429). Und wie noch vor Jahrzehnten heißt es (S. 431): "Zur Bestätigung der Mosaischen Erzählung können auch die Versteinerungen und Gerippe von Sethieren, die auf den Gipfeln und im Innern der höchsten Berge; so auch die Reste animalischer Körper aus den wärmsten Ländern, die in den kältesten gefunden worden, dienen." Fossile Tiere, die als ausgestorben gelten müssen, waren vor der "Sündfluth" vorhanden, aber von denen hat "man kein Exemplar mit in die Arche genommen" (S. 430). Gott hat also Auslesen betrieben. "Indessen", heißt es noch (S. 431), "mag auch die Sache seyn, welche sie will, so bleibe es doch wahrscheinlich, daß eine oder mehrere Ueberschwemmungen die ganzen Länder bedeckten, wirklich Statt gefunden haben, da nicht bloß die Entdeckungen der Naturforscher, sondern auch die Gestalt der Erde, die Bildung der Meeresküsten, und die an ihnen bemerkbare, in den Meerengen correspondirenden Erdschichten auf dergleichen gewaltige Revolutionen unseres Planeten hinweisen."

Die anerkannte Wissenschaft hatte also ihre Widersacher, und das nach wie vor, siehe HANS-JOACHIM ZILLMER z. B. 2008.

Die ganz andere Auffassung als der Katastrophismus: Der Uniformitarismus oder Aktualismus

Was ist Aktualismus? Wer vertrat sie explizit?

Die schon bei HUTTON der Sache nach vorhandene Auffassung des Uniformitarismus oder Aktualismus, daß auf der Erde stets dieselben 'Kräfte' wirkten, wurde vor allem ab dem Ende der 20-er Jahre des 19. Jh. wiederbegründet. Außer HUTTON hatten noch etliche Forscher mehr oder weniger klar und bewußt diese Auffassung vertreten. Äußerungen im Sinne des Aktualismus gab im 18. Jh. G. ARDUINO, der zitiert wird mit dem Satze (bei F. RODORICO 1970, S. 234): "With the sole guidance of our practical knowledge of those physical agents which we see actually used in the continous workings of nature, and of our knowledge of the respective effects induced by the same workings, we can with reasonable basis surmise what the forces were which acted even in the remotest times."

Ein klarer Verkünder aktualistischen Denkens in Preußen war E. G. F. WREDE, in seinem Buche "Geologische Resultate aus Beobachtungen über einen Theil der südbaltischen Länder" von 1794. Der aus Pommern stammende WREDE war Prediger in Hasenitz in Vorpommern gewesen, wurde Professor am Friedrich-Wilhelm-Gymnasium in Berlin und 1806 Professor der Mathematik an der Universität Königsberg. WREDE übersetzte auch die ebenfalls mit einem ruhigen Erdgeschichtsablauf rechnende "Hydrogeologie" des manchmal zu phantasievollen französischen Naturforschers JEAN BAPTISTE DE LAMARCK. Der deutsche Übersetzer WREDE lobte LAMARCK im Vorwort (S. VI) seiner Übersetzung: " ... hat als Zoologe einen bleibenden Rang unter den Gelehrten in Frankreich; überdies scheint er ein sehr aufgeklärter mann zu seyn, der sich, in Absicht auf Naturforschung, von allen theosophischen und teleologischen Einbildungen frey gemacht hat."

JOHANN FRIEDRICH WILHELM von CHARPENTIER meinte 1804 mit seiner Beschreibung der Granitklippen auf den Höhen des Riesengebirges (S. 48): "Wer gewaltsame Revolutionen liebt, ist freylich mit der Antwort bald fertig; denn mit diesen versetzt man sehr leicht Berge und ganze Gebirge, und stürzt alles zusammen, was einem im Wege steht: mir scheint es jedoch, als ob man die Erklärung dieser eigenen Erscheinung in dem allenthalben langsamen gange der Natur finden könnte". Bei einer gewaltsamen Revolution hätten alle Granitklippen zusammenstürzen müssen, wären die Gesteinsblöcke nicht in der Nähe der Klippen und an den Berghängen liegengeblieben.

WERNERS Neptunismus war eine auf gegenwärtige Erscheinungen nicht zurückführbare

Ansicht, aber der ruhige Ablauf der irreversiblen irdischen Veränderungen bereitete wohl den Weg für die Akzeptierung aktualistischer Ansichten (L. PAGE 1969).

Einer der ersten bewußt aktualistisch Denkenden: Der Geologie-Amateur VON HOFF

Schon zu den bewußten neueren Begründern der aktualistischen Auffassung gehörte in Deutschland KARL ERNST ADOLF VON HOFF (K. ANDRÉE 1930, E. KAISER 1931, R. MÖLLER 1972). Geboren am 1. November 1771 in Gotha, einer der Thüringer Residenzstädte, hatte VON HOFF in Jena und Göttingen Jura und auch Naturwissenschaften studiert und übernahm dann am Hofe von Gotha höhere Staatsämter. Besonders eingespannt war VON HOFF (2012; K. DREYSIG et al. 2012, S. 19 u. a.) als Beamter in der Zeit der Revolutionskriege und NAPOLEONs. Die 1792 gegen Frankreich in Gotha durchmarschierenden Preußen waren ihm bald zuwider und die Franzosen sah er lieber, würden sich besser benehmen. Nach der Niederlage Preußens bei Jena und Auerstedt 1806 konnte das Gothaer Land zum neutralen Gebiet erklärt werden, blieb von Plünderungen der Franzosen verschont, und kam zum Rheinbund. 1806 rückte NAPOLEON gegen das noch mit Preußen verbündete Rußland vor und VON HOFF (2012) hatte zu diplomatischen Gesprächen etwa mit NAPOLEONs Minister TALLEYRAND nach Posen und nach Warschau zu fahren und hielt sich 1807 lange in Berlin auf, war in Königsberg und mußte nach Dresden. Nach der Völkerschlacht von Leipzig im Oktober 1813 kamen die wenig erfreuenden, plündernden, ja bis Totschlägen ausgreifenden Bayern und Württemberger. VON HOFFs Neigung hatte schon lange den **Naturwissenschaften** gehört, der Geologie zumal, und er fand auch freie Zeit, sich damit zu befassen, So durchwanderte er den nahen Thüringer Wald. Zusammen mit dem Gothaer Beamten CHRISTIAN WILHELM JACOBS veröffentlichte VON HOFF in 2 'Hälften' 1807 und 1812 'Der Thüringer Wald - besonders für Reisende geschilder. In Auswahl erschien das Buch, in einem Band, 1987 in Leipzig. Eingehend werden die Gesteine, 'Steinarten', 'Gebirgsarten'. 'Naturprodukte des Mineralreichs' (s. in Ausgabe 1987, S. 34 ff.) Beruflich war VON HOFF mit Wissenschaft verbunden als zeitweiliger Kurator der Sternwarte auf dem Seeberg bei Gotha und als Regierungsbevollmächtigter seines thüringischen Staates für die von allen thüringischen Fürstentümern unterhaltene Universität Jena. Die Anregung, sich mit gegenwärtig abspielenden Vorgängen auf der Erdkruste zu befassen erhielt VON HOFF 1807 in Berlin. In der dortigen Gesellschaft der Naturforschenden Freunde war er zum Ehrenmitglied ernannt worden. Hier erhielt er Kenntnis von der raschen Bildung einer neuen Insel in der Havel bei Pichelsdorf. Das gab ihm die Idee, Berichte über solche natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche zu sammeln und auszuwerten. Dazu ging er noch einmal nach Göttingen. Die Jahre

vor und nach den Befreiungskriegen ließen ihm wenig Zeit. Seine Gedanken über die Rolle der gegenwärtigen Erscheinungen für die Deutung der erdgeschichtlichen Vergangenheit trug er auch in Göttingen vor, so über "die durch Alluvium hervorgebrachten Veränderungen der Erdoberfläche" (K. ANDRÉE 1930, E. KAISER 1931). Zum Freundeskreis von VON HOFF gehörte auch der Gothaer Beamte und Paläontologe VON SCHLOTHEIM, der die scharfen Trennungen fossiler Floren und Faunen durch Katastrophen nicht fand (B. VON FREYBERG 1975). Der führende Göttinger Naturforscher BLUMENBACH, der die Ideen HUTTONs dem wissenschaftlich interessierten deutschen Publikum vorgestellt hatte, veranlaßte die Göttinger Kgl. Societät der Wissenschaften 1818 zu dem Preisausschreiben: "Die gründlichste und umfassendste Untersuchung über die Veränderungen der Erdoberfläche, welche in der Geschichte sich nachweisen lassen, und die Anwendung, welche man von ihrer Kunde bey Erforschung der Erdrevolutionen, die ausser dem Gebiete der Geschichte liegen, machen kann". VON HOFF lieferte die anerkannteste Antwort auf das Göttinger Preisausschreiben in seinem mehrbändigen Werk **"Geschichte der durch Überlieferung nachgewiesenen natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche"**, dessen erster Band im Jahre 1822 erschien. Der zweite Band folgte 1826, der dritte 1834. Ein 4. und ein 5. Band wurden 1840 und 1841 aus dem Nachlaß des am 24. Mai 1837 gestorbenen VON HOFF von dem Kartographen H. K. W. BERGHAUS herausgegeben, VON HOFF (in 2012, S. 307) konnte nur in Nebentätigkeit seine geologischen Auffassungen niederschreiben und berichtet von 1820: "Meine Nebenstunden waren in diesem Jahr ganz und ausschließlich der Göttingischen Preisfrage gewidmet" und "Der angestregten Arbeit an der Beantwortung der Göttinger Preisfrage, der oft halbe Nächte gewidmet wurden, hatte Einfluß auf meine Gesundheit gehabt. Mein altes Übel, hartnäckige Verstopfung des Unterleibs, stellte sich ... wieder ein." Dieselbe Auffassung wie die von VON HOFFs hatte unterdessen LYELL umfassend ausgearbeitet und sie durchdrang bald die Geologie (K. ANDRÉE 1930). Aus Berichten beziehungsweise Beobachtungen in seiner Thüringer Heimat sowie vor allem aus der Lektüre von Zeitschriften wie von historischen Werken seit dem Altertum hatte VON HOFF zahlreiche Zeugnisse heutiger Veränderungen auf der Erdoberfläche zusammengetragen, von Erdbeben, Vulkanausbrüchen, auch Meteoritenfällen, um daraus auf vergangene Veränderungen zu schließen. Ausgehend von der ihm 1807 bekannt gewordenen neuen Havelinsel beschrieb er, wie 1784 bei Abukir in Ägypten ein neuer See entstanden war, wie die Verbindung zwischen der Nordsee und der Zuidersee aufriß, wie es 1688 bei einem Erdbeben Landverluste bei Smyrna gab, 1819 ein großer Felsen im Tale der Weißen Elster im westlichen Sachsen zwischen Plauen im Vogtland und Elsterberg niederging und das Tal beeinflusste. Den Transport der erratischen Blöcke führte VON HOFF allerdings weiterhin auf eine Flut zurück, die bis an die Höhen des Thüringer Waldes vorgedrungen war. Mit den gegenwärtig be-

obachtbaren Ereignissen glaubte er nicht alle Vergangenheit erklärt, aber eben viel und meinte: "Diese Gränze aber aufzusuchen, das scheint uns das vernunftgemässe Ziel zu seyn, welches zu erreichen die Geologen für jetzt streben müssen".

Einschub: Weiteres zu GOETHEs Ansichten in der Geologie - Zusammenfassung

GOETHE dachte im wesentlichen aktualistisch wie der ihm auch persönlich bekannte Gothaer VON HOFF. GOETHE konnte als Dichter diese Ansicht sogar sehr knapp und dennoch treffend formulieren, indem er in der 'Klassischen Walpurgisnacht' im Zweiten Teile des "Faust" den Thales den Anaxagoras belehrt:

"Nie war Natur und ihr lebend'ges Fließen

Auf Tag und Nacht und Stunden angewiesen.

Sie bildet regelnd jegliche Gestalt,

Und selbst im Großen ist es nicht Gewalt".

GOETHE war und blieb damit auch Anhänger WERNERs, der zwar einst andere Zustände mit einem Urmeer auf der Erde annahm, aber ruhig, friedlich, langsam solle es immer zugegangen sein. GOETHE sah wie WERNER ebenfalls im Granit das erste und ursprüngliche Gestein. GOETHE hat seine als geologisch zu betrachtenden Ansichten auch nicht nur in einer Art Fachschriften niedergelegt, sondern läßt Gestalten in seinen Dichtwerken, aber vor allem in der klassischen Walpurgisnacht in "Faust II" die verschiedenen Meinungen ausdrücken und kann dabei als fast unparteiisch über den Dialogpartnern sich zurückhalten. Aber auch etwa in den "Zahmen Xenien" hat GOETHE sich geäußert (F. KRAFFT 2009). In der klassischen Walpurgisnacht läßt Seismos über Nacht ein Gebirge entstehen, das Oreas als nicht existentes Wahngelbilde ansieht, gar nicht vorhanden: "... So toll hätt ich mirs nicht gedacht / Ein solch Gebirg in Einer Nacht / Das heiß ich frischen Hexenritt / Die bringen ihren Blockberg mit." Ohne Kenntniss der geologischen Diskussionen in den ersten Jahrzehnten des 19. Jahrzehnt ist GOETHEs "Faust II" in solche Passagen heute unverständlich.

GOETHEs (W. S. BALDRIDGE 1984,, H. HÖLDER 1985, M. SEMPER 1911) teilweise eher unbestimmten Ansichten in der Geologie gingen gewiß nur in wenigen eher vagen Äußerungen über die zeitgenössischen Vorstellungen hinaus, so bei der Annahme einstiger ausgedehnter Vergletscherungen. Bei GOETHE finden sich andererseits wenigstens in Andeutungen Gedanken über fast alles, was das geologische Denken um die Wende vom 18. zum 19. Jh. bestimmte. Nach-

dem GOETHE im November 1775 nach Weimar gekommen war, hatte er sich hier bald mit dem daniederliegenden Bergwesen zu befassen. Im Mai und wieder im Juli 1776 wurde etwa Ilmenau, Zentrum des weimarischen Bergwesens, besucht. Der bergmännische und geologische Berater war ihm Bergrat VOIGT. Auf der Italienreise bestieg GOETHE 1786 dreimal mit Führung den Vesuv und erlebte hier auch, wie aus dem Krater Steine und Asche ausgeworfen wurden. Dennoch blieb ihm der Plutonismus fremd. Im Jahre 1789 besuchte WERNER Jena. In den Jahren 1814 beziehungsweise 1817 las GOETHE die Abhandlungen von SCHLOTHEIM über die Abfolge in der Pflanzenwelt und lernte VON SCHLOTHEIM auch persönlich kennen (H.HÖLDER 1985). Zu der "Vorstellung einer sukzessiven Schöpfung, welche jetzt ihre Bekenner hat", wie GOETHE 1817 an TAUSCHER schrieb, konnte er sich offensichtlich nur schrittweise hinwenden. GOETHE las interessiert auch CUVIER. Nach GOETHE sollte sich die Erde jedoch im ruhigen Gang gestaltet haben. GOETHE, der Bekannte von VON HOFF, dem einen Kritiker der Katastrophentheorie. Ein wichtiger geologischer Berater wurde ihm namentlich im letzten Lebensjahrzehnt der böhmische Graf VON STERNBERG, der namentlich Paläobotaniker war. STERNBERG besuchte GOETHE seit 1822 mehrfach in Weimar. Durch VON STERNBERG wurde GOETHE für die "sukzessiven Epochen" der Erdgeschichte interessiert, übernahm die Zeitvorstellung. In seiner Sammlung vereinte GOETHE über 18.000 Specimen. Nach GOETHE benannt wurde das Mineral **Goethit**, $\text{FeO} \cdot \text{OH}$.

Weitere zum Aktualismus führende Männer kurz vor LYELL

Der englische Ökonom und Geologe GEORGE POULETT SCROPE stellte in den 20er Jahren des 19. Jh. in der Auvergne in Frankreich fest, daß die dortigen Vulkane nicht bei einem einmaligen Ereignis entstanden waren, sondern zu verschiedenen Zeiten. Mächtige Süßwassersedimente waren unter dem Basalt bewahrt geblieben, was auch mit einer alles vernichtenden Katastrophe schwer vereinbar war. Die ältere Vulkantätigkeit in der Auvergne erschien als nicht stärker als die der Gegenwart, also gab es wenigstens seit der Zeit der Vulkanbildung in der Auvergne keine Abnahme der vulkanischen Aktivität (L. G. WILSON 1980). CONSTANT PRÉVOST sah die Meeresschichten im Pariser Becken nicht von einer Landoberfläche mit Tälern und Senken unterlagert, die von der plötzlichen Katastrophe hätte zugedeckt werden müssen. Es gab hier auch zeitgleiche Meeres- und Süßwasserablagerungen, was für eine schwankende Küstenlinie, nicht aber für eine plötzliche Überflutung zeugte.

CHARLES LYELL - Hauptbegründer des Uniformitarismus / Aktualismus

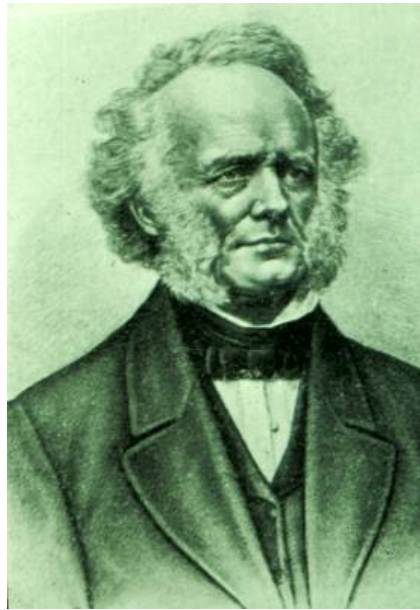


Abbildung 44: LYELL.

Der hauptsächliche Begründer des Aktualismus wurde **CHARLES LYELL** (E. B. BAILEY 1962, Mrs. LYELL 1881, L. G. WILSON 1972, G. ZIRNSTEIN 1980).

Dieser führende Geologe wurde am 14. November 1797 auf dem Familiengute der LYELLS in Kinnordy in der hügeligen ost-schottischen Grafschaft Forfarshire geboren. Der Vater, der auch den Vornamen CHARLES trug, befaßte sich mit Nautrwissenschaften, lieferte eigene Beiträge in der Entomologie und bei der Erforschung der niederen Pflanzen. Wenige Monate nach der Geburt des späteren Geologen LYELL zog die Familie in die Nähe von Southampton an der Südküste von England, wo sie nahe des Waldgebietes New Forest eine Besitzung, Bartley Lodge, pachteten. Im Jahre 1816 wurde LYELL Student am Exeter College in Oxford, wobei er den Beruf eines Juristen ins Auge faßte. Angeregt durch Lektüre, etwa durch ROBERT BAKEWELLS sich an HUTTON anlehrende "Introduction to Geology" (1813), entwickelte LYELL Interesse für Geologie. In Oxford wirkte auch BUCKLAND. Eine Familienreise 1818 nach der Schweiz und Nord-Italien ließ LYELL den Blick für geologische Erscheinungen in der Landschaft gewinnen und in Paris beeindruckte ihn die Sammlung CUVIERs. Im März 1819 wurde LYELL auch Mitglied der Londoner Geologischen Gesellschaft, wo sich auch andere Forscher zusammenfanden, welche die Geologie neben einem bürgerlichen Beruf ausübten oder als begüterte Privatleute Wissenschaft betrieben. In Paris lernte er die führenden Forscher in Geologie und Paläontologie kennen, bereiste auch in Begleitung von CONSTANT PRÉVOST England, zusammen mit BUCKLAND



Abbildung 45: Auvergne, Mt. Dore.

Schottland. LYELL arbeitete ab 1825 einige Jahre auch als Jurist, publizierte aber weiter über geologische Themen. In dieser Zeit festigte sich seine Überzeugung von der prinzipiellen Gleichheit der Vorgänge auf der Erde in Vergangenheit und Gegenwart. Um Beweise für diese Auffassung zu gewinnen, unternahm er weitere Reisen in Europa, so 1828 bis 1829 in die ihn besonders beeindruckende Auvergne in Frankreich und nach Unteritalien und Sizilien, teilweise in Begleitung von MURCHISON, und immer begleitet von seiner Frau.

In Frankreich fand er Beispiele für die **Gleichheit von Sedimenten** aus sehr **verschiedenen Zeitaltern**, etwa von jüngeren Kalksteinen in der Limagne, die den jurassischen englischen Oolithen glichen. Der physische Charakter von Gesteinen war also nicht zeitgebunden. Dieselben Bedingungen, die zur Bildung derselben Gesteine führten, konnten zu verschiedenen Zeitaltern wiederkehren (L. G. WILSON 1980), es gab also eine der Gegenwart wenigstens ähnliche Vergangenheit. Die der Gegenwart in manchen so ähnlichen Süßwasserbildungen in der Auvergne waren andererseits vor der Vulkantätigkeit in diesem Gebiet gebildet worden, waren aber auch teilweise gehoben, auch schräggestellt, etwa im Gebiet von Mont Dore. Besonders interessierten ihn Küsten, die offenbar in geologisch neuerer Zeit gehoben worden waren. Auf der Insel Ischia im Golf von Neapel fand er in einem Lehm in 2600 Fuß Höhe bei einem erloschenen Vulkan fossile Muscheln, die noch im Mittelmeer lebenden Arten angehörten. Junge Hebungen waren also vorhanden. Die Beschäftigung mit Tertiärablagerungen in Frankreich und Italien ließ LYELL erkennen, daß auch diese, oft durch lockere Ablagerungen ausgezeichnete Formation eine lange Zeitdauer aufweist, also die jüngeren Lockermassen eine lange Geschichte in sich bergen. Im Jahre 1829 veröffentlichte er eine Abhandlung über die gleiche Artenzugehörigkeit fossiler und rezenter Süßwasserlebewesen, so von Armleuchterlagen (Chara). Von CUVIER und BRONGNIART im Pariser Becken

beschriebene Süßwasserablagerungen sollten ausschließlich nicht mehr existierende Arten enthalten, was der Katastrophentheorie entsprochen hätte. In schottischen Seen fand LYELL neuzeitliche Kalk - und Mergelablagerungen, die auch in manchen ihrer fossilen Lebewesen denen bei Paris glichen und der prinzipiellen Trennung von Vergangenheit und Gegenwart widersprachen. Auf der Grundlage seiner zahlreichen Kenntnisse verfaßte LYELL schließlich sein für die Geologie und die Vergangenheitsforschung epochemachendes Werk: "**Principles of Geology**: being an attempt to explain the former changes of the earth's surface by reference to causes now in operation" wobei der Zusatztitel später abgeändert wurde in: "...or the modern changes of the earth and its inhabitants". Die erste Auflage des ersten Bandes erschien 1830, der zweite Band 1832, der dritte 1834. Inzwischen war aber der erste Band 1832 in zweiter Auflage erschienen. Das Werk erschien noch in weiteren zehn englischen Auflagen, wobei es auch verändert wurde und auch in einem Bande zusammengefaßt herausgebracht wurde. Die von Zeitgenossen kritisierte (H. VOGELSANG 1867) deutsche Übersetzung von LYELLs 'Principles of Geology...' unter dem Titel "Grundsätze der Geologie oder die neuen Veränderungen der Erde und ihrer Bewohner in Beziehung zu geologischen Erläuterungen" besorgte bis 1842 CARL FRIEDRICH ALEXANDER HARTMANN (M. KOCH 1972), der vor allem im Bergbau tätig war. Von LYELL stammen noch weitere Arbeiten und auch Bücher. Im 1831 übernahm er auch den Lehrstuhl für Geologie am neu gegründeten King's College in London, gab ihn aber im Interesse seiner freien Zeiteinteilung wieder auf. Auf zahlreichen weiteren Reisen, teilweise zusammen mit seiner Ehefrau MARY geborene HORNER, suchte er weitere Belege für den Aktualismus. Im Jahre 1831 reiste er etwa in die Eifel, im Hochzeitsjahr 1832 nach dem Oberrheingebiet und nach Oberitalien, 1833 wieder ins Rheintal und nach Süd-Deutschland, 1834 nach Dänemark und Skandinavien, 1835 in die Schweiz, 1837 nach Dänemark und Norwegen. Beträchtliche Teile von Nord-Amerika bereiste er 1841 / 1842 und nochmals 1845 / 1846, von zwei kürzeren Reisen abgesehen. Im Jahre 1850 unternahm LYELL eine Exkursion nach Mitteleuropa und besuchte auch das Elbsandsteingebirge. Unter den weiteren Reisen sei die nach den Kanarischen Inseln 1853 / 1854 erwähnt. Ab 1857 besuchte er etwa in Belgien Höhlen, in denen Reste vorgeschichtlicher Menschen gefunden worden war, da ihn das "Alter des Menschengeschlechts" auf der Erde interessierte. Der Weg zur Geologie wurde von LYELL vor allem in privaten Studien und in der Diskussion mit seinen oft ebenso wie er selbst durch private Interesse in die Wissenschaft gekommenen Kollegen gefunden. Nicht zu Unrecht hat etwa H. VOGELSANG (1867, S. 107) aber auch den Vorwurf erhoben, daß LYELL wie die meisten englischen Geologen kein gründlicher Gesteinskenner war und sich daraus manche Mängel ergaben. LYELL, zuletzt verwitwet, fast blind, und mit Gedanken an das Leben nach dem Tod /A. DESMOND et al. 1994, S. 688), starb am 22. Februar 1875 in London.

Grundsätzliches zu Ansichten bei LYELL

Grundgedanken von LYELL waren: Zumindestens die um Exaktheit bemühte Geologie solle die dunklen Anfänge der Erde nicht zu ihrem Wissensbereich zählen. Kosmologie und Geologie galten damit als voneinander geschieden. In jenem Zeitraum, welcher geologischer Forschung zugänglich ist, sollte die Erdkruste stets prinzipiell von im wesentlichen gleichen Faktoren gestaltet worden sein und konnten damit aus der Gegenwart die Zeugnisse aus der Vergangenheit beurteilt werden und war auch die Vergangenheit der Schlüssel zur Gegenwart. Die Vorgänge auf der Erdoberfläche waren also zu allen Zeiten gleichartig, 'uniform', weshalb LYELLs prinzipielle Auffassung vor allem in England auch als 'Uniformitarismus' bezeichnet wurde. In Deutschland setzte sich der Terminus 'Aktualismus' durch. Eine Voraussetzung, eine Prämisse für LYELLs Aktualismus waren wie bei HUTTON **sehr lange Zeiträume**. Er brachte den Vergleich mit dem Bau der Pyramiden in Ägypten. Wurde angenommen, daß die Pyramiden in wenigen Wochen erbaut wurden, so mußte an übermenschliche Erbauer gedacht werden. Wurde Jahre oder gar Jahrzehnte an den Pyramiden gebaut, dann konnten sie auch Stein für Stein von Menschen mit den technischen Hilfsmittel des Alten Reiches der Ägypter geschaffen worden sein. Die ständige Langzeitwirkung verschiedenster Faktoren auf der Erdkruste sollte alle Formen hervorgebracht haben. Die Geschehnisse auf der Erdoberfläche sollten zum einen ablaufen gemäß des römischen Dichters OVID Ausspruch: "Steter Tropfen höhlt den Stein!" Wenn die Erdkruste im Laufe langer Zeiträume bis zum gegenwärtigen Formenreichtum ohne die exzeptionellen Kraftäußerungen der Katastrophisten gestaltet wurde, mußte jedoch ständige Veränderung angenommen werden. Es ergab sich damit gerade bei den aktualistischen Geologen das Bild von der immer 'ruhelosen Erde'. Jedoch mußte auch weiterhin bedacht, daß ein einziges stärkeres Erdbeben oder auch eine große Sturmflut in kurzer Zeit Veränderungen herbeiführte, welche die alltäglichen Ereignisse an Wirkung um das Vielfache übertraf. 'Katastrophen' wenigstens von der gewohnten, noch gegenwärtig vorkommenden Art wurden also in der aktualistische Bild von der Erdentwicklung einbezogen, unterschieden sich nur im Ausmaß von den Kataklysmen der Katastrophisten. Eine Grenzziehung war nicht unumstritten.

Zentral in LYELLs geologischem Weltbild war der Wechsel von Meer und Festland, durch **Hebung und Senkung der Kontinente und des Meeresgrundes**, auch durch die **Zerstörung** und damit das Verschwinden der Kontinente. Die Hebung sollte langsam vor sich gehen, gewissermaßen Meter für Meter, von einem normalen Erdbeben der gewohnten Größenordnung zum nächsten oder gar ohne irgendwelche Erschütterung. Selbst für Menschenbauten

katastrophale Erdbeben hatten meistens nur geringe Hebungen oder Senkungen

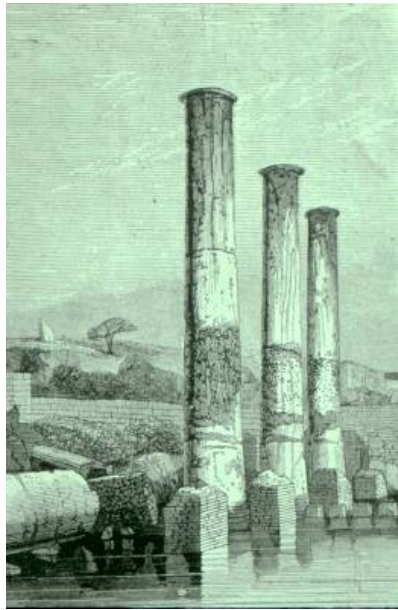


Abbildung 46: Pozzuoli. LYELL.

zur Folge Zur Zeit, als LYELL die "Principles ..." erarbeitete, war schon manches über Landsenkung, Landüberflutung und Veränderungen bekannt. LYELL sah als ein **Musterbeispiel** von langsamer Senkung und Hebung in den Säulen des **Serapis-Tempels von Pozzuoli** nördlich von Neapel. Ein Bild der erhaltenen Säulen diente auch als Frontispiece des ersten Bandes der 'Principles...'

Die unteren Teile der drei erhaltenen Säulen waren weitgehend von Schlamm umgeben und wurden 1750, als man nach Marmor suchte, wieder ausgegraben (E. SUESS 1888). Einst war der Tempel offenbar auf Festland nahe der Meeresküste erbaut worden. In einer bestimmten Höhe befinden sich nunmehr an diesen weißen Säulen die Spuren der kalkzersetzenden Tätigkeit von Bohrmuscheln/Pholaden. Bis dorthin, so durfte gedacht werden, waren die Säulen einmal von Meerwasser bedeckt worden. Wie das geschah, wurde viel debattiert. Aber etwa auch FRIEDRICH HOFFMANN (1831, S. 374 ff.) brachte überzeugende Argumente dafür, daß die Säulen des aufgegebenen und im 18. Jh. ausgegrabenen Tempels wirklich für etliche Jahrhunderte unter Meeresniveau geraten waren. Die erneute Heraushebung geschah wohl im Zusammenhang mit Erdbewegungen, die urkundlich nachgewiesen wurden, weil in dem Ergebnis der Heraushebung Neuland am Meer mit Urkunden verteilt werden konnte und im Zusammenhang mit dieser Hebung stand wohl auch der Ausbruch des Monte Nuovo 1538. Eine offenbar ständige, die Gesteinslagerung nicht störende **Landhebung** an der Südküste von **Skandinavien** wurde schon von OLOF CELSUS beachtet, der auch den seinerzeitigen



Abbildung 47: Tempel Pozzuoli 1990.

Normalwasserstand durch Zeichen markiert hatte, in Felsen eingeritzte Markierungen, was nun im 19. Jh. LYELL bei seinem Besuch dort 1834 erlaubte, die Landhebung der letzten Jahrzehnte, seit CELSUS, abzuschätzen. Zudem verwiesen ältere Leute LYELL auf Wiesen, an deren Stelle sie in jüngeren Jahren noch hatten Segelboote gleiten sehen und auf in ihrer Jugenderinnerung noch meerbedeckte einzelne Felsen. Mitgehoben waren nicht nur Muschelschalen, sondern auch vorgeschichtliche Gegenstände. An der südlichen Ostseeküste stand dem Landsenkung gegenüber. Auch das schien zu bezeugen, daß allmähliche Landhebung und anderswo Landsenkung weit verbreitet sind.

Ein ganz wichtiger exogener Vorgang der Erdkrustenformung war bei LYELL die **Küstenzerstörung** durch die **Meeresbrandung**. Das Meer sollte durch die Brandung immer weiter in Festlandsküsten eindringen, schließlich bei seinem Vordringen ganze Festländer beseitigen.

Das Meer mit seinen Wogen war damit einer der wichtigsten Geltungsfaktoren des Festlandes. Meeresausbreitung war etwa 1820 nachgewiesen worden, als an der Westküste der größten der Orkney-Inseln untermeerisch Torfmoorreste und die Reste kleiner Bäume gefunden wurden (W. G. WATT 1820). Nach einiger Zeit deckte die See diese Überreste wieder zu. Die Ausmaße von Küstenzerstörung waren jedoch von LYELL enorm überschätzt gewesen.

Auf dem **Festland** sollten aber auch zahlreiche eigenständige Vorgänge ablaufen. **Abtragung** war auch bekannt, und LYELLs Schwiegervater LEONHARD HORN, der auch etwa Geologie betrieb, untersuchte während eines längeren Aufenthaltes in Bonn die **Sedimentführung des Rheins** bei niederem und höherem Pegelstand. Maß war der Gehalt an Feststoff, im Gewichtsmaß 'Gran', in einem "Kubikfuß", also einer Raumeinheit, von Rheinwasser (L: LAUTERBORN 1934,

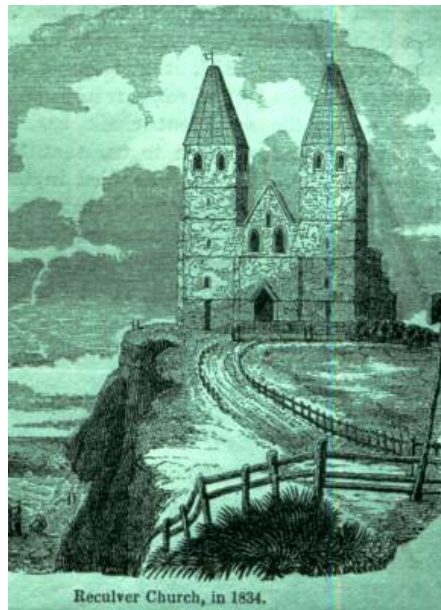


Abbildung 48: Küstenzerstörung. LYELL.



Abbildung 49: Moher-Kliff, Irland.

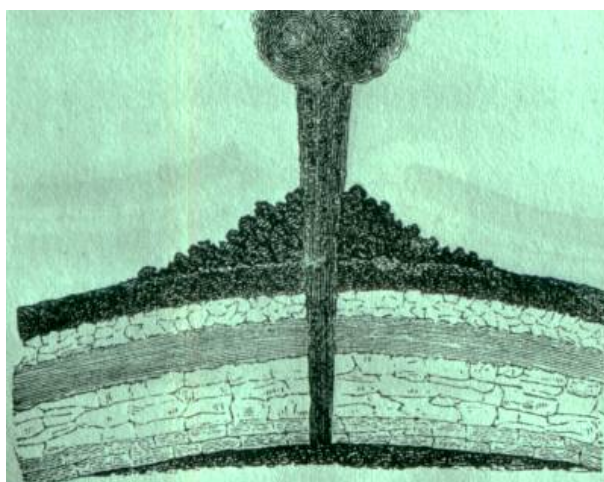


Abbildung 50: LYELLs lagenweiser Vulkanaufbau.

S. 28).

In den Erörterungen um den Aktualismus war stark auch der **Aufbau der Vulkane** einbezogen. Nach katastrophistischen Vorstellungen und auch bei VON BUCH sollte ein Vulkan rasch und bei einem einzigen Akt der Emporhebung, der Aufwölbung, gebildet werden. Aber LYELL wie andere fanden, daß wenigstens ein Teil der Vulkane von Ausbruch zu Ausbruch und von Schicht auf Schicht von den rings um den Krater geschütteten Auswurfmassen aufgebaut werden und nicht von unten her sich emporwölben, sind **Stratovulkane**, im Unterschied zu Felskratern (K. SAPPER 1927, S. 235). Der so geschehene Aufbau der Vulkane im Sinne LYELLs entsprach der Vorstellung von Uniformitarismus/Aktualismus. Das Innere der Vulkane kann gewiß nicht vollständig besichtigt werden. Nur teilweise kann man sehen, wie die Vulkane aus aufeinanderliegenden Schichtpaketen aus vulkanischer Auswurfsmasse bestehen. LYELL und PRÉVOST fanden das bei italienischen Vulkanen, JEAN BAPTISTE RAMES (F. STOCKMANN 1975) bestätigte das bei den Vulkanen im Cantal. Am Ätna war LYELL seinerzeit durch die Obst- und Weingärten des Tales Val del Bove emporgestiegen und fand das vulkanische Material lagenweise übereinanderliegen, was für den schrittweisen Aufbau des Vulkans sprach. Des Ätna frühere Ausbrüche hatten offensichtlich nicht gewaltigere Lavaströme als neuere zustandegebracht. Das sprach für die gleiche Kraftentfaltung einst und heute, also auch hier: Aktualismus.

Bei Annahme langer Zeiträume war anzunehmen, daß alles Gesteinsmaterial schon irgendwie in die Kreislaufprozesse der Erdkruste einbezogen waren und namentlich auf LYELL geht auch das Interesse am **Metamorphismus** von Gesteinen zurück, wenn er auch die Lehre vom Metamorphismus nicht weiter ausbaute. Die **gewalti-**

gen Auswirkungen, welche **gewaltige Vulkansausbrüche** und Jahrmillionen dauernde Lavaausflüsse wie in Sibrien ausübten, **blieb LYELL unbekannt**. Die Rolle des Vulkanismus wurde erst mit der weiteren geologischen Erforschung der Erde bekannt und mit der Plattentektonik der ab der zweiten Hälfte des 20. Jh. erschreckend deutlich. Wobei auch die Plattenverschiebungen mit mm oder wenigen cm sich in Jahrmillionen abspielen, auch die Gebirge sich allmählich falten, also sich das meiste mit LYELLScher Allmählichkeit abspielt, aber mit LYELL durchaus bekannten Vulkanausbrüchen und Erdbeben sich immer wieder die Tiefe meldet.

LYELL verwies auch einmal auf **Rippelmarken in Sedimenten des Altpaläozoikum**, was auf damals ebenso ruhige Verhältnisse bei der Sedimentbildung schließen läßt wie sie später stattfand (L. G. WILSON 1980).

Mit wenigen Faktoren sollte alle Veränderungen in der Vergangenheit erklärt werden, mit der langsamen Hebung und Senkung wie Zerstörung der Festländer, die auch das Klima veränderten. Katastrophen ausschließender Minimalaufwand.

Der Aktualismus setzte, wenn er aner kennenswert und sinnvoll sein sollte, voraus, daß sich die verschiedensten **geologischen Vorgänge in der Erdgeschichte wiederholten**, oft sogar. **Nur dann konnte eine Gleichheit** oder wenigstens Ähnlichkeit **von vergangenen und gegenwärtigen Vorgängen** bestehen. Dann war auch mit **'Gesetzmäßigkeit' in den geologischen Wir Vorgängen** zu rechnen.

An Wiederholung von Katastrophen dachte allerdings auch der Katastrophismus.

Der Aktualismus war gewiß ein ganz wichtiges Instrumentarium der Erdgeschichtsforschung. Vielleicht sollte man auch einen schönen Ausspruch von 1840 nicht vergessen, von VON HOLGER in "Elemente der Geognosie" und mitgeteilt von M. PFANNSTIEL 1970 a (S. 3): "Wir Geologen haben hier das Unangenehme, daß wir erst ins Theater gekommen sind, nachdem bereits der Vorhang gefallen ist; wir müssen das Schauspiel, das gegeben wurde, aus den auf der Bühne zurück gebliebenen Decorationen, Versatzstücken, Waffen u.s. w. zu *errathen* suchen; daher es sehr verzeihlich ist, wenn wir uns irren." LYELL hat gewiß das 'Irren' sehr zu vermindern versucht!

Kritik bis Ablehnung des Uniformitarismus/Aktualismus LYELs in der Zeit LYELs

LYELs erster Band fand schon bald Beachtung und Rezension. CONYBEARE hob schon 1830 hervor, daß nach vordergründiger Faktenforschung nun auch **wieder der Theorie in die Geologie** Einzug hielt. Allerdings hielt er die angenommene Gleichheit von Gegenwart und Vergangenheit für übertrieben und brachte den wohl dummen Vergleich, daß auch ein Menschenkind nicht gleichmäßig wächst, das Wachstum schließlich aufhört, alles sich die Gegenwart der Erwachsenen von den Kindheitszuständen unterscheidet. Aber solche Analogien sind kaum wertvoll. Es geht ja wohl um die Feststellung der Tatsachen in jedem Bereich für sich. CONYBEARE wäre wohl etwas für schöngeistige Predigten.

Manche **Überlegungen** in der Geologie paßten **nicht** in das allzu einfache uniformitaristische oder **aktualistische** Schema. Nicht recht vereinbar mit den prinzipiell immer gleichartigen Zuständen auf der Erde war die Auffassung von der **immer weitergehenden Erdabkühlung**. Dabei war die Wärmeleitung und damit die Abkühlung mit FOURIERs Theorie der Wärmeleitung und den von ihm entwickelten Formeln genauer faßbar geworden. Wurde die immer weiter schreitende, nicht umkehrbare Abkühlung der Erdkruste akzeptiert, dann war naheliegend, daß es in weiter zurückliegenden Perioden der Erdgeschichte mehr und stärkere Vulkanausbrüche geben konnte und eine stärkere Bildung von Tiefengesteinen wie Granit und Gneis zu erwarten war, was auch bestätigt schien, so nach Ansicht von CONYBEARE (L. G. WILSON 1980). In den USA rechnete auch der religiöse EDWARD HITCHCOCK (M. L. ALDRICH 1972) mit der Erdabkühlung und einer abnehmenden **Intensität von Agentien** wie Vergletscherung und Fluten gesehen und verband katastrophistische und uniformitaristische Auffassungen. In manchen kann man schon an SALOMON-CALVI (s. d.) im beginnenden 20. Jh. denken. Daß es keinen Grund gibt, für Vulkane und Erdbeben Grenzen ihrer Wirksamkeit anzunehmen, meinte. DAVID BREWSTER in seiner Präsidentenansprache auf der 20. Versammlung der British Association for the Advancement of Science 1850 in Edinburgh (1851, S. XXXIV) und gab zu Bedenken: "Who can say that there is a limit to agencies like these? Who could dare to assert that they may not concentrate their yet divided energies, and rend in pieces the planet which imprisons them?" BREWSTER verwies auf die Kleinplaneten zwischen Mars und Jupiter, die offenbar Reste eines zerplatzten größeren Planeten waren und von der Möglichkeit des Unterganges eines Planeten wie der Erde zeugten. Aber gerade die **stete Erdabkühlung** kam **auch in Kritik** und bei den Skeptikern dieser Erdabkühlung entfiel die mit dieser Annahme verbundenen Einwände gegen den Aktualismus.

Nicht zum strengen aktualistischen Erdbild paßte die **Progression** der Tiere und Pflanzen, die Ausbildung immer neuer und höherer Formen von einem Erdzeitalter zum nächsten, so wie sie gerade die Katastrophisten als eine Grundlage ihrer Auffassung sahen. Wenn die Erde zu allen Zeiten ihrer Geschichte prinzipiell gleichartig gewesen sein soll, dann durften sich weder die klimatischen Bedingungen noch die Möglichkeiten für das Erscheinen bestimmter Organismen so prinzipiell geändert haben, daß die Wiederkehr aller bisherigen Zustände ausgeschlossen war. Mochte die Gegenwart vielleicht mehr Festland und mehr Gebirge aufweisen als in manchen vergangenen Zeiten, so sollte auch das sich wieder allmählich ändern können und könnten einmal wieder mehr feucht - warme Gebiete sich ausbreiten. Strenge "Aktualisten", und namentlich LYELL, lehnten die Progression daher ab, sahen in ihr eine Täuschung, hervorgebracht, weil nur ein Minimum aller jemals auf der Erdoberfläche existierenden Individuen fossil erhalten blieb. Es sollten eher durch die Zufälle der Fossileinbettung größere und der Gegenwart ähnlichere Formen sich mit der Annäherung an die Jetztzeit in den Fossilfunden häufen. LYELL hatte keine klare Vorstellung davon, wie neue Arten auf der Erdoberfläche erschienen. Ohne ausdrücklich auf die "Urzeugung" Bezug zu nehmen, sollten aber beim Vorhandensein bestimmter Umweltbedingungen auch bestimmte Formen erscheinen, auf welchem Wege auch immer. Lebewesen sah er dabei als ihrer Umwelt bestangepaßt an (D. OSPOVAT 1977). LYELL meinte: Kehreten die tropisch-feuchten Verhältnisse der Saurierzeit wieder, würden auch wieder Saurier, so der Iguanodon, auf der Erde erscheinen. Der mit LYELL auch persönlich nicht sympathisierende HENRY THOMAS DE LA BECHE zeichnete über diese Bemerkung eine Karikatur, auf der in einem üppigen Urwald ein als Professor gekleideter Saurier seinen Artgenossen vor einem Menschenschädel diese mögliche Rückkehr von Sauriern erklärt (M. J. S. RUDWICK 1975). Der **Mensch** war jedoch auch bei LYELL schließlich eine **neue Form**, die erst der Gegenwart angehörte und durch sein Wirken etwas ganz Neues auf die Erdoberfläche brachte. Von Anthropozän spricht man aber erst im 21. Jh.

Auch in Einzelheiten wurde die Verteidigung des Katastrophismus fortgeführt und mußten die den Aktualismus vertretenden Geologen sich dem entgegensetzen. Im Herbst 1834 reisten die Naturforscher L. von BUCH, HEINRICH FRIEDRICH LINK und ELIE DE BEAUMONT zum Ätna, um hier die mittlere Neigung von etwa 30 herabgeflossenen Lavaströmen zu messen und glaubten bewiesen zu haben, daß nur bei einem Neigungswinkel von weniger als 6 Grad zusammenhängende Massen bilden kann. Da der Ätna in größeren Höhen eine Neigung von 29 bis 32 Grad aufweist, sollte sich ausfließende Lava nicht halten können und trüge rasch abwärts fließend nicht zum Aufbau des Vulkans bei. Er mußte dann von unten emporgehoben worden sein, also eher katastrophistisch entstanden sein. LYELL hatte also auch am Ätna zu widerlegen.

So wie der Katastrophen-Theorie vorgeworfen wurde, daß sie die erdgeschichtlichen Erscheinungen unzureichend prüfte und zu unbedacht nur ihrer Sicht unterwarf, wurde dies auch LYELL und der aktualistischen Auffassung angelastet. DE LA BECHE zeichnete für die Freunde eine Karikatur, auf der LYELL einem anderen Gelehrten eine **Brille** überreicht mit der Aufforderung, **die Welt** beziehungsweise die Erdgeschichte **nun durch diese**, nämlich durch seine Brille **zu sehen** (M. J. S. RUDWICK 1975). Wer kann solcher "Brille" schon ganz entgehen? Und vielleicht liefert eine solche "Brille" erst die Möglichkeit, gewisse Dinge zu erkennen, war also ein positiv zu wertendes Instrument? DARWIN war sicherlich beeinflusst vom Wirtschaftsliberalismus seiner Zeit. Daß er mit dieser Brille des 'Konkurrenzkampfes in der Menschengesellschaft' die Selektion in der Natur entdeckte spricht nicht gegen die Existenz, die Realität des "Kampfes ums Dasein" in der Natur. Heute zeigt das jeder realistische Tierfilm. Man brauchte eben eine besondere Sicht, ein Werkzeug, eine Auffassung, das zu sehen. Mit Harmonievorstellungen aufgewachsene Leute wie vielleicht auch LINNE sahen das jedenfalls in der DARWINschen Schärfe nicht. Von viel vernichtenden vulkanischen Ereignissen in der Vergangenheit hatte LYELL keine Vorstellung, wohl keine von der Bildung des sibirischen Trapp, keine von dem Einfallen eines Meteoriten mit dem Tod der Dinosaurier am Ende Kreidezeit und der wohl erdweiten Auswirkung bei der Bildung der Riesen-Caldera des Toba-See. Gewiß ging die Erdentwicklung auch nach dem Massensterben an der Perm-Trias-Grenze und nach der Kreidezeit weiter, aber die Möglichkeit einer Auslöschung allen Lebens war nach heutiger Vorstellung manchmal wohl gegeben. Immerhin kam sie nicht. Nach dem Verschwinden viele Formen in geologisch kurzer Zeit folgte bisher immer ein Aufschwung in der Evolution und war der Weg frei für bisher nicht vordergründig auftretende Formen.

ARCHIBALD GEIKIE warnte einmal (1903) davor, unsere Zeit zu sehr zum Maßstab vergangener Epochen der Erdgeschichte zu nehmen. Vielleicht leben **wir in einer Zeit der größerer Ruhe**: "... the present is an era of quietude and slow change compared with some of the eras that have preceded it" (zit. bei J. H. 1926, S. XXXIX). Angesichts des geologisch jungen Alters der beeindruckenden Hochgebirge war wohl auch der Hinweis von etwa F. E. SUESS (1933, S. 23) berechtigt, daß unsere **heutige Erde** vielleicht durch besonders starke, in der Erdgeschichte nicht immer bestehende Höhenunterschiede ausgezeichnet ist. Also: Kein 'Mount Everest' zur Saurierzeit? So langsam Gebirgsbildungen gewesen sein mögen, etwa die Bildung der Alpen, im Vergleich zu den Zeiten vor ihrer Bildung sind die Ereignisse zusammengezogen.

Diskussionen im 20. Jh., so bei MARTIN GERARD RUTTEN (1962, S. 62), sprechen von einem '**Pre-Aktualismus**'/'Pre-Actualistic' in prä-kambrischen Zeiten. Der allgemeine Aktualismus im Sinne der stets vorhandenen Gültigkeit der be-

kannten physikalischen und chemischen Gesetze steht auch hier nicht in Zweifel. Zum post-kambrischen Aktualismus: zeitweilig starker Vulkanismus, viele weitere Meeresbedeckung in der unteren Oberkreide, im Cenomen, und die Eiszeiten? Im Zeitraffer erscheint katastrophisch, was auch Jahrtausende dauerte. Oder, wie schnell kamen und gingen die großen Gletscher über Mitteleuropa und Nordamerika? In dem von den exogenen Kräften bestimmten Bereich, vor allem auch in der Atmosphäre, hat es immer einmal größere Veränderungen gegeben und relativierte sich hier die Aktualismus-Vorstellung. Im Erdinneren werden seit viel älteren Zeiten die Vorgänge gleich den heutigen angesehen, kann der Aktualismus als tiefer in die Zeiten hinabreichend gesehen werden (M. G. RUTTEN 1962, S. 65).

Verteidigung und Anerkennung des Uniformitarismus / Aktualismus

Gegenwärtige Verhältnisse immer wieder zum Maßstab der Vergangenheit

Ein Vorteil für die aktualistische Auffassung war zweifellos, daß in ihr **nicht mit unbekannten Ursachen** beziehungsweise Faktoren bei der Erdkrustenentwicklung gerechnet wurde, während die Katastrophisten nicht angeben konnten, was denn ihre Großereignisse auslöste, wenn man von DE BEAUMONTs Annahme kurzzeitiger weltweiter Gebirgsbildungen absah. Wenn die Vergangenheit der Erdkruste von den gegenwärtigen Ereignissen aus gedeutet werden sollte, dann lag darin eine große Anregung, die gegenwärtig auf der Erde stattfindenden Vorgänge möglichst genau und vollständig kennenzulernen. Die aktualistische Auffassung regte also zu weiteren Forschungen an, mehr als der Katastrophismus. Vor allem mußten die gegenwärtig an der Erdoberfläche stattfindenden Vorgänge zur Deutung der überlieferten Erscheinungen dem Geologen bekannt sein, und zwar möglichst vollständig und genau. Waren gegenwärtige Vorgängen unbekannt, dann konnte auch die Vergangenheit nicht vollständig enträtselt werden. Der Uniformitarismus/Aktualismus eröffnete viele Diskussionen und bot eine neue Betrachtungsweise in der Geologie. DARWIN meinte einmal am 29. August 1844 an LYELLs Schwiegervater HORNER, daß "the great merit of the Principles was that it altered the whole tone of one's mind, and therefore that, when seeing a thing never seen by Lyell, one got to see it partially through his eyes" (auch zitiert bei M. J. S. RUDWICK 1966).

Sehr wichtig für die Anerkennung von LYELLs Ansicht blieb der Nachweis **langsamer, aber auch stetiger Hebungen und Senkungen** von festem Land und

des Meeresbodens. Mit unter anderem diesem Ziele hatte der reichlich 20-jährige CHARLES DARWIN seine Weltreise auf dem Schiffe "Beagle" 1831 angetreten. Der erste Band von LYELLS 'Principles...' lag in seinem Reisegepäck und der folgende Band wurde ihm nach Südamerika nachgeschickt. An den Küsten der Insel Chiloe und Chiles weisen DARWIN wie sein Schiffskapitän FITZ-ROY auch mit Messungen die **Hebung von Küstenteilen** nach. Aber noch beeindruckender war für DARWIN, was er auf eine Durchquerung der Anden über einen Paß vom chilenischen Valparaiso nach dem argentinischen Mendoza sah. Es wurde nach Briefen von DARWIN schon am 18. November 1835 in der Geological Society gelesen und diskutiert (in P. H. BARRETT 1977, S. 16 - 19). An beiden Seiten der südlichen Anden gab es Lockermassen, welche zu dem von LYELL gegliederten Tertiär gehören mußten. Solche Massen fand er in viel größerer Höhe auf den hier den zwei Ketten bestehenden Anden, die also nach der Ablagerung der Lockermassen beidseits der Anden und vor allem jener in der Pampa aufgestiegen waren - aus welchen Gründen auch immer. Das war mehr als 15 Jahre nach der Veröffentlichung über Hebungen bei VON BUCH, aber DARWINs Zeugnis jetzt in den Anden mußte als weitere Bestätigung hoch anerkannt werden. Auch der Beginn der Lavaeruptionen ließ sich durch DARWIN feststellen. DARWIN entdeckte in der östlichen Kette in Sandstein silifizierte Dikotyledonen-Baumstämme und "carbonaceous" Schiefergestein auf einem alten Lavastrom und überlagert von dunkler "augitic lava", und darüber folgte ein weiterer Wechsel von vulkanischem Gestein und Sedimenten. Eingestoßen waren Granitadern und von ihnen aus Adern von Kupfer, Silber, Arsenik, Gold und zur Zeit der Überlagerung durch Teriätsedimente mußte der Granit wegen der Lieferung der Erzadern flüssig gewesen sein. Diese Darlegungen enthalten eigentlich alles, was in groben Zügen zur Feststellung einer Gebirgshebung nötig ist. Nur was bewirkte die Hebung? Von unten? Daß die erdinneren Kräfte noch nicht zur Ruhe gekommen waren bewies ein zur Zeit von DARWINs Aufenthalt in Chile stattfindendes schweres **Erdbeben** am 20. Februar 1835 (P. WHITE 2012). DARWIN hatte das Erdbeben ruhend in einem Küstenwald bei Valdivia durch das Zittern der Erde deutlich gespürt, kam dann nach der ebenfalls betroffenen Stadt Valdivia und 14 Tage später nach der schwer betroffenen Stadt Concepcion. Für eine weiträumige **Senkung des Grundes des Stillen Ozean** sprachen die **Korallenriffe**. Korallen bauten ihre Riffe nach oben weiter, während das Land, an dessen Rande sie sich angesiedelt hatten, absank. So blieben denn von ehemaligen Vulkaninseln nur die ringförmig um sie liegenden Riffe und wurden zu den merkwürdigen Atollen, wobei die zu sehr aus dem Wasser geratenen Riffe nicht mehr wachsen. EUGEN WERNER (1911, S. 87) beschreibt viel später von Neuguinea: "Sobald das Riff ... über das Niveau des mittleren, niedersten Wasserstandes erhoben wird, stirbt das Leben in ihm ab, und es ist weiter nichts als ein Block von kohlensaurem Kalk, an dem ohne Zögern die

Wellen zu nagen beginnen, Das strudelnde Wasser, das zwar den Aufbau förderte ... zerstört sein eigene Werk.”

Landhebungen aus offensichtlich anderen Gründen hatte LYELL (G. ZIRNSTEIN 1980, S. 63/64) selbst auf seiner Reise 1834 nach Dänemark und Schweden an der von keinem bekannten Vulkanismus und keinen Erdbeben heimgesuchten **Küsten Schwedens** sehen können, ein erst viel später mit der Anerkennung großer Gletscher erklärtes Phänomen.

Auch andere später im Sinne der Deszendenztheorie tätige Forscher hatten LYELLS "Principles ..." im Reisegepäck ihrer Expeditionen in jüngeren Jahren. Im Jahre 1839 nahm der Botaniker und DARWIN-Freund JOSEPH HOOKER die 5. Auflage von LYELLS "Principles..." mit auf die Reise bis in die Antarktis auf den Schiffen "Erebus" und "Terror" (L. G. WILSON 1980). Auf der Grundlage von LYELLS Ideen unternahm er seine Forschungen über die geographische Verbreitung der Pflanzen. Der neben DARWIN zur Selektionstheorie gelangte ALFRED RUSSEL WALLACE las LYELLS "Principles ..." 1846.

Die **stete Abkühlung der Erde**, die für eine irreversible Wandlung der Verhältnisse in der Erdgeschichte sprach, wurde auch im 19. Jahrhundert von etlichen Forschern **abgelehnt**. Für CHARLES DAUBENY war die Zunahme der Temperatur in die Tiefe kein Beweis für einen glutflüssigen Erdkern. **Wärme** konnte nach DAUBENY auch **aus lokalen Vorgängen** stammen. DAUBENY dachte an die Oxidation von Pyrit (L. G. WILSON 1980). Mit der Entdeckung des radioaktiven Zerfalls um 1900 änderte sich die Vorstellung vom Wärmehaushalt der Erde ohnehin grundlegend.

Zeugnisse teilweise gegen und dann zunehmend zugunsten der aktualistischen Auffassung trugen die Paläontologen zusammen. Zugunsten der aktualistischen Auffassung sprach, wenn **Fossilien** gefunden wurden, welche die '**Formationsgrenzen überschreiten**', also an den angeblich auf Katastrophen zurückzuführenden Grenzen der Erdepoeche keine vollständige Vernichtung stattfand. L. v. BUCH sah allmählichere Übergänge 1843 bei den Ceratiten. Die Abkehr von der Katastrophentheorie geschah bei manchem Forscher vorsichtig, ja in kleinen Schritten. FRIEDRICH AUGUST WALCHNER, Freiburg i. Br. und dann Karlsruhe, meinte 1850 (S. 300), daß beispielsweise die Vögel als 'Luftbewohner' "den zerstörenden Revolutionen der Erde größtentheils entgehen" konnten, aber eben andere Landorganismen verschwanden. Auf die Überschreitung von Formationsgrenzen verwies HEINRICH GEORG BRONN etwa 1858. Das schloß alles vernichtende Katastrophen aus. Da die aktualistischen Geologen und Paläontologen viel größere Übergänge erwarteten als die Katastrophisten, mußten dann augenscheinliche Faunen - und Florensprünge, wie sie aber etwa MURCHISON deutlich wurden, die

Zweifel an LYELLS Auffassung wieder verstärken.

Veränderte Ansichten gab es im Laufe der Zeit über die Bedeutung, welche die verschiedenen Forschern **den einzelnen Faktoren** zubilligten. Es mußte auch offenbleiben, **ob alle gegenwärtigen Vorgänge** schon oder wenigstens **ausreichend bekannt** sind, **um vergangene Dinge richtig zu beurteilen**. Was sich **heute in einem Gebiet** an geologisch zu nennenden Veränderungen abspielt, kann **heute vielleicht nur anderswo aktuell** beobachtet werden (W. SALOMON 1918, S.4) und ist dann also doch aktuell erfaßt, so die Riesengletscher von Grönland, wie solche eben auch einmal Mitteleuropa formten Nicht Meeresbrandung und Erdbeben, sondern die Tätigkeit der Flüsse hielt JOSEPH BEETE JUKES (J. M. EYLES 1973) als das Hauptagens bei der Formung des Festlandes, sah also das anders auch für die Gegenwart als LYELL. Im Jahre 1926, also lange nach LYELL, gab HARRASOWITZ (S, 123) zu bedenken: "Die rezente Verwitterung ist noch ganz ungenügend bekannt, ..."

Auch das **Zusammenwirken von Faktoren** wurde erörtert und JAMES YATES hatte schon 1831 beschrieben, wie bei Erdbeben, also endogen bedingten Phänomenen, in Gebirgen, etwa in der Schweiz, Felsmassen herabfallen. YATES verwies auch auf Frost, das bei höherer Gebirgshöhe auch im Sommer gefrierende Wasser. Alles zu beachtende Faktoren der Gestaltung der Erdoberfläche.

Es konnte auch passieren, daß **einunddieselbe erdgeschichtliche Erscheinung auf unterschiedliche gegenwärtig beobachtbare Vorgänge zurückgeführt** wurde und das **auch berechtigt** war. So argumentieren sowohl der Geologe JOHANNES WALTHER wie CARL OCHSENIUS aktualistisch, wenn sie die Bildung der Salzlager erklärten. WALTHER sah die Salzlager wegen Salzausscheidungen in den Wüsten als Wüstenbildungen. OCHSENIUS führte die Salzlager auf die Wasserverdunstung in abgeschnittenen und immer wieder frisch mit Meerwasser versorgten Randmeerbecken zurück. Die Natur muß allerdings zur Erzeugung derselben Dinge nicht nur nach einem Schema verfahren. Die Natur kann verschiedene Wege einschlagen, um gleiche Erscheinungen hervorzubringen (W. WEISSERMEL 1930), also wäre wenigstens im Prinzip eine Salzlagerentstehung auch nach verschiedenen Vorgängen denkbar und wäre dabei weiterhin aktualistisch.

Der Aktualismus lenkte in der Folgezeit die Forschungen vieler Geologen und die Übereinstimmung mit ihm wurde fast zu einem Kriterium, wenn unter verschiedenen Theorien über eine spezielle Erscheinung zu entscheiden war. Hier sollen nur einige Andeutungen folgen, während in späteren Kapiteln noch eingehend davon zu sprechen ist. Als LOUIS AGASSIZ eine einst große **Bedeckung der Erde mit Gletschern** annahm und das natürlich eher eine katastrophistische als eine aktualistische Auffassung war, so hat er zur Stützung seiner Ansichten dennoch

als erster genauer die Eigenschaften von gegenwärtigen Gletschern in der Schweiz untersucht, gemäß seiner Auffassung (L. AGASSIZ 1841, S. X): "Bei meinen eigenen Untersuchungen hatte ich besonders den Zweck vor Augen, den innigen Zusammenhang der Erscheinungen, welchen die Gletscher der Jetztzeit zum Grunde liegen, mit den Spuren ihrer ehemaligen Existenz und ihrer weit bedeutenderen Ausdehnung in einer früheren Epoche der Erde nachzuweisen. Hierzu bedurfte ich einer genaueren Kenntniß der jetzigen Gletscher, des Einflusses, welchen die atmosphärischen Agentien auf sie ausüben und der Einwirkung, welche der Boden, auf dem sie ruhen, erleidet". Auch eine in eine katastrophistische Auffassung mündende Hypothese, die von der erweiten Eiszeit, ware also aktualistisch zu begründen versucht worden.

FERDINAND VON RICHTHOFEN (1874) deutete 1860 große Dolomitkomplexe in **Südtirol** als gewaltige **Korallenriffe** und untersuchte 1861 **zur Beweisführung ein gehobenes Korallenriff an der Südküste von Java**. Korallenriffe hoch gehoben - auf der Insel Timor wird eines angegeben in bis 1200 m ü. M. (H. STILLE 1919, S. 356).

Um die Ablagerungen und Landschaftsformen in Norddeutschland als Glazialbildungen zu beweisen, **bereisten Eiszeitforscher** wie TORELL oder KEILHACK **Ränder heutiger Glazialgebiete**, namentlich die am ehesten erreichbaren Inseln Island oder Spitzbergen.

STILLE verwies 1919 darauf, daß man aus einigermaßen geklärten Vorgängen aus der Vorzeit bessere Aufklärung noch nicht so geklärter Vorgänge der Gegenwart erhalten könne. Er sprach von der "**retrospektiven**" **Forschungart** des Aktualismus. Bei zu Festland gewordenen Meeren der Vergangenheit wäre der seinerzeitige Meeresgrund besser zu untersuchen, auf dem heutigen festen Lande sogar, als bei gegenwärtigen Meeren. Es ging damals bei STILLE um "Tiefseegräben" in Südost-Asien und dem Pazifik, bei denen offen war, inwieweit man bei ihnen so etwas wie die Geosynklinalen vergangener Gebirgsbildungen sehen könne.

Keine Unterschiede von älteren und jüngeren Eruptiv-/ Massengesteinen von verschiedenem Alter? - Aktualismus auch im Erdinneren

Über die gleiche Art, **die Gleichheit** der Eruptivgesteine aus alten und neuen Zeiten, in Europa also aus Paläozoikum und Känozoikum, gab es jahrzehntelang Diskussionen. Gab es diese Gleichheit, trotz manches unterschiedlichen äußeren Aussehens, dann war also anzunehmen, daß sich die Vorgänge auch in der direkter

Beobachtung nicht zugänglichen Tiefe gleich geblieben waren, also der **Aktualismus auf die Tiefenvorgänge** übertragen werden konnte. In Deutschland wurden oft, wie F. VON WOLFF (1908, S. 8) feststellte, "die älteren und jungen Eruptivgesteine scharf getrennt und petrographisch gleiche Gesteine mit verschiedenen Namen belegt". Aber nur der "verschiedene Erhaltungszustand war die Veranlassung" dafür gewesen.

Die Gleichheit der Eruptivgesteine von heute mit den Laven des Tertiär sah nach Forschungen auf den Kanarischen Inseln, namentlich auch auf **Teneriffa**, um 1868 KARL GEORG Freiherr VON FRITSCH (O. LUEDECKE 1906). Dieser vielseitige Geologe stammte aus einem manche höheren Beamten stellenden 'Geschlecht', schlug, ohnehin früh verwaist, wie sein Vater die Forstlaufbahn ein. Er ging dann "dennoch" zur Geologie. Ab 1867 Dozent bei der Senckenbergische Naturforschenden Gesellschaft in Frankfurt am Main, wurde VON FRITSCH 1873 ao. Professor der Geologie an der Universität Halle, 1876 Ordinarius, 1895 Präsident der Leopoldina (R. ZAUNICK 1961).

Der österreichische Petrograph GUSTAV TSCHERMAK entwickelte 1869 in seiner Arbeit über die "Porphyrgesteine Oesterreichs aus der mittleren Geologischen Epoche" die Theorie von der **ursprünglichen Gleichheit der älteren und jüngeren Eruptivgesteine**. Die "mittlere geologische Epoche" sollte reichen von der "Dyas", also dem Perm, bis zum Eozän. Ältere und jüngere Eruptivgesteine sehen äußerlich zwar verschieden aus, aber TSCHERMAK untersuchte sie auch mit dem Mikroskop und mit chemisch-mineralogischen Verfahren und fand (S.269/270), daß die Massengesteine "wiederholen sich in den jüngeren Formationen dieselben Gesteinstypen die in den älteren auftreten; ..." Und nur "weil aber die älteren Gesteine der stets wirksamen, durch die Wässer hervorgerufenen chemischen Umwandlung längere Zeit ausgesetzt waren, so sind durch die theilweise oder gänzliche Veränderung der eingeschlossenen krystallinischen Elemente so wie durch das Krystallinischwerden ursprünglich amorpher Gemeintehile Veränderungen im Aussehen und in der Textur hervorgerufen worden, welche bei dem Vergleiche zwischen älteren und jüngeren Felsarten berücksichtigt werden müssen." G. TSCHERMAK neigte aber auch der Ansicht zu, daß angesichts der vom Aktualismus angenommenen Gleichheit einstiger und jetziger Zustände daß in den "einzelnen Epochen" "proportionale Mengen" von durch Eruption zutage getretenen Gesteinen aufraten und "proportionale Mengen durch Erosion zerstört" wurden (S. 269). Damit gab es also zumindestens in dem von TSCHERMAK behandelten langen Zeitraum keine bemerkenswerten Unterschiede im Vulkanismus! Gerade das wurde in der Folgezeit auch anders gesehen.

Die Gleichartigkeit verschieden alter Eruptivgesteine bis hin zu Graniten betonte dann auch E. KAYSER 1893 (S. 470) Der Mineraloge und Petrograph FERDI-

NAND ZIRKEL meinte als antretender Rektor der Universität Leipzig 1885 (S. 25): "Wo es sich um die genetische Erkenntnisse einer abgeschlossenen früher erfolgten Tatsache handelt, da ist diejenige Erklärung die befriedigendste, welche in dem aktiven, vor unseren Augen sich abspielenden geologischen Phänomen die meisten Analogien findet."

Untersuchungen an mesozoischen Eruptivgesteinen Chiles, 1904, bestätigten FERDINAND VON WOLFF (1944, S. 8) die Gleichheit der Eruptivgesteine verschiedener Zeitalter, und schlossen gerade in den Anden vorhandene mesozoische Eruptivgesteine, die es in Deutschland nicht gab, die Lücke.

Vergleich der Gebirgsbildungen verschiedener Zeitalter - auch kein Widerspruch zum Aktualismus

Gebirgsbildungen verschiedener Zeitalter wurden miteinander verglichen und Zyklen in den Ereignissen sprachen für die aktualistische Auffassung. Sowohl WEGENER bei der Begründung der Theorie von der Kontinentalverschiebung (M. DORN 1989) wie die Begründer der Plattentektonik betonten, daß die Kontinentalverschiebung oder die Plattenbewegung in der Gegenwart weitergehen, also nicht eine abgeschlossene vergangene Angelegenheit sind, und deshalb mit dem aktualistischen Konzept vereinbar sind.

Folgen der Anerkennung der Jahrtausende der Erdentwicklung für das Weltbild

Der Aktualismus war entstanden, als man für die Entwicklung der Erde und vor allem auch der Erdkruste mit Jahrtausenden (s. G. HEBERER 1970, S. 10) bis - namentlich in neuerer Zeit - mit Jahrtausenden rechnete. Nur mit den langen, gewaltig langen Zeiten konnte der **Aktualismus** alle Veränderungen auf der Erde erklären. Und nur mit Jahrtausenden und mehr war es denkbar, daß gemäß der **Deszendenztheorie DARWINs** die **Organismen sich schrittweise umbildeten**, über kleine, fast differential-kleine Variationen und der Auslese der geeigneten. Und auch **DARWINs Theorie der Korallenriffe** konnte nur akzeptiert werden, wenn der Meeresboden sich so langsam senkte oder neben dem Absinken der Meeresspiegel so langsam anstieg, daß die auf das Leben in einer bestimmten relativ geringen Wassertiefe angewiesenen Korallen mit dem Wachstum nach oben nachkommen konnten.

DARWINs Deszendenztheorie und DARWIN unter dem Einfluß von LYELL - Der Evolutionismus

Vor allem mit DARWINs Evolutionstheorie mußte die aktualistische Auffassung stark erneuert werden, wenn die Evolution der Lebewesen in ihre Vorstellungen eingebettet werden sollte.

Auf der einen Seite war DARWIN von LYELL stark beeinflusst, schloß sich auch für die Evolution seinem Aktualismus an, indem **durch LYELLs Aktualismus** ihm **klar** geworden war, daß eine **wissenschaftlich akzeptable Abstammungslehre mit Faktoren** für den Artenwandel rechnen muß, die auch heute **noch existieren** und die auch in der Gegenwart **erforschbar sind**. Die Umbildung der Lebewesen in der Erdgeschichte mußte im Sinne des Aktualismus erklärt werden. DARWIN studierte daher die Züchtung von Haustieren und Kulturpflanzen, weil ihm hier eine vom Menschen gelenkte Evolution vorlag, die gleichzeitig aber die auch in der Natur wirkenden Faktoren des Organismenwandels nutzte. **Variabilität und Selektion** erschienen DARWIN als die **einst und heute** wirkenden Faktoren jenes Artenwandels, der allerdings auch immer Neues hervorbrachte. Im Bewußtsein, daß LYELL ihm die Augen für die Beachtung des Aktualismus geöffnet hatte, schrieb DARWIN im Jahre 1844: "I always feel as if my books came half out of Lyell's brain".

Ein **Organismenwandel** (R. HOOYKAS 1963), „und auf ihm beruhte die Möglichkeit der Leitfossil-Methode, konnte **nicht** mit der Vorstellung vereint werden, daß **zu allen Perioden der Erdgeschichte** die Verhältnisse auf der Erdoberfläche im Prinzip **gleichartig** waren. Die Organismenwelt auf der Erde hat sich jedenfalls mit der Zeit verändert. Immer neue Gruppen von Pflanzen und Tieren erschienen auf der Erde, und andere verschwanden. Bis zum oberen Silur gab es keine Landpflanzen. Dann erschienen Pflanzen in Feuchträumen. Viel später drangen Pflanzen auch in relative Trockengebiete und in beachtliche Höhen der Gebirge vor. Mit der sich in einer Richtung ändernden Organismenwelt änderte sich aber nicht nur das Bild der Landschaften auf der Erdoberfläche, es erwiesen sich auch viele Gesteinsbildungen und die Prozesse der Bodenbildung als abhängig von bestimmten Organismen.

Der englische Geologe ARCHIBALD GEIKIE (1937) meinte, daß mit der Abstammungslehre die "Uniformisten" von den "**Evolutionisten**" abgelöst wurden, also der reine Aktualismus nach der Mitte des 19. Jh. zu einem Ende kam. Das organische Leben ist "nicht wiederholbar, die Schwierigkeit, die in der Wiederholung des Fazies", also dem wiederholten Auftreten derselben Sedimente "liegt, ist ausgeschaltet und" - was unabhängig von der Evolution ist - "die organischen Dokumente ... können" - Betonung sollte auf "können" liegen - unter günstigen

Verhältnissen innerhalb einer Zeitperiode weltweit verbreitet sein" (S. VON BUBNOFF 1974, S. 95).

Der Aktualismus wurde jedoch weiterhin als das Flaggenzeichen der modernen Geologie benutzt. Und die Erdgeschichtsforschung hat es in der Tat mit zahlreichen wiederholbaren anorganischen Prozessen zu tun. Aber A. GEIKIE (dtsh. s. 1937, S. 628) hat natürlich Recht mit der Auffassung, daß ein Überblick über die geschichtliche Entwicklung der Geologie zeigt, "daß wir unbedingt jeden Dogmatismus vermeiden müssen. Erinnern wir uns, wie oft die geologische Theorie sich änderte...Die Wernerianer wußten vermeintlich über die Entstehung und Folge der Gesteine so genau Bescheid, als ob sie bei der Bildung der Erdkruste dabei gewesen wären. In ein paar Jahren jedoch wurden sie mit ihren Vorstellungen und ihrem eingebildeten Vertrauen ausgelacht."

Noch lag damals im Schoße der Zukunft, daß im 20. Jh. namentlich auch deutsche Geologen (K. HUMMEL 1940; u. a.) nachweisen werden, daß mit der Veränderung der Organismenwelt sich auch vieles in der anorganischen Welt verändert.

Die Evolutionstheorie gab Verständnis für noch manches für die Leitfossilien, etwa die unterschiedliche Veränderungsgeschwindigkeit in den verschiedenen Gruppen der Leitfossilien, die bei den Ammoniten viel schneller neue Formen bilden als die Brachiopoden. .

ARCHIBALD GEIKIE (1924; J. CHALLINOR 1972, J. H. 1926, D. OLDROYD 2004), der also so stark auf die Wirkung der Evolutionsstheorie aufmerksam gemacht hatte, war am 28. Dezember 1835 in Edinburgh als Sohn eines auch komponierenden Geschäftsmannes geboren worden. Zur Geologie angeregt wurde er durch gesammelte Fossilien, durch die er mit den in Edinburgh tätigen Gelehrten ROBERT CHAMBERS und JOHN FLEMING Bekanntschaft schloß. Er fand viel Anregung auch durch H. MILLER und dessen Buch über den "Old Red Sandstone". ARCHIBALD GEIKIE gab seine Lehre als Bankangestellter auf, studierte an der Universität Edinburgh, zuerst klassische Sprachen und wechselte dann zu Mineralogie und Chemie. Er ging dann zu MURCHISON, der in London zum Direktor des Geological Survey geworden war. Er lernte hier die Größen der britischen Geologie kennen und wirkte bald in der geologischen Kartierung. 25 Jahre war ARCHIBALD GEIKIE alt, als DARWINs epochemachendes Werk über die Entstehung der Arten erschien. Im Jahre 1867 wurde A. GEIKIE Direktor der schottischen Abteilung des Geological Survey und 1871 Professor auf dem von MURCHISON gegründeten Lehrstuhl für Geologie an der Universität Edinburgh. Von 1881 bis 1901 folgte er dem kranken RAMSAY als Direktor des gesamten Geological Survey in London, während sein Bruder JAMES auf den Lehrstuhl in Edinburgh nachrückte. Im Jahre 1901 trat A. GEIKIE von seinem Direktorposten des Geological Survey in den

Ruhestand. Neben seinen Eiszeitforschungen waren namentlich ältere vulkanische Gesteine und der Old Red Sandstone Thema von A. GEIKIEs Forschungen. Gestorben am 10. November 1924 hatte GEIKIE mit seinem Leben von 89 Jahren fast ein Jahrhundert der Geologie miterlebt, mitgestaltet und altersweise beschrieben (1924), und das in einem Jahrhundert, da die in ihren großen Zügen begründete Geologie einen großartigen Ausbau erfuhr. Seine populären Werke, seine Schriften über vergangene Geologie, seine Autobiographie und sein Wirken etwa in der Royal Society begründeten viel von der ihm entgegengebrachten Wertschätzung.

Was LYELL selbst betrifft, so hat er sich mit der Evolutionstheorie DARWINs ausgegiebig befaßt und namentlich über die Species, also deren Entstehung, seine wechselnden Gedanken in nicht veröffentlichten "Journals" niedergelegt, welche nicht verlorengegangen waren und die der LYELL-Forscher LEONARD H. WILSON 1970 veröffentlichte (S. J. GOULD 1970). LYELL hatte als ein Kernstück seiner aktualistischen Auffassung zuerst die Annahme einer Progression, einer Höherentwicklung der Lebewesen nach den Katastrophen und eine Höherentwicklung überhaupt zurückgewiesen. Aber nun erkannte er an, daß es in der Erdgeschichte ein Erscheinen völlig neuer Typen von den niederen zu den höheren Tier- und Pflanzengruppen gegeben haben muß. Mickrige Säugetiere im Mesozoikum waren nicht die eben zufällig gefundenen Vertreter der ansonsten schon für damals anzunehmenden höheren Säugetiere, sondern letztere gab es eben noch nicht.

Entwicklung ohne Wiederkehr, also **Irreversibilität**, wurde dann auch für die **chemischen Verhältnisse** auf der Erde erschlossen. Auch in der Zeit nach der weitgehenden Akzeptierung von LYELLs Aktualismus wurde etwa für das Carbon mit von der Gegenwart abweichenden Verhältnissen etwa bei der Atmosphären-Zusammensetzung, vor allem beim Kohlendioxid-Gehalt, gerechnet. Aber auch das ließ sich auf naturwissenschaftlicher Grundlage erklären. Prinzipiell falsch ist der Aktualismus deshalb gewiß nicht. **Nie in der Erdgeschichte wurden die Naturgesetze verletzt**. Mit LYELL also zu einem neuen "LYELL". Vor allem gegen erdweite Katastrophen im Sinne CUVIERs war LYELL sowieso angetreten und das blieb. Etwa WOLFGANG Freiherr VON ENGELHARDT sah (1959) statt Kreislauf für alle Substanzen einseitige Ausscheidung von manchen Stoffen, vor allem auch bei Ablagerung in der Tiefsee wurde dieses Material "dem großen Zyklus entzogen" (S. 94).

Bei rein anorganischen Vorgängen, bei denen Organismen nicht mitspielen, kann eine Entwicklung vorhanden sein, aber von Progression kann nicht gesprochen werden. Mehr Basalt wäre nicht eine Höherentwicklung. **Böden** entwickeln sich, aber Schwarzerde eine Progression gegenüber seinem Ausgangsmaterial zuzubilligen - erscheint wohl weit hergeholt, so gesehen eventuell für den Nutzen für die Landwirtschaft. Die Umbildung von noch einfachem Material der Gesteinszerset-

zung in Pflanzenwuchs tragende Böden - zunächst einmal irreversibel und ohne Wiedermorphung zu Gestein - aber Progression? Auch in der Frage der **Progression** oder schon in der der Umbildung, Veränderung, Entwicklung und Evolution liegt ein fundamentaler **Unterschied zwischen "organic" und "inorganic"** (B. WILLIS 1910, S. 251).

Neben LYELL: Neue und weitere Erklärungen der Gebirgsbildung

Gebirgsbildung auf der schrumpfenden Erde: DE BEAUMONT

Ganz wesentliche Einsichten in die **Gebirgsbildungen** der erdgeschichtlichen Vergangenheit, vor allem ihr **Alter**, brachte neben den genannten Überlegungen zum Hebungsmechanismus der führende französische Geologe LÉONCE ÉLIE DE BEAUMONT (A. BIREMAUT 1971). Auch zu den möglichen **Ursachen** der Gebirgsbildungen brachte er wesentliche, wenn auch noch dem Katastrophismus anhängende Gedanken.

ÉLIE DE BEAUMONT war der 25. September 1798 in Canon im Calvados geborene Sproß eines alten Adelsgeschlechtes, der nach der Absolvierung des College Henri IV. in Paris an die Ecole polytechnique und ab 1819 an der Ecoles des Mines, also der Bergbauhochschule, studierte. Er reiste in England und betrieb geologischen Forschungen in Frankreich. Im Jahre 1827 wurde DE BEAUMONT Professor, 1831 auch am College de France. Ab 1835 war er Generalinspekteur der Bergwerke Frankreichs. DE BEAUMONT starb in Paris am 21. September 1874, nachdem etliche seiner Ideen Gemeingut in der Geologie geworden waren, aber seine katastrophistischen Auffassungen kaum noch galten..

Wesentliche Grundlage von ÉLIE DE BEAUMONTs Überlegungen zum Alter der Gebirge waren - und blieben - die **Diskordanzen**. Von einer Diskordanz wird gesprochen, wenn flachere Sedimente auf einem entweder aus plutonischen Gesteinen bestehenden Untergrund ruhen oder flach beziehungsweise wenig gestört auf gestörten Schichten aufliegen, den Resten eines abgetragenen Gebirges das heißt gefalteten oder zerbrochenen älteren Sedimenten aufliegen. Zumindestens muß bei einer Diskordanz zwischen den unterliegenden und dem auf die Diskordanz folgenden Schichten ein Winkel sein. Der Terminus 'Diskordanz' wird auf WERNER zurückgeführt, aber bedeutete bei ihm sedimentäre Kreuz- oder Diagonalschichtung. ELIE DE BEAUMONT war es, der in den Diskordanzen das Ergebnis von Gebirgsbildungen sah und in ihnen die großartige Möglichkeit erblickte, Gebirgsbildungen in einen bestimmten Zeitrahmen einzuordnen. Eine 'Gebirgsbildung' mußte jünger sein als die jüngste mitgefaltete Schicht und älter als die älteste nicht mehr



Abbildung 51: Bohlen b. Saalfeld 1961.

einbezogene, also diskordant darüberliegende Schicht. Zwischen der Faltung oder Störung Schichten und diskordant darüberliegenden Ablagerungen konnten längere Zeiträume ohne Zeugnisse liegen. ELIE DE BEAUMONTsche begründete damit die Diskordanz-Methode für die Feststellung von Orogenesen/Gebirgsbildungen und deren Stellung in der Entwicklung der erdgeschichtlichen Perioden.

In Mitteleuropa liegen auf dem gefalteten oder steil gestellten altpaläozoischen Untergrund dann flache Sedimente das Rotliegende und der Zechstein. Diese Diskordanz kennzeichnet das aus den altpaläozoischen gefalteten Gesteinen gebildete Varistische Gebirge. Dieser Begriff wurde erst später eingeführt, als die Verhältnisse längst gekärt waren, von abgetragen von seinem Schutt, dem Rotliegenden, und dann gar von Meer, dem Zechsteinmeer bedeckt wurde. Nicht überall wurde Rotliegendes abgelagert und es liegt auf dem Altpaläozoikum, so dem Devon oder gar dem Unter-Carbon/Kulm ohne Rotliegendunterlage Zechstein. Entweder fehlte dann dort das Rotliegende oder wurde vor der Überflutung durch das Zechstein-Meer wieder abgetragen. Überall in Mitteleuropa gibt es diese Diskordanz, welche durch die Varistische Gebirgsbildung und dann das darauf folgende Rotliegende und den Zechstein zustandekam. Im Untergrund überall ist diese Diskordanz an wenigen Lokalitäten aufgeschlossen. Diese Lokalitäten sind oft geologische Naturdenkmale. Die mit der Varistischen Gebirgsbildung zusammenhängende Diskordanz wurde einst gedeutet als die ursprüngliche Erdkruste, auf der die Sintflutablagerungen aufliegen. Großartiges Beispiel ist der Bohlen bei Saalfeld mit Zechstein auf älterem Paläozoikum, auf Devon.

Oder bei Neustadt an der Orla in SO-Thüringen, im Mühlengrund, liegt Zechstein auf steilen Kulm-Schichten (s. Bild)

Um es vorwegzunehmen: Auch im 20. Jh. kennt man **nur wenige geologische**



Abbildung 52: Zechstein auf Kulm.

Profile, in denen das **Alter eines orogenetischen Vorganges**, einer 'Gebirgsbildung', **zeitlich hinreichend eingegrenzt** werden kann, weil bei diesen Profilen dokumentiert ist, daß die nächstfolgende Sedimentation bald auf die Gebirgsbildung folgte (H. STILLE 1924). In Niederschlesien fand sich gefaltetes junges Unter-carbon und diskordant darauf folgt tiefstes Obercarbon. Somit konnte hier eine Gebirgsbildung auf die Grenze von Unter-carbon und Obercarbon gelegt werden, womit die sudetische Phase der variscischen Gebirgsbildung festgelegt war.

Später wurde auch gefunden, daß außer den Diskordanzen Störungen am Rande von Gebirgen über das Alter von Gebirgshebungen Aussagen ermöglichen. Am Nordrand des Harzes und am Riesengebirge sind die Kreideschichten schräg und sogar steil gestellt. Nach der Ablagerung dieser ehemals als waagrecht anzunehmenden Schichten haben sich die benachbarten Gebirge herausgehoben. Von dem gehobenen Gebirge wurden Abtragungsprodukte ins Vorland getragen und geben dann etwa auf Grund ihres Fossilgehaltes ebenfalls Auskunft über die Hebungszeit eines benachbarten Gebirges.

Die aus der Gebirgsbildung abgeleitete Kontraktionstheorie

ELIE DE BEAUMONT stand zunächst auch auf dem Boden der Hebungstheorie der Gebirge und Berge. Dann fand er aber eine andersartige, viele Geologen überzeugendere Erklärung: Gebirge sollten vor allem **durch seitlichen Druck** auf Gesteinsmassen entstehen. Dieser Seitendruck sollte zustandekommen durch fortlaufende **Kontraktion**, "**Schrumpfung**", der Erde, die auf ihre ständige **Abkühlung**, durch **Wärmeverlust** ans Weltall zurückzuführen war. DE BEAU-

MONT deutete diese Ansicht 1829 an und begründete sie 1852 ausführlich. Während das noch warme Erdinnere schrumpfte, wurde dem Erdkern die abgekühlte und daher nicht mehr schrumpfende äußere Kruste, "sein Kleid ... zu weit" (H. STILLE 1922). Die Erdkruste mußte nachsinken, sich dabei in Falten legen wie Eisschollen, wenn unter ihnen das Wasser schwindet. Oder, um einen anderen Vergleich, von ELIE DE BEAUMONT, zu bringen: Wie auf der Außenhaut eines austrocknenden Apfels Schrumpelungen entstehen, so sollten auf der Erdoberfläche als Analogbildung der Apfelfrunzeln, wie sowohl ELIE DE BEAUMONT wie PIERRE L. CORDIER annahmen, die Gebirge entstanden sein. Eine von ELIE DE BEAUMONT berechnete Verkürzung des Erdradius um 1500 bis 7000 Meter sollte dabei für die Gebirgsbildung ausgereicht haben. Die Gebirge, so wurde später etwa von EDUARD SUESS auch hervorgehoben, haben keinen symmetrischen Bau wie bei einer Hebung von unten zu erwarten wäre, sondern einen asymmetrischen, was mit Seitendruck vereint werden konnte. Das stimmt übrigens auch mit der Plattentektonik des 20. Jh. überein.

Trotz des als ziemlich kontinuierlich anzusehenden Wärmeverlustes habe **Gebirgsbildung** jedoch **episodisch** stattgefunden, in **Phasen**. Die durch die Schrumpfung bewirkten Spannungen stauten sich etliche Zeiten an, bevor sie sich recht ruckartig in Orogenesen entluden. Mit der Anerkennung einer **Ungleichzeitigkeit der Gebirgserhebungen** wurde der Erdentwicklung ein **wesentlicher Zug** hinzugefügt, wurde nach M. SEMPER (1911, S. 266) gar "die Erdentstehung wirklich zu einer Geschichte". Der Seitendruck kam niemals erdweit gleichförmig, sondern summiert in Einzelzonen zur Wirkung. Gebirgsbildungen konnten aber dennoch in verschiedenen Teilen der Erde gleichzeitig stattgefunden haben und sollten, was mit der Katastrophentheorie vereinbar war, rasch abgelaufen sein. Die Aufrichtung von Gebirgen sollte sich stets auch anderswo, außerhalb der in die Gebirgsbildung einbezogenen Territorien, ausgewirkt haben, indem dort die Grenzlinien zwischen Schichten durch Ablagerungsunterbrechung entstanden. Das waren also solche Grenzen, wie sie von den Katastrophisten zur Feststellung der verschiedenen Katastrophen verwendet wurden (E. DE BEAUMONT 1832, S. 2). Gebirgsbildungen irgendwo auf der Erde führten nach ELIE DE BEAUMONT zu jenen erdweiten **Katastrophen**, welche CUVIER aus den Faunensprüngen und anderen Zeugnissen abgeleitet hatte. CUVIER hatte die Ursachen der Katastrophen offengelassen, sie jedoch keinesfalls mit religiösem Bezug erklärt. Mit der Schrumpfungs- und Gebirgsbildungs-Theorie von ELIE DE BEAUMONT fanden die erdgeschichtlichen Katastrophen eine einigermaßen plausible Erklärung **auf dem Boden der Naturwissenschaften**. Katastrophen, ob es sie nun gegeben hatte oder nicht, behielten nichts Mythisches an sich. Die Bildung des Gebirges der Anden in Südamerika sollte gemäß ELIE DE BEAUMONT die letzte große Flutkatastrophe ausgelöst haben, diejenige, die auch in historischen Berichten belegt

würde. Auch SEDGWICK hatte zu dieser Ansicht gemeint, daß damit "der Tatsache einer neueren Sündfluth alles Unglaubliche genommen" worden sei (ELIE DE BEAUMONT 1832, S. 49), wobei SEDGWICK die Beziehung zur Bibel durchaus wünschte..

ELIE DE BEAUMONTs Theorie verband Erdabkühlung, Erdschrumpfung und Gebirgsbildung, war eine verschiedene Phänomene zusammenfassende, **synthetisierende Betrachtung** von großer Anregung, bei allen bald notwendigen Korrekturen.

Ungeachtet allem siegreichen Aktualismus, obwohl eigentlich im Widerspruch oder wenigstens in Abschwächung zu ihm mit der sich irreversibel verändernden Erdkruste, wurde mit der Vorstellung von der sich abkühlenden und dabei schrumpfenden Erdkruste immer wieder vieles auf der Erdoberfläche erklärt. Erdabkühlung und Erdschrumpfung waren mit ihrer Irreversibilität waren 'Buffon'. Dabei mochten Gebirgsbildungen verschiedener Zeitalter, also die sichtbaren Akte der Schrumpfung, auch solche Ähnlichkeiten aufweisen, daß der Aktualismus auch dadurch nicht gefährdet war.

Die Abkühlungs- und Schrumpfungstheorie blieb **eine der geologischen Grundkonzeptionen**. Sie **wirkte in der Geologie als eine der großen Hypothesen weiter** (s. H. STILLE 1922). Es gab immer wieder Kritik. Aber wer Synthese wollte, hier hatte er sie.

Daß es eine Erdabkühlung gab, setzte **Wärme im Erdinneren** voraus. Diese erdinnere Wärme wurde also versucht nachzuweisen und bei Tiefbohrungen oder bei tiefen Schächten war man also mit dem Thermometer dabei (C. SMITH 1889, S. 35). Der Auffassung vom **heißen Gesamtinneren** der Erde stand gegenüber die Ansicht von begrenzten **Hitzeregionen** in der Erdkruste infolge mehr lokaler **chemischer Reaktionen**.

Die Entdeckung von Wärmebildung durch radioaktiven Zerfall (s. d.) änderte vieles an der Theorie (VON BUBNOFF etwa 1904, S. 214).

Mit dem Aufgeben der Kontraktionstheorie gab es im 20. Jh. eine andere Hypothese, mit der alle **Veränderungen auf der Erdoberfläche erklärt werden sollten**: den Einschlag eines größeren Meteoriten auf die Erde und das dabei erfolgte Herausschlagen des Erdmondes, die auf des berühmten CHARLES DARWINs Sohn GEORG HOWARD DARWIN zurückgehende '**Mondtheorie**' (s. d.), die HEINRICH QUIRING für die Erdgeschichte ausbaute (E. KRAUS 1959, S. 252 ff).

Einwände gegen die Gebirgsbildungs-Auffassung von VON BUCH, ELIE DE BEAUMONT - Andere Auffassungen

Über Gebirgsbildung wurde unter den Geologen nun immer wieder diskutiert und das bis heute. Was bis um 1840, in der als 'klassisch' zu nennenden Phase der Geologie an Gedanken aufkam, wurde später, in den letzten Jahrzehnten des 19. Jh., oft als ganz neu aufgeworfen und wird dort ausführlicher ab gehandelt.

Über Gebirgsbildung in Europa schrieb 1829 ADAM SEDGWICK, daß nach der Ablagerung von Sedimenten des Carbon sowohl die britischen Inseln wie andere große Teile Europas von "powerful disturbing forces" (S. 37) betroffen wurden und daraufhin eine Serie von Formationen von großer Ausdehnung und Komplexität der Struktur erzeugt wurde. Das waren bei SEDGWICK der 'new red sandstone', der 'red marl', all jene Formationen bis zum Lias. SEDGWICK war sich auch der Lücken in der Sedimentablagerung in der Erdgeschichte bewußt und bezweifelte ELIE DE BEAUMONTs weltweite Parallelisierung von Gebirgsbildungen etwa 1829 (S. 39): "But we have no right to assume, nor is there any reason to believe, that such disturbing forces either acted uniformly or simultaneously throughout the world".

Gegen die Auffassungen sowohl von BUCH sowie manche Ansichten von ELIE DE BEAUMONT gab es bald gewichtige und überzeugende Einwände. Die Dinge stellten sich als komplizierter heraus, als sie zunächst angenommen wurden. Gegen das gebirgshebende Magma von BUCH wurde eingewandt, daß **die vulkanischen Gesteine der Gebirge passiv mit emporgehoben** worden waren, also **nicht die Ursache der Hebung** von Erdkrustenteilen waren. PREVOST behauptete, daß das eruptive Magma an Lockerzonen, in Spalten, wo die Kontinuität der Erdkruste unabhängig vom Magma ohnehin unterbrochen war, aufstieg (F. LÖWL 1886). BERNHARD COTTA erkannte um 1840/1860, daß die Granite im Erzgebirge sowie die Melaphyre des Rotliegenden im Thüringer Wald bereits vor der Hebung dieser Gebirgszüge entstanden waren und also nicht die aktiven Momente der späteren Hebung sein konnten (O. WAGENBRETH 1967). Statt einer Hebung mit viel flüssigem Magma gab es also 'trockene Hebung'. Bei tektonischen Vorgängen stieg gewiß oft Magma empor und entstanden Eruptivgesteine, aber diese waren auch nach COTTA Folge, nicht Ursache der tektonischen Ereignisse. Tektonik und Magmatismus wären zunächst einmal getrennt zu betrachten. COTTA (1854, S. 145) wies auch darauf hin, daß um Basaltdurchbrüche im Böhmisches Mittelgebirge, in der Rhön und in der Eifel die Schichten kaum aus ihrer Lage gerückt und keineswegs steil aufgerichtet waren.

Der auch über seinen sächsischen Wirkungsraum hinaus als wichtiger Geologe hervorgetretene **BERNHARD VON COTTA** (O. WAGENBRETH 1985, a. Wi-

kipedia 2017), Sohn des Forstwissenschaftlers HEINRICH COTTA, war am 24. Oktober 1808 noch in Zillbach in der Rhön geboren worden, studierte in Freiberg und Heidelberg, wirkte an der Forsthochschule Tharandt, folgte 1842 nach NAUMANNs Berufung nach Leipzig auf NAUMANNs Freiburger Lehrstuhl, als Professor für Geologie und Versteinerungslehre. Ab Mai 1836 hatte VON COTTA am Hang des Wartenberges bei Hohnstein wegen der Lausitzer Überschiebung Schürfe angelegt und führte ab Juli 1836 hier Bohrungen durch. O. WAGENBRETH (1987, S. 89) interpretierte sie als die ersten Kartierungsschürfe und die ersten Kartierungsbohrungen in der Geschichte der Geologie, die nur für die Klärung theoretischer Fragen angelegt wurden, nicht für die Bodenschatzsuche. Allerdings hatte GOETHE schon kleinere Schürfe für wissenschaftliche Fragen an dem kleinen erloschenen Vulkan Kammerbühl bei Franzensbad in Nordböhmen angeregt. Zahlreich sind COTTAs Reisen in die Alpen, nach Südost-Europa, bis ins Banat, 1868 auch in den Altai. B. VON COTTA starb am 14. September 1879 in Freiberg.

Der Schweizer J. THURMANN (1832) (M. PFANNENSTIEL 1970 a) kam am Faltenjura zu dem Ergebnis, daß auch hier nicht von unten nach oben, also vertikal wirkende Kräfte am Werk waren, sondern nur **Horizontalkräfte**. Der Gedanke wurde dann später von anderen erneut vorgetragen und weitergeführt.

Die entscheidenden Begriffe der Faltenbildung, '**Synklinale**' und '**Antiklinale**', stammen, wie C. F. NAUMANN 1850 angibt, von W. BUCKLAND und W. D. CONYBEARE in England. NAUMANN übersetzte sie ins Deutsche mit 'Mulde' und 'Sattel' (M. PFANNENSTIEL 1970 a).

Zu dem Verhältnis von Tektonik und Vulkanismus war das letzte Woirt natürlich noch nicht gesprochen und eine mehr aktive Rolle des Magmas, wenn auch nicht in dem einfachen Sinne wie bei von BUCH, wurde später wieder diskuiert, bei BRANCA, RECK (1924) u. a.

Auffassungen über die Richtung der Hebungskräfte von Gebirgen

v. BUCH

Von **unten nach oben**, Hebung, durch vulkanische 'Kräfte'

Die Hebung senkrecht von unten nach oben bedingte **symmetrischen** Gebirgsbau

E. DE BEAUMONT, SUESS

Seitenkräfte, infolge schrumpfender Erde

Seitenkräfte wirken, bei DE BEAUMONT aber einseitige Seitenwirkung noch nicht hervorgehoben.

Gebirge gleicher Richtung sollten nach ELIE DE BEAUMONTs Auffassung gleiches Alter besitzen. In Europa glaubte ELIE DE BEAUMONT aus der daraus folgenden Betrachtung 12 Gebirgssystem unterscheiden zu können. ELIE DE BEAUMONT unterschied auf der Erde schließlich 15 Gebirgssysteme. Dabei riß er auch einheitliche Gebirge, in denen etwas verschiedene Streichrichtungen festgestellt wurde, auseinander. Andererseits erkannte ELIE DE BEAUMONT auch Ausnahmen an, bei denen gleiche Spaltenrichtung dennoch verschiedenes Alter nicht ausschloß. Die jüngste und deshalb besonders scharf 'kontrastierte' Gebirgskette waren nach ELIE DE BEAUMONT die Anden, wobei auch die Entstehung einiger in Nord-Süd-Richtung ziehender Gebirgsketten in Asien in dieselbe Gebirgsbildungsära gehören sollte.

Nach ihrer Streichrichtung hatte BUCH in Mitteleuropa 4 'geognostische Gebirgssysteme' unterschieden: 1. das Nordöstliche System, 2. das Alpensystem, 3. das Rheinsystem, 4. das Niederländische System. ELIE DE BEAUMONT ordnete ihre Entstehung verschiedenen Zeitaltern ein. Gerade jugendliche Gebirge, so war deutlich geworden, ragten hoch empor. Die ebenfalls deutlich gewordene Verwitterung zeugte von der Abtragung der Gebirge. Die Folgen der Verwitterung mußten mit dem Alter eines Gebirges zunehmen. Waren die Gebirge von verschiedenem Alter, dann konnte aus dem unterschiedlichen Aussehen der verschiedenen Gebirge auch einiges über die Stärke der Verwitterung abgeleitet werden, wurde die Bedeutung der langsam wirkenden Kräfte bewußt (M. SEMPER 1911).

Unterschied von Auffassungen bei WERNER und ELIE DE BEAUMONT

WERNER

Granit ältestes Gestein; da Granit die Zentralteile vieler Gebirge bildet die Gebirge am Anfang der Erdgeschichte entstanden

DE BEAUMONT

Gebirges haben verschiedenes Alter, auch, wenn in ihnen Granit ist der damit auch zu verschiedenen Zeiten entstand. Bei verschiedenen Alter die mit der Zeit zunehmende Abtragung deutlich.

Mit SMITH, LYELL und DE BEAUMONT waren entscheidende Grundlagen der Geologie, der Theorien in der Geologie, gelegt. Es folgte nun,

auch in der Stratigraphie, eher **ein Ausbau**.

Tektonische Ereignisse bestimmen eine Landschaft - Große Überschiebung resp. Verwerfung: Lausitzer Überschiebung, Oberlausitz

Eine schon im zweiten Jahrzehnt des 19. Jh. beachtete interessante tektonische Störung in Deutschland ist die **'Lausitzer Überschiebung'** (O. LENZ 1870, O. WAGENBRETH 1979 b). Im Jahre 1815 beschrieb MARTINI die Auflagerung von Syenit auf Kreide-Pläner nördlich von Dresden bei Weinböhla. Im Jahre **1827** wurde von WEISS und GUTBIER vom Städtchen Hohnstein am östlichen Rande des Elbsandsteingebirges beschrieben, wie hier Lausitzer Granit ebenfalls auf Kreide liegt und, weil der Granit um vieles älter als die Kreide ist, aufgeschoben sein mußte. Die aufschlußreichen Verhältnisse schilderte WEISS am 5. Februar **1827** vor der Berliner Akademie der Wissenschaften (O. LENZ 1870). In der Überschiebungszone fanden sich, nachgewiesen an Fossilien, sogar Jura-Sedimente, die ansonsten in Sachsen fehlen. Sie waren anderswo in diesem Gebiete offensichtlich abgetragen worden und hatten sich nur im Schutze der 'Lausitzer Überschiebung' erhalten. Der aufgeschobene Granit hatte nirgendwo den ihn berührenden Kreide-Sandstein außer etwas Zerkrümelung verändert, so, wie es offensichtlich als schmelzflüssiges Magma aufgestiegener Basalt selbst in kleinen Vorkommen mit dem Sandstein im Zittauer Gebirge oder auch an einigen Stellen in Böhmen zuwege gebracht hatte. Daraus durfte geschlossen werden, daß der bereits feste Granit, nicht im heißen Zustand, durch tektonische Kräfte auf den Sandstein geschoben worden war. Mit Vulkanerscheinungen war diese tektonische Überschiebung also nicht verknüpft gewesen, wie BERNHARD COTTA 1836/1837 erkannte (O. WAGENBRETH 1987). Diese Überschiebung geschah offensichtlich sehr langsam, an einer ansonsten normalen Erdoberfläche, so wie bei Erdbeben Krustenverschiebungen auftreten. Wurde die Hebungstheorie auch an der Lausitzer Überschiebung zunächst nicht bezweifelt, so war sie schließlich hier jedenfalls in ihrer einfachen Form nicht zu halten. Für das Zustandekommen der Überschiebung mußte eher an von der Seite kommende Kräfte gedacht werden. Die Ausführungen von WEISS 1827, also noch vor LYELL, hatten nach einem späteren Bericht von VON DECHEN (1881, S. 18) "ausserordentliches Aufsehen erregt." B. COTTA "führte in den nächstfolgenden Jahren die berühmtesten Geologen jener Zeit an Ort und Stelle .., so A. von Humboldt, L. von Buch, Elie de Beaumont, G. Rose, C. O. von Leonhard und Nöggerath".

Bei Hohnstein im Elbsandsteingebirge ist an der Wartenbergstraße diese Überschiebung an einer Stelle aufgeschlossen. Schob sich ein Gesteinspaket über ein anderes ent-



Abbildung 53: BERNHARD VON COTTA-Erinnerung. Freiberg.



Abbildung 54: Zw. vorn u. hinten: Lausitzer Verwerfung.

standen an der Überschiebungsfläche **Glättungen**, 'Harnisch' genannt, und auch so etwas ist an dem Ort aufgeschlossen. Nach VON GUTBIER wurde die Höhe der Überschiebung 1850 (S. 51) auf "mehr als 900 Fuß" veranschlagt.

Gebirgsbildungen und damit Schichtenstörungen erfolgten, so war um 1854 etwa B. COTTA klar, **nicht ruckartig**, katastrophengleich, offensichtlich auch nicht im Erdinneren, jedenfalls nicht allein. B. COTTA schrieb 1854 (S. 146), als LYELLs Aktualismus schon die Geologie prägte: "Aus sehr vielen Thatsachen ergibt sich, daß nicht nur der Zerstörungs -, sondern auch der Bildungsproceß, die Erhebung der Gebirge, ein außerordentlich langsamer war und ist. Sehr viele auf einander folgende locale Hebungen sind nöthig gewesen, um ein bedeutendes Gebirge hervorzubringen, und diese können durch lange Perioden der Ruhe, in welchen allmälige Abschwemmung wirkte, oder sogar durch temporäre Senkungen unterbrochen worden sein. Theilweise läßt sich der Wechsel solcher Perioden aus



Abbildung 55: Granit rechts ob. auf Sandstein.

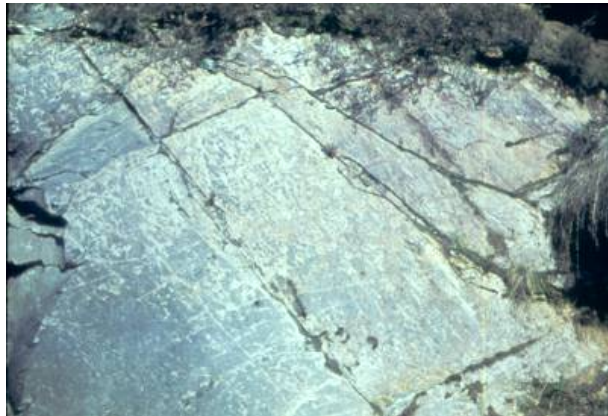


Abbildung 56: Harnischfläche.

dem ungleichen Verhalten der Flötzformation nachweisen. Sind einige derselben stärker erhoben oder aufgerichtet als andere, so läßt sich vermuthen, daß jene von einer größeren Zahl einzelner Hebungen betroffen wurden, als diese, und sind einzelne gar nicht aus ihrer horizontalen Anlagerung gestört, so kann man schließen, daß sie erst nach der letzten Erhebung abgelagert wurden ...”

Weiter im Osten steigt das **Zittauer Gebirge** über das Zittauer Becken, denn hier sind die Sedimente der **Kreidezeit**, Sandstein, **über den Granit**, im Zittauer Becken, gehoben und überschoben, ”stieg der Kreideflügel an der Strörungslinie ermpor” (F. HAEFKE 1959, S. 275), so im Oybin, und diese Kreidesedimente sind auch durch Phonolithdecken geschützt.

Bruchlinien formen eine Landschaft: ELIE DE BEAUMONT und der Rheintal-Graben / 1841

ELIE DE BEAUMONT hatte noch eine andere Art der **Bildung von gegeneinander verstellten Erdkrusten-Teilen** erkannt, das – wenigstens relative – teilweise beträchtliche **Absinken von Teilen zwischen anderen längs Bruchlinien** erfolgte. Er erfaßte das für den in ziemlicher Nord-Süd-Richtung ziehenden Oberrhein-Graben, oder einfach ’Rheingraben’, der eingefaßt zwischen den ebenfalls in Nord-Süd-Richtung ziehenden bis 1500 m Höhe erreichenden Mittelgebirgen Schwarzwald im Osten und den Vogesen im Westen sich ab nördlich Basel etwa 300 km nach Norden erstreckt, bis 40 km breit. ELIE DE BEAUMONT kam zu der als Intuition wirkenden Erkenntnis von einem zwischen den Randgebirgen abgesenkten Graben, dem Einbruch eines langgestreckten Gewölbes, als er am 28. Juli **1836** auf der Höhe der Röthiflüh am 1284 m hohen Weißenstein oberhalb der Stadt Solothurn bei klarem Wetter nach Norden blickte und im ’streifenden Lichte’ (M. PFANNENSTIEL 1970, S. 12) der Sonne die Zwillingsgebirge Schwarzwald und Vogesen und dazwischen das Rheintal sah. Verband er Vogesen und Schwarzwald in einem Bogen und sah ihn im Rheingrabengebiet eingesunken, dann erstand ihm das Bild des Grabens mit dem eingesunkenen Schlußstein, ”la clef de la route”. Niedergelegt wurde das etwa **1841**. Das war das erstes klar erfaßte Beispiel von **Bruchtektonik**, die Einsicht in die Gestaltung eines Stückes der Erdkruste als Ergebnis tektonischer Vorgänge, die mit Bruchlinien verbunden sind. Die Nord-Süd ziehenden Gebirge längs dem Rheintal bestehen dabei aus viel älteren Gesteinen als im Rheintal-Graben auch unter der jüngeren Flußaufschotterung vorhanden sind.

Hinsichtlich der Sedimente des Mesozoikum am Rande des Rheintales entwickelte EDUARD SCHWARZ, ”Prediger zu Botenheim unfern Heilbronn”, die klarere



Abbildung 57: Ob. geblieb. Vogesen; Belchen.



Abbildung 58: W-Abfall Odenwald.

Vorstellung: "Die im Rhein-Tale" vorhandenen "Partien des bunten Sandsteines, Muschelkalkes, Keupers und Jurakalkes sind die Lappen von den durch die Emporhebung der Schwarzwald - Vogesen zerrissenen Schichten."

Gebirgsbildung jeweils nur in speziellen Erdregionen: Der Geosynklinalen-Gedanke / DANA

Ein auffallender Tatbestand war, daß in Gebirgen die in bestimmten Perioden der Erdgeschichte abgelagerten marinen Sedimente viel stärker waren als außerhalb der Gebirgsregionen. Gebirge waren offensichtlich gerade dort entstanden, wo sich ein absinkendes und reiches Sedimentmaterial aufnehmendes Meer befand. So kam es zu der Idee von 'Geosynklinalen' als Räumen der Sedimentation und anschließenden Faltung und des noch späteren Gebirgsaufstieges aus dem Meeresraum.

Der Gedanke der Geosynklinalen geht zurück vor allem auf den US-Amerikaner JAMES DWIGHT DANA (C. L. FENTON et al. 1952), der unter den Naturforschern mit Zusammenhangsdenken, mit der Fähigkeit zum Durchdenken der großen Probleme hervorragte. Geboren 1813 in der kleinen Stadt Utica im Staat New York, besuchte er das Yale College, fuhr zur See, war Assistent bei dem Chemiker SILLIMAN sr. und wurde 1838 - 1842 Teilnehmer der Schiffs-Expedition unter CHARLES WILKES in die Südsee. Vor allem war er zunächst Zoologe, der sich besonders auch mit den Korallenriffen befaßte. Aber er versuchte sich auch an einem umfassenden Bild der Erdentwicklung, in Ergänzung von DE BEAUMONT. Die **Abkühlung** auf der deshalb schrumpfenden und Gebirgsbildung auslösenden Erdkruste geschah DANA'S Meinung nach **nicht gleichmäßig** über die gesamte Erde. Die Ozeanböden blieben lange wärmer, kühlen sich nun aber ab, ziehen sich zusammen und schrumpfen. Das wirkt auf die benachbarten Kontinente. An diesen Grenzlinien erfolgte die Gebirgsbildung. Das verstärkte sich in bestimmten Perioden, wobei Kontinente und Ozeanbecken ansonsten ihre Lage behielten. Die Ungleichheiten der Kontraktion der Erdkruste sollten also Schwächelinien hervorrufen. Auf DANA ist der Gedanke der "Geosynklinale" als einem "säkular sinkenden Sedimentationsraum" (H. STILLE 1913, S. 7) zurückzuführen und solche "Zonen großer Mächtigkeit der Sedimente" wurden die Faltungszonen, aus denen sich, mit ihrem gefalteten und überschobenen Material, **sich die Hochgebirge emporhoben**. Der Terminus "**geosynclinals**" erscheint **1873** (s. a. etwa 1901). Mit der zunehmenden Verfestigung der Erdkruste, also auch der Ozeanböden, würde die Entstehung von Geosynklinalen abnehmen. Seitendruck ließe die Gebirge besonders hoch emporsteigen.

Der mit seinem früheren schottischen Namensvetter nicht zu verwechselnde US-amerikanische Geologe und Paläontologe JAMES HALL trug 1883 auf der 31. Versammlung der American Association for the Advancement of Science in Montreal nochmals seine Ausführungen vor, die er schon 1857 auf der ebenfalls in Montreal stattgefundenen Versammlung ebenfalls der amerikanischen Wissenschaftlervereinigung gehalten hatte, die aber damals nicht gedruckt worden waren. HALL hatte auf die mächtigen Sedimentationsfolgen hingewiesen, aus denen das bis 2400 km im Osten Nordamerikas in Nord-Süd-Richtung hinziehende und bis 2000 m ansteigende Appalachen-Gebirge aufgebaut ist. Der Entstehung dieses Gebirges mußte also eine lange, durch Senkung in große Tiefen reichende Sedimentation vorausgegangen sein. HALL meinte, daß die Sedimentation der Senkung vorausgeht, die Sediment-Anhäufung also Ursache von Absenkung ist, DANA sah wohl richtig, daß die Senkung der Sedimentation vorausging. In den absinkenden Sedimenten hatte sich auch Kohle gebildet und war produktives Carbon, also Kohle, in den Alleghanises / Appalachen mit gehoben worden und befindet sich heute in Kuppen des Gebirges. Das wird den Kuppen heute wenigstens teilweise zum Verhängnis, denn sie werden für die Kohlegewinnung weggesprengt.

Der 1895 gestorbene DANA, der lange sein wissenschaftliches Werk unter schwerer Erkrankung weiterführen mußte, stand lange gegen die DARWINsche Evolutionstheorie, behielt seinen religiösen Glauben bei und sah in der Evolution zumindestens das Werk Gottes. HALL, der sich mit seinen Ansichten 1857 nicht durchdringen konnte, starb 1898.

Ungleichartigkeit von Sedimenten der gleichen Periode: Die Fazies

Frühe Vorstellungen von Fazies

Während WERNER annahm, daß zu bestimmten Perioden der Erdgeschichte wenigstens die vorherrschenden Gesteine in den jeweils vorhandenen Meeresräumen erdweit abgelagert wurden, die Leitfossilien nach SMITH erdweit verbreitet waren und andere Forscher auch die Katastrophen oft als erdweit betrachteten, so mußte sich vom Blick auf die heutige Erdoberfläche her eher erweisen, daß **in den einzelnen Gebieten** der Erdoberfläche wohl **stets unterschiedliche Bedingungen** herrschten. Selbst wenn die Klimazonen einst weniger ausgeprägt waren als heute, so war doch zu erwarten, daß bei aktualistischer Betrachtung doch Meer und Festland sowie auf dem Festland Süßwasser und Trockengebiet auch einst nebeneinander bestanden haben. Es konnte also nicht erwartet werden, daß dasselbe Gestein

sich territorial kontinentenweit verbreitet auffinden läßt. Der Gedanke der Fazies, der zeitgleichen Ablagerung unterschiedlicher Gesteine, dem Nebeneinanderbestehen verschiedenster Lebensgemeinschaften in einem Sedimentationsraum zu gleicher Zeit (H. MURAWSKI 1964), war aus der gegenwärtigen Betrachtung der Erdoberfläche fast zwangsläufig zu erschließen. "Die Möglichkeit, wie ein geologischer Horizont auf weite Strecken sich vollständig gleichbleiben konnte," überlegte einmal EBERHARD FRAAS 1899 (S. 36 / 37), ist "viel schwieriger auszudenken und zu erklären ... als die Erscheinung, daß ein mannigfacher Wechsel und Verschiedenheiten der Gesteinsbeschaffenheit, wie der Tier - und Pflanzenwelt selbst innerhalb kurzer räumlicher Entfernung eintrat." Aber auch die Forschung im Gelände ließ die regionalen Unterschiede zeitgleicher Ablagerungen deutlich werden. Das mochte später als selbstverständlich erscheinen.

WERNER hatte in einer später fast unbegreiflichen Simplifizierung (R. BRINKMANN 1948, S. 44, O. WAGENBRETH 1979 c) **globale Schlußfolgerungen aus regionaler Forschung** gezogen, während der Vergleich der ermittelten Gesteinsfolgen anderswo und die überregionale Forschung anderer die **regionalen Besonderheiten** hervortreten ließen. Allerdings kann nicht verkannt werden, daß eine ähnliche Gesteinsfolge, etwa der Trias, sich etwa in Mitteldeutschland auch an recht verschiedenen Aufschlußplätzen finden läßt, also dieselben Erscheinungen wenigstens über einen größeren Raum doch ähnlich sein können. Fazies erwiesen sich also unterschiedlich weit ausgebreitet. Rascher Wechsel fand sich ebenso wie weiträumiges Auftreten derselben Fazies.

In verschiedenen Zeitaltern konnten gleichartige Fazies auftreten. Diese Fazies sind **isopisch**. Verschiedenartige Fazies auch desselben Zeitalters heißen nunmehr **heteropisch**. Durch **Änderung der Fazies in der Zeit** gibt es **die verschiedenartigen übereinanderliegenden Schichten** (S. VON BUBNOFF 1954), und sonst könnten Schichten nur durch Schichtlücken oder schräges Aufeinanderliegen der Ablagerungen entstehen.

Der Sache nach wurde das Fazies-Konzept zunächst andeutungsweise von verschiedenen Forschern geäußert. LUIGI FERDINANDO MARSILI aus Bologna erkannte etwa am Bosporus um 1725 das Vorkommen, auch das Nebeneinander, verschiedenartiger Sedimente. Er unterschied der Sache nach Schelf, Schelfkante, Kontinentalabfall, die submarinen Canyons (M. PFANNENSTIEL 1970). LAVOISIER unterschied lit(t)orale und pelagische Sedimente. Daß offensichtlich in einundderselben erdgeschichtlichen Periode gebildete Sedimente nicht an jedem Orte gleichartig aussehen müssen, wurde etwa 1806 auch J. L. HEIM (S. 12) bewußt, der vom 'Totliegenden' schrieb: "Mit der Zeit lernte ich endlich einsehen, daß das Todliegende, nicht als eine Gebürgsart, sondern als ein Gebürgslager, nicht oryktognostisch nach der Beschaffenheit seines Gesteins, sondern geognostisch, nach sei-

nen Lagerungsverhältnissen zu beurtheilen sey." Der Sache nach entwickelte die 'Fazies'-Vorstellung dann LOUIS-CONSTANT PRÉVOST als er zeigte, daß 1827 im Pariser Becken befindliche Meer- und Süßwasser-Ablagerungen nicht wie angenommen nacheinander, sondern auch nebeneinander abgelagert wurden, also 'laterale Äquivalente' sind. Damit entfiel CUVIERs Vorstellung von den plötzlichen Meeresüberflutungen, welche das Süßwasser schnell überwältigten. Aber PRÉVOST benutzte eine verwirrende Terminologie. Er schrieb von "du synchronisme des formations", von verschiedenen 'Formationen' in derselben Zeit und gleichen 'Formationen' in verschiedenen Epochen. Der Terminus 'Formation' wurde hier also so verwendet, wie später der Begriff 'Fazies' angewendet wurde. In seinem großen Werk über die Sedimente in Nordwest-Deutschland hat 1830 (S. 475) auch F. HOFFMANN berichtet, daß er die "Glieder" der großen Gruppen der (Sediment-)Gesteine "nicht überall gleichförmig in der angegebenen Ordnung Ordnung sich wiederfinden lassen. Sandsteine werden von ihnen sonst untergeordneten Schiefert-honbildungen und Kalksteinen ersetzt, ..." Die Dicke der verschiedenen Schichten erwies sich auch an verschiedenen Orten als unterschiedlich. Und in Deutschland, wie O. WAGENBRETH (1964) herausarbeitete, war BERNHARD COTTA dem, was bald 'Fazies' hieß, noch ohne Kenntnis von GRESSLY 1842 sehr nahe gekommen. Es hieß etwa (zit. bei O. WAGENBRETH 1964, S. 154): "Es ist denkbar und wahrscheinlich oft der Fall, daß die Schichten einer Zeitepoche an einem Orte Reste von Bewohnern des Meeres und an einem andern solche des Festlandes oder der Landgewässer enthalten; ..." COTTA schrieb von Parallelfformationen oder **Äquivalenten**, nicht gerade sehr klaren Begriffen.

Die sichere Begründung der Fazies-Vorstellung: AMANZ GRESSLY

Als Begründer der "Fazies-Auffassung", der, und das ist wichtig, das 'auf den Begriff brachte', erscheint der Schweizer AMANZ GRESSLY (F. LANG 1873, M. PFANNENSTIEL 1970 b, C. J. SCHNEER 1972). Wie bescheiden und unverwüstlich bis zur Verwahrlosung muß und kann man sein, um das Schweizer Jura-Gebirge so nach allen Richtungen zu durchstreifen, daß man hier die ganze Fülle der Fossilien aufsammelt und dann das Fazies-Konzept begründen kann? Geboren am 17. Juli 1814 als erstes von 8 Geschwistern, wuchs er auf "in einer einsamen, wildromantischen Bergschlucht des solothurnischen Jura" (F. LANG 1873, S. 5), in dem von seinem Großvater begründeten Glaswerk La Verrerie in Bärschwyl an der Birs. Er betrieb nach dem Besuch von höheren Schulen in Solothurn, Luzern und bei den Jesuiten in Freiburg das Studium der Medizin in Straßburg. GRESSLY (a. R. LAUTERBORN 1934, S. 120 ff.) wandte sich aber zunehmend der

Geologie zu. Unter Geologen fand er in Straßburg Freunde, so Professor PHILIPP LOUIS VOLTZ und JULES THURMANN. GRESSLY kehrte in sein Vaterhaus zurück und sammelte von dort aus reichlichst Fossilien im Juragebirge.

Das Konzept der "Fazies" oder des "aspects de terrain" findet sich **1838** bei dem 24-Jährigen in dessen Arbeit "Observations géologiques sur le Jura Soleurois", in dem GRESSLY seine paläontologischen und mineralogischen Befunde vorlegte. Bemerkenswert war die Feststellung, daß an der nach der Schweiz weisenden Seite das Juragebirge sich das Gestein in mineralogischer Hinsicht wie nach den Fossilien sich von dem dem gleiche geologischen Horizont angehörendem Gestein an der nach dem Elsaß zugewandten Seite unterschied. Unterschieden wurden, auch im Fossilgehalt, etwa die "mechanisch" entstandenen Sedimente im bewegten Meer, die "Korallenfacies" (facies corallien), und die hauptsächlich "chemisch" entstandenen Ablagerungen im "friedlichen Meer", die "Schlammfacies" (facies vaseux). Es heißt etwa (zitiert aus: H. MURAWSKI 1964, S. 586 nach A. GRESSLY 1838, S. 20): "Jede Fazies einer Ablagerung zeigt wohlumrissene Eigenheiten petrographischer, geognostischer und paläontologischer Art, die in klarem Gegensatz zu den Eigenheiten eines anderen Faziesbereiches in gleichem geologischen Niveau stehen." GRESSLY brachte mit seiner Arbeit eine neue innige Wechselbeziehung zwischen der Petrographie, der Erforschung der Gesteine, und der Fossilforschung zustande. Er hat dann noch etliche Äußerungen zu den Hebungszeiten des Juragebirges gebracht. Noch etwas mehr als doppelt so lange sollte GRESSLY leben, ohne je einen Wirkungskreis etwa im akademischen Leben zu finden. Darin gleicht er K. F. SCHIMPER.

Die Arbeit von GRESSLY wie seine große Fossiliensammlung fanden aber die Aufmerksamkeit des Zoologen und Gletscherforschers LOUIS AGASSIZ, der damals in Neuenburg/Neuchâtel wirkte. Er engagierte GRESSLY als Assistent, benutzte dessen Fähigkeiten und Fossiliensammlung ziemlich frei für seine Monographien. In Neuenburg wurden auch E. DESOR und CARL VOGT Freunde von GRESSLY. Jedoch erlitt GRESSLY psychische Störungen, die man etwa auf seinen unregelmäßigen Lebenswandel in Verbindung mit den weiten Exkursionen und auf unangenehme Lebenserfahrungen zurückführte (F. LANG 1873). Bei aller Bedürfnislosigkeit, die auch Übernachtung im Heuhaufen einschloß, Nikotin und vor allem Alkohol waren in die Anspruchslosigkeit nicht eingeschlossen. Der als genial betrachtete GRESSLY war wenigstens zeitweilig der stinkende Landstreicher, dem der normale Juramensch aus dem Wege ging. Der sich äußerlich schon immer vernachlässigende GRESSLY, wohl schlimmer als nur "der etwas verwilderte Sohn unserer Berge" (F. LANG 1873, S. 27), lebte um 1845 für einige Zeit in einem Sanatorium. Als seine Fossilsammlung in einem Zimmer der Kantonsschule in Solothurn aufgestellt wurde, bestand sie aus 1.200 Species in 8.000 Exemplaren. **Fossilien**

waren für GRESSLY nicht nur Zeitmarken für die Stratigraphie, sondern einstige **Lebewesen, biologische Objekte**, mit **Aussagen über ihre Umwelt**. Das entsprach auch seinen Fazies-Feststellungen. GRESSLY fand viel Anerkennung, als er für Tunnelprojekte vor deren Inangriffnahme geologische Profile lieferte und diese stark mit den anschließend gefundenen Sachverhalten übereinstimmten. Der als Erbe seines durch Heirat reich gewordenen und verstorbenen Bruders wohlhabend gewordene E. DESOR unterstützte GRESSLY, indem er ihm im Winter Obdach bot und **1859** zu einer Reise für **rezente Faziesstudien am Mittelmeer** bei Cette (heute: Sète) in Südfrankreich mitnahm. Hier konnte GRESSLY an der **heutigen Tierwelt den zonenweisen Wechsel vom Strande bis zu den größeren Meerestiefen** verfolgen. Im Jahre 1861 konnte GRESSLY an der eigenwilligen Nordlandfahrt teilnehmen, die der in Frankfurt a. M. wohnhafte Dr. BERNA ausrichtete und zu der als besonders prominenter Teilnehmer der Zoologe CARL VOGT gehörte. Einerseits wurden das Nordkap, die Insel Jan Mayen und Island besucht, aber auch Feiern und Bechern kamen auf dem Schiffe nicht zu kurz. Noch mit Kartierungen für das Eisenbahnnetz im Berner Jura beschäftigt, verfiel GRESSLY wieder in seine psychischen Störungen. Bewunderswert jedoch der Stil, in dem GRESSLY etwa seine Erlebnisse am Mittelmeer beschrieb (s. R. LAUTERBORN 1934, S. 126/127) . Gestorben ist er 51-jährig plötzlich am 13. April 1865. Einen wesentlichen Teil von GRESSLYs Fossiliensammlung hatte AGASSIZ 1846 mit nach den USA genommen.

Fazies - bei aller Stratigraphie zu beachten

Im Fortgang der Parallelisierung der zeitgleichen Schichtfolgen in verschiedenen Regionen wurden **immer mehr Faziesunterschiede bei gleichalten Sedimenten** erkannt. Auch der **Steinbruchbetrieb** war auf bestimmte Fazies innerhalb der Horizonte angewiesen. Nur an einigen Stellen war im Buntsandstein der Rogensandstein oder im Malm der Malm"schiefer" vorhanden. Die Erkenntnis der Fazies zeigte, daß die Feststellung gleichalter Schichten vielfach problematisch ist, wie E. VON MOJSISOVICS 1874 noch einmal hervorhob, als er über seine jahrelangen Untersuchungen der Schichtfolgen in den Ostalpen berichtete.

Die **Namen** der Formationen sind ohnehin **nur aus der Forschungsgeschichte** verständlich, als von einem begrenzten Gebiet und der dortigen Gesteinsausbildung, der dortigen Fazies aus für eine Schichtenfolge eine Benennung geprägt wurde. So sind die Formationsnamen oft Faziesbezeichnungen. In der "Kreide"-Zeit wurde keineswegs überall Kreide abgelagert, und etwa im Elbsandsteingebirge ist von Kreide zwischen den kreidezeitlichen Sandsteinen nichts zu vermerken. Kohlen, auf die sich der Name 'Carbon' bezieht, entstanden zu den verschiedensten Zeiten

und hatte nur entsprechendes Pflanzenwachstum zur Voraussertzung. Eingeführte Namen zu ändern ist immer eine mißliche bis unmögliche Sache.

Auf die Fazies hatten der sache nach verwiesen etwa aus dem Vergleich der Fossilien und der Gesteinslagerung wurde etwa deutlich, um 1839 durch SEDGWICK (M. J. S. RUDWICK 1975) und MURCHISON in England, daß gewisse schiefrige Sedimente, vorher zum Silur gestellt, dem Old Red Sandstone äquivalent sind (s. a. A. GEIKIE 1892), also zwei Fazies der selben Zeit sind, und beide wurden als das besondere System des Devon ausgegliedert. Ebenfalls MURCHISON und SEDGWICK fanden, daß die untere Abteilung des Carbon nicht überall als Kohlenkalk vertreten ist. sondern etwa in Devonshire und in der Rheingegend in einer sandig-schiefrigen Bildung, mit der charakteristischen Leitmuschel *Posidonia Becheri* (E. KAYSER 1902). HERMANN CREDNER (1872, S. 260) hat etwa in Nordamerika gefunden, wie die Steinkohlenformation im östlichen Verbreitungsgebiet aus groben Konglomeraten besteht, diese "nach Westen zu in Sandsteine mit fossilen Land- und Sumpfpflanzen übergehen" und "nach dem Mississippi zu die Konglomerate und Sandsteine von Kalksteinen mit marinen Resten vollständig verdrängt" werden.

Große fazielle Unterschiede fanden sich bei den mesozoischen Schichten, also **Trias, Jura und auch Kreide**, die **im außeralpinen Deutschland und im Alpenraum** (E. v. MOJSISOVICS 1874) ganz verschieden und anders ausgebildet sind als im übrigen Mitteleuropa. Der Alpenraum gehörte zu dem viel weiterreichenden Sedimentationsgebiet der Tethys, eines in Ost-West-Richtung sich erstreckenden Meeres. Die Formation der "Trias", eine Dreiheit von Schichtenpaketen, also von Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper, gab es nur im außeralpinen Mitteleuropa, in Württemberg oder Thüringen etwa oder in Franken. Im Alpenraum sind dieser "Trias" ganz andere Schichten als gleichalt einzuordnen, wobei mehr als "drei" Abteilungen zu unterscheiden sind. Mit die auffallendsten Faziesunterschiede weist die Kreideformation (H. CREDNER 1872) auf. Auf Rügen und anderen Ostseeinseln oder an der Kanalküste sowohl auf französischer wie auf englischer Seite sind die Ablagerungen weiße Schreibkreide mit Feuersteinknollen. Im Elbsandsteingebirge und im Nordharzgebiet sind die Ablagerungen der Kreidezeit Sandsteine. Im Hannoverschen und im Braunschweiger Gebiet sind kreidezeitlich Mergelkalk und plastischer Ton, in Frankreich, Belgien und dem östlichen Nordamerika Glaukonitmergel. Eine "grössere Schwankung in dem petrographischen Charakter ist kaum denkbar," bemerkte H. CREDNER (s. 1872, S. 263). "Dennoch", betonte er weiter, "geben sich alle diese verschiedenen Ablagerungen durch die gemeinsame Führung einzelner identischer und zahlreicher nahe verwandter Thier - und Pflanzenformen ... zu erkennen."

Wo über große Flächenräume die äußeren Verhältnisse gleich waren, dort durf-

ten weitausgedehnte einförmige Bildungen mit konstantem Charakter abgelagert werden (E. v. MOJSISOVICS 1879). In der Nähe von Küsten und im Bereich sich kreuzender Strömungen entstand eine Mannigfaltigkeit der Exstanzbedingungen mit in der Horizontalen sich ablösenden Ablagerungen. In der Terminologie wurde das später weiter differenziert. E. v. MOJSISOVICS nannte zu gleicher Zeit in demselben Raum entstandene verschiedenartige Fazies 'heteropisch'. Gleichartige Fazies in verschiedenen Räumen (Provinzen) und zu verschiedenen Zeiten nannte v. MOJSISOVICS 'isopisch'. Besondere Fazies, extreme Lebensräume, waren etwa schwefelwasserstoffhaltige Meere oder salzreiche Meere. Die Vielfalt bis heute fort-dauernder Meeres-Ablagerungen wurde auf den ozeanographischen Expeditionen deutlich. Erst damit wurden die einstigen Meeresablagerungen genauer deutbar. Der aus Neuchâtel nach den USA übergesiedelte Graf LOUIS FRANÇOIS DE POURTALÉS unterschied die beiden unterschiedlichen Tiefseesedimente 1. den Globigerinen-Schlick, kieselsäurereich und kalkarm, 2. Pteropoden-Schlick, kalkreich und kieselsäurearm (M. PFANNENSTIEL 1970).

Der hier öfters genannte EDMUND VON MOJSISOVICS, Edler von Mojsvar (R. HOERNES 1908), war einer der führenden Geologen in der Ausbauphase der Stratigraphie mit Forschungen vor allem in den Alpen. Er wurde am 18. Oktober 1839 als Arztsohn in Wien geboren. Er studierte Jura und kam durch seine Liebe zu den Alpen zu ihrer geologischen Untersuchung. Die Arbeit in Wien in k. k. geologischen Reichsanstalt zog er einer geologischen Lehrkanzel vor. Das geologische Rüstzeug vermittelte ihm EDUARD SÜSS. Gestorben ist VON MOJSISOVICS am 2. Oktober 1907.

Erweiteres Fazies-Denken

Unterschiede in geologischen Gegebenheiten waren schon den älteren Bergleuten bekannt, wenn sie in unterschiedlichen Tiefen auf unterschiedliche Mineral-Vergesellschaftungen, **Mineralparagenesen**, stießen. In Erweiterung des 'Fazies'-Begriffs im 20. Jh. sprach B. SANDER von "tektonischer Gesteinsfazies" (H. MURAWSKI 1964). Die in den einzelnen **Tiefenstockwerken** unterschiedliche Ausbildung von metamorphen Gesteinen wurde 1920 von P. ESKOLA, als '**metamorphe Fazies**' bezeichnet. Kommen solche in verschiedener Tiefe unterschiedlich metamorphosierte Gesteine an die Erdoberfläche, kann dann zum Nebeneinanderliegen kommen, was in verschiedener Tiefe seine unterschiedliche Prägung erhielt.

Verwertung von Schichten für die Deutung der Erdgeschichte

zeitliche Einordnung der Schicht

fazielle Einordnung, Beurteilung der Ökologie einer Ablagerung

durch Leitfossilien

erschlossen aus den Fossilien, namentlich nach ökologischen Anpassungen, Bildungsumstände der Gesteine

Die Erstellung einer erdweiten 'System'- beziehungsweise Formationstabelle, die Parallelisierung und die Parallelisierungsreisen

Es war zunächst durchaus offen, und die Fazies zeigten die Schwierigkeiten, ob es möglich sei, daß sich weltweit dieselben Erdzeitalter aussondern lassen. Es galt also, die zunächst in einem begrenzten Gebiet aufgestellten Schichten mit denen anderswo zu vergleichen, und zwar vor allem hinsichtlich des gemeinsamen Fossilgehaltes. Daß solche Vergleiche von Schichtfolgen in Großbritannien und auf dem europäischen Festland notwendig waren, betonte früh etwa CONYBEARE, wobei er etwa auf THOMAS WEAVERs Vergleich der Flöz"formationen" von Deutschland und der Sekundär"formationen" Englands 1821 verwies (L. G. WILSON 1980). Dazu wurden namentlich ab dem Ende der 30er Jahre des 19. Jh. Reisen in verschiedene Teile Europas und andere Erdteile unternommen, auf welchen solche 'Parallelisierung' der Schichten erfolgte. Nirgendwo auf der Erde sind die Schichten aller erdgeschichtlichen Perioden ohne Unterbrechung abgelagert worden. A. SEDGWICK stellte 1829 im nördlichen Mittelengland, in Nottinghamshire, Derbyshire, Yorkshire und Durham fest, daß der nach dem Carbon abgelagerte 'New Red Sandstone' auf unterschiedlicher Unterlage, also unterschiedlichen älteren Ablagerungen, aufliegt. Es war die Schwierigkeit zu klären, welche Lücke zwischen dem 'New Red Sandstone' und seiner Unterlage in den einzelnen Gebieten bestand. Von den Gesteinen her konnte es schwer geschehen und Leitfossilien waren hier wichtig. SEDGWICK klagte (1829, S. 38): "The greatest difficulties in classifying distant portions of the new red sandstone have not, however, so much arisen out of its mechanical origin and complexity of structure, as from its general want of conformity to All the inferior formations". Dasselbe traf für die Einordnung des 'magnesian limestone' zu, der den Zechstein des Kontinents in England vertrat. "It is impossible", heißt es bei SEDGWICK 1829 (S. 39), "to form even the shadow of a conjecture respecting the interval which elapsed between the commencement of the great dislocations of the coal - measures and the completion of the next superior deposit of magnesian limestone". Vom 'Old Red Sandstone' hieß es 1829 bei SEDGWICK (S. 39): "Lastly, in South Wales, the old red sandstone graduate into grauwacke, and is probably conformable to it. But in the northern counties of England the same formation are unconformable, and are as perfectly distinguished from each other as the dolomitic conglomerates of the western coal fields are from

the rocks on which they rest". In Durham hatte SEDGWICK vergeblich nach jenen Konglomerat-Schichten (beds of conglomerate) zwischen den Carbonschichten und dem Kalkstein (limestone, also hier Zechstein) gesucht, welche in der Nachbarschaft der südwestlichen Kohlegebiete über den schief gestellten Ablagerungen der älteren Formationen auftreten. Das großartige Canon des Colorado mag gewiß vieles aus der Abfolge der Sedimente aus der Erdgeschichte bieten, aber das 'Tagebuch der Erde' ist nirgends vollständig. Man mußte also von verschiedensten Stellen her zusammensetzen, um das Gesamtbild zu bekommen.

Zunächst aber mußten in einem begrenzteren Territorium die Parallelisierungen geschehen. Etwa 1829 wurde A. SEDGWICK deutlich, daß die in manchen deutschen Territorien unterschiedenen Schichten Rot-Tot-Liegendes, Kupferschiefer und Zechstein, Rauchwacke, Stinkstein, bunter Sandstein, Muschelkalk, Keuper ihre ähnlichen oder faziell etwas unterschiedenen Analogausbildungen in England besitzen. Beim Vergleich war auch wichtig, gute Basisschichten für den Vergleich zu haben, "to which the ascending or descending groups may be referred in the natural sections" (A. SEDGWICK and R. I. MURCHISON 1842, S. 225).

Nach und nach, in vielen Debatten und mit manchen Umwegen gliederten sich die großen 'Systeme' und 'Formationen' heraus. Wie B. COTTA (1854, S. 118 / 119) schrieb: "Die ideale Reihe der übereinander liegenden Flötzformationen ist nun erlangt worden durch ein gleichsam ideales Zusammenschieben der einzelnen theilweisen Reihenfolgen von vielen einzelnen Beobachtungspunkten,..." Die Aussonderung der 'Formationen' erfolgte keineswegs etwa von oben nach unten oder umgekehrt, sondern dazwischenliegende Systeme oder Formationen waren teilweise vor solchen darüber oder darunter ausgegliedert worden. Die Ausgliederung der Formationen und der feineren Unterteilungen innerhalb dieser geschah zuerst für das Mesozoikum. Auch wurden von den verschiedenen Forschern die verschiedenen Formationen gleichzeitig und sich überschneidend angegangen. Es kann also der historische Weg zur 'Formationstabelle' weder von oben nach unten noch umgekehrt und auch nicht in chronologischer Forschungsabfolge vorgestellt werden.

Anderswo erlitten die Schichten teilweise ein anderes Schicksal als in Mitteleuropa, sind dort vielleicht unterschiedlich gestört, von kaum gestört bis kaum zu entwirren. In Mitteleuropa und England konnte die Geologie sich auf Grund geeigneter Verhältnisse am ehesten ausbilden. **Mitteleuropa und England** haben Sedimente, die an Hand von Leitfossilien in eine zeitliche Folge zu bringen waren und eine noch aufklärbare Tektonik, also Verstellung der Sedimente. **Erdgeschichtliche Schichtenfolge wie Tektonik konnten beide in Mitteleuropa und England aufgeklärt werden.** Verbiegungen, vielfach sanfte, und Heraushebung der einen über die anderen, Dislokationen, ließen in einigen deutschen Gegenden einen Großteil der Gesteine aus den unterschiedlichen Erdzeitaltern in

erwanderbare Nähe bringen, so um Gera und weiteren Teilen von Ost-Thüringen und im nördlichen Harzvorland unter Einbeziehung des Hartnordrandes. Auch die Umgebung von Dresden mit dem Elbtalschiefergebirge, der Sächsischen Schweiz, den Granit- und Syenit-Gebieten und ihren Rändern ist vielseitig, auch wenn vieles aus dem Mesozoikum fehlt.

SERGE VON BUBNOFF betonte einmal, 1940 (S. 451), beim Vergleich mancher Gebiete Osteuropas mit dem übrigen Europa, wie gerade **Mitteleuropa Vorzüge bei der Ausbildung der Erdgeschichtsforschung** aufweist. Altpaläozoische Schichten, welche etwa in Mitteleuropa nur in stark gestörter Lagerung angetroffen werden, liegen in Teilen von Osteuropa noch flach. Es gibt "plastische Tone und lockere Sande" aus dem Kambrium, gibt "kreidige Kalke und Braunkohlen im Karbon, cephalopodenfreies Devon mit Merkmalen eines flachen Binnenbeckens." Im Erdmittelalter gibt es hier ein kalkfreies Jura. In den Aufschlüssen findet man keine "Tektonik", eine geologische Fachwissenschaft, die sich eben in Rußland zunächst gar nicht ausbilden konnte. Es gibt dafür eine morphologische Monotonie ungeheurer Räume, von BUBNOFF spricht gar von dem 'lähmenden Gefühl', "als wäre hier eigentlich in den letzten vergangenen 550 Millionen Jahren nicht allzuviel passiert." Man müsse also vermuten, daß das geologische Weltbild vielleicht ganz anders ausgefallen wäre, wenn "die Erforschung vom Orient statt vom Okzident ihren Ausgang genommen hätte." Umgekehrt sind in Hochgebirgen wie den Alpen die Verhältnisse so verwickelt, daß ohne die im nördlich davon gelegenen Europa oder in einfacher gebauten Regionen in Italien gemachten Erfahrungen die Aufklärung der Alpengeologie sehr viel schwerer gewesen wäre, sich zumindestens verzögert hätte. Die Alpengeologie tritt später auf den Plan als die geologische Forschung in Mitteleuropa. In von Orogenesen/Gebirgsbildung betroffen gewesenen Gebieten können durch weite Falten, ja Überschiebungen ältere über jüngere Schichten zu liegen kommen und die anstehende Schichten-Abfolge dann auch umgekehrt vorliegen. Das war etwas, das man erst später erkannte. Und Voraussetzung für diese Erkenntnisse im Alpenraum war, daß in Mitteleuropa die Zuordnung vieler Fossilien, der Leitfossilien, zu bestimmten erdgeschichtlichen Zeitabschnitten möglich gewesen und erfolgt war. So konnte eben 1865 in den Alpen am Stanserjoch an Hand von Fossilien unterste Trias festgestellt werden (O. AMPFERER 1942, S. 3).

Aber für die Erdgeschichtsaufklärung, nicht für die manche Teile der Gesteinskunde, sehr **ungünstig** sind auch weite Teile von **Skandinavien**, ist Finnland. Hier besteht die Oberfläche aus Uralt-Gestein, aus Präkambrium, überdeckt einmal vom Gletschereis, welche hier vielerorts mehr abhobelte als wie südlich der Ostsee ablagerte. Und was war dazwischen, in dem ganzen Mesozoikum etwa? Leere Seiten! Nichts zwischen dem "alten Berggrund" und dem, wenn vorhanden, Quartär (K.

VON BÜLOW 1930, S. 5). HANS CLOOS (1951, S. 126) drückte es eindrucksvoll aus: "Das nordische Erdgeschichtsbuch ist eine einzige riesige Lücke." Denn (einige Zeilen oberhalb): "Die junge Moräne und der frische Eisschliff berühren sich mit den allerältesten, in den größten Tiefen der Erde gepreßten, aufgeweichten, umkristallisierten und endlich wieder hart gewordenen Gesteinen! Allerjüngstes und Allerältestes ... " Und mit ihrem alten harten Untergrund hatten sich in Skandinavien vielerorts nicht nur die Geologen auseinanderzusetzen, denn wie CLOOS (1951, S. 127) feststellte: "Häuser bauen heißt Steinbrüche aussprengen."

Nur an wenigen Stellen der Erde gibt es Schichtabfolgen über weite Zeiten. So in dem erst viel später untersuchten tiefen Canon des Colorado vom Präkambrium bis zum Perm und in dem noch später von CARL DIENER (A. KIESLINGER 1928) untersuchten Steilabsturz im Tal des Rimkin Paia in Tibet vom Unter-Carbon bis zur Unter-Kreide reichend.

Die Gliederung der 'Systeme' bzw. Formationen wurde immer mehr verfeinert. Schon bei den von begrenzten Territorien ausgehenden Beschreibungen von Schichtenfolgen waren innerhalb der schließlich anerkannten Formationen Abteilungen oder noch feinere Untergliederungen ausgeschieden worden. Vielfach erreichen die Ablagerungen einer Formation bedeutende, ja Hunderte von Metern betragende Mächtigkeiten. Auch innerhalb etwa der Trias sind in Mitteldeutschland Buntsandstein und Muschelkalk so stark entwickelt, daß sich angesichts der Verschiedenheiten innerhalb dieser Komplexe eine weitere Gliederung anbot, vor allem, wenn sie auch durch spezifische Fossilien in den einzelnen Schichten abgesichert war. Am weitesten wurde die Feingliederung bei den fossilreichen Schichtkomplexen betrieben, so wie es namentlich beim Jura möglich war, hier durch OPPEL. Es wurde auch erfolgreich nach Leitfossilien diese Gliederung in fazielle andersartig ausgebildete Gebiete übertragen. Die ältere Kreide Nordwest-Deutschlands konnte von KOENEN (POMPECKJ 1915) den anderswo unterschiedenen Stufen Valendis, Hauterive, Barrême, Apt und dem Albien zuordnen und nach den Ammoniten darin etwa 23 faunistische Zonen unterscheiden.

Für die Erfassung des geologischen Baues eines Landes wurden die erdgeschichtlichen Perioden, die Formationen (Systeme) oder auch feineren Untergliederungen wenigstens für die Bereiche, in denen Sedimentgesteine die Erdoberfläche bildeten oder sich wenigstens in relativ geringer Tiefe unter der Bodenschicht befinden, zur Einteilungsgrundlage. Unabhängig vom Gestein wurden also etwa die zum Jura oder zur Kreide gehörenden Territorien etwa durch unterschiedliche Farbgebung auf den 'geologischen Karten' getrennt erfaßt. Nach dem Alter und nicht nach dem Charakter mineralischen Charakter der Schiefer haben A. SEDGWICK und R. I. MURCHISON 1840 im Unterschied zu GREENOUGH farblich unterschieden.

Bis heute ist die Feststellung der anzunehmenden Grenzen selbst zwischen den Formationen geschweige denn zwischen den Abteilungen nicht zum Abschluß gekommen, wobei eine **Internationale Stratigraphische Kommission, ICS**, den Ton angeben will. Es wird etwa über die Grenze von Tertiär und Quartär gestritten.

Einordnung der Eruptivgesteine in die stratigraphisch zunächst aus den Sedimenten erschlossene Zeifolge

Das Aufsteigen der Eruptivgesteine und gar ihr Auswurf auf der Erdoberfläche konnten erschlossen werden, wenn die Magmenmasse umgebende Sedimente durchbrochen, auf ihrer Oberfläche unter Deckenbildung geflossen waren, Sedimente in Lagen durchdrangen oder kontakt-metamorph veränderten, auch vielleicht durchdrungenes Gestein mit aufgenommen, vielleicht in Fetzen mitgerissen hatte. Die Unterlage etwa von Basalt mußte möglichst eindeutig und dem Basaltausbruch zeitlich möglichst nahe zeitlich vorangehen, um den Magmaausbruch einzuordnen. Bei den Basaltbergen im flachen oberen Sächsischen Erzgebirge, bei Scheibenberg, Pöhlberg und Bärenstein etwa, liegen feststellbar an der Unterkante **unter dem Basalt**, den Basaltsäulen, **tertiäre Flußschotter**, an der Wende Oligozän/Miozän einzuordnen, die wiederum eine Unterlage von kristallinen Schiefern haben (K. PIETZSCH 1962). Die heutigen Basaltberge sind also Reste eines in Flüssen dahinstromenden Lavastromes und der Basalt widerstand der Verwitterung besser als die Umgebung.

Gliederung und Feingliederung der Sedimente

Auch bei dem Bemühen, möglichst kontinenten - oder gar weltweit die großen Systeme (Formationen) zu erfassen, blieben manche Forscher bewußt in begrenzten Territorien, um hier durch Erfassung aller Nuancen innerhalb der Formationen oder innerhalb von Teigliedern (Abteilungen) zu einem Bild vom Wechsel der Bedingungen in einzelnen Perioden der Erdgeschichte zu gelangen, Dabei spielten die **Fossilien** eine ausschlaggebende Rolle. In Nordeutschland resp. in Nordwest-Deutschland erfaßte FRIEDRICH ADOLPH ROEMER (Wikipedia 2017, Internet) 1836 - 1839 den **Nordeutschen Jura** und 1841 das '**Norddeutsche Kreidegebirge**', also die in Nordwestdeutschland anstehenden Kreide-Sedimente. Über 800, vielfach neue Fossilien hat es aus der norddeutschen Kreide erschlossen. 1847 besuchte F. A. ROEMER auch die Kreide Frankreichs. In Clausthal mußte er als Beamter, als Bürgermeister in benachbarten Gemeinden und als Jurist tätig sein,



Abbildung 59: FRIEDRICH ADOLPH ROEMER. Clausthal.

bevor er an der Kgl. Berg- und Forstschule Clausthal, also der des Königreichs Hannover, sich ganz der Geologie widmen konnte. Auch in Harz hat F. A. ROEMER geforscht und 1845 eine Schrift über 'Die Algen Deutschlands' veröffentlicht.

Vorbildlich wurden in der Mitte des 19. Jh. die Forschungen von FRIEDRICH AUGUST QUENSTEDT, Professor in Tübingen, der eine **Feingliederung** der **Jura**-Ablagerungen **Schwabens** vornahm und die Ergebnisse von 19-jähriger Forschung 1858 in seinem Werke "Der Jura" vorstellte. "Der Einblick in die Entwicklungsgeschichte der Erde", meinte QUENSTEDT (1858, S. 23), "kann unter Umständen sehr getrübt werden durch die Weite des Horizonts", was er den mit Feingleiderung weitausgreifendem D'ORBIGNY vorwarf. "Bei solchem langsamen Vorschreiten von unten nach oben", meinte QUENSTEDT (S. 23 / 24), "zeigt sich erst die Veränderung, welche die Erde im Laufe der Zeit erlitt, in ihrer ganzen Größe. Zwei handhohe Schichten übereinander nach ihrem wahren Inhalt treu zu vergleichen, kann auf die Entwicklung der Wissenschaft fruchtbarer wirken, als die Registrirungen von Etagen aus den fernsten Gegenden der Erde, von denen man sich gleich von vornherein gestehen muß, sie sind doch nicht wahr". Die am schwäbischen Jura praktizierte Feingliederung war allerdings in den verschiedenen Niveaus unterschiedlich gut durchzuführen, in der Lias viel mehr als im Weißen Jura. QUENSTEDTs Schüler OPPEL dehnte die Feingliederung des Jura dann doch viel weiter in andere Gebiete aus (s. unten).

Manche Formationen haben wenigstens in manchen Regionen **Hunderte**, ja Tau-



Abbildung 60: Rogensandst. Könnern.

sende **Meter hohe Schichtpakete** abgesetzt. Das trifft zu auf die Jura-Schichten in Schwaben, auf die Sandstein-Schichten im Elbsandsteingebirge. Das ganze Schichtpaket hat **in den verschiedenen Lagen unterschiedliche Eigenschaften**. Viele Schichten haben ihre Besonderheiten. Einzelne Schichten innerhalb einer Abteilung können auch von besonderer praktischer Bedeutung, was ihre besondere Beachtung auch vom wirtschaftlichen Standpunkt wichtig sein läßt. So gibt es im tieferen Teil des Posidonien-Schiefers im unteren Lias im Vorland der Schwäbischen Alb eine Schicht, "Fleins" genannt. Sie liefert Platten nahezu beliebiger Größe. Solche heute viel gefragten Platten wurden schon im Mittelalter als Fußbodenbelag verwendet, so in der 1525 zerstörten Burg Hohenstaufen (M. ULRICHS et al. 1994). Nicht jede Schicht im Elbsandsteingebirge bietet dieselben geeigneten Steine. Eine Schicht im Buntsandstein, eben diese, der **Rogen(sand)stein**, abgebaut etwa bei Bernburg, liefert die festen Pflastersteine der Bürgersteige in den Städten.

Die Erarbeitung der "System"/"Formations"-Tabelle ab etwa 1830 - Die Ausgliederung der bald allgemein gebräuchlichen Erdzeitalter nach den Fossilien - und manches zu ihrer weiteren Untergliederung

Unter Berücksichtigung der verschiedenen Einsichten, d. h. der lokal erfaßten Abfolgen von Schichten, ihrer Leitfossilien, ihrer Parallelisierung mit Bildungen in anderen Regionen, der Beachtung von Fazies-Unterschieden wurden nach 1830 die großen Erdzeitalter, die "Systeme" oder "Formationen", aufgestellt. Manche bisher eingehend beschriebenen und hervorgehobenen Schichtkomplexe erhielten dabei nur den Rang von "Abteilungen" oder gar nur von "Stufen" in den nunmehrigen Formationen. Viele von den bisher benutzten Namen wurde übernommen, aber auch Synonyme beseitigt und bisherige "Formations"-Namen verschwanden.

Es kam dann heraus: Die Formationen resp. Systeme sind eine "**chronostratigraphische**"

Kategorie, d. h. kennzeichnen einen **Schichtkomplex**. Sie entsprechen auch einem bestimmten Zeitraum, werden dann, als **”geochronologische”** Kategorie, als **Periode** bezeichnet. Der Jura umfaßt also bestimmte Schichten, aber auch einen bestimmten Zeitraum, in dem diese Schichten geildet wurden. Der zu einer Formation, zu einem ’System’ gehörende Schichtenkomplex ist oft sehr groß und ändert sich wie in der Horizontalen auch in der Vertikalen. Es wurden deshalb, und oft regional unterschiedlich **Abteilungen** und noch engere Unterteilungen, **Stufen**, ausgeschieden. Ein Steinbruch innerhalb einer Abteilung kann ja nach weiterer vertikaler Lage sehr unterschiedlich geeignete Gesteine liefern. Der **Buntsandstein** um Jena **in Ost-Thüringen** besteht nach K. MÄGDEFRAU 1929 aus den 3 Abteilungen Unterer Buntsandstein su, Mittlerer sm, Oberer so. Der Untere Buntsandstein weist 3 Stufen auf: unteres su1 ist um Neustadt/Orla etwa 40 m mächtig, die mittlere Stufe su2, durch Geröllführung schatf begrenzt, ist 80 m mächtig, die obere Stufe su3 bei Neustadt 100 - 130 m. Beim Mittleren Buntsandstein umfaßt die untere Stufe sm1 ”einen Schichtenkomplex von ca. 150 m”, die mittlere Stufe sm2, der ”Bausandstein”, wird 50 - 55 m mächtig, die obere Stufe sm3, der ’Chirotheriensandstein’ ist nur 8 - 16 m mächtig, aber seine Eigenschaften verlangen seine Ausscheidung. Die Abteilungen und Stufen haben sich bei verschiedenen Autoren und in den verschiedenen Zeiten auch immer einmal geändert, mit fortschreitender Erforschung des Landes.

Nach SMITHs Erkenntnis der Leitfossilien hat dann DE LA BECHE mit seinem ersten offiziellen Bericht des englischen Geological Survey über die Geologie von Cornwall, Devon und West Somerset 1839 zur zunehmend offiziellen Gliederung beigetragen und dies dann weiter JOHN PHILLIPS (J. M. EDMONDS 1974, J. MORRELL 2004), der Neffe von WILLIAM SMITH, der ihm in seinen jüngeren Jahren viel an Geld gekostet hatte (S. WINCHESTER 2001, S. 241). 1841 führte PHILLIPS den Begriff **”Mesozoikum”** ein, mit **”New Red”** (Triassic), **”Oolitic”** (Jurassic), **”Cretaceous Periods”**. Damit bestanden nun also die 3 großen Zeitalter **Paläozoikum, Mesozoikum, Känozoikum**.

Mit der Feststellung der Formationen wurden auch für manche **Landschaften auf die Geologie** zurückgehende Begriffe zu in der Geographie verwendeten **Namen**. So wurde der Name **”Rheinisches Schiefergebirge”** offensichtlich erstmals von RAUMER und MORITZ VON ENGELHARDT 1815 (M. SCHWARZBACH 1957, S. 23) verwendet, also auf die Schiefer verwiesen.

Die **erdgeschichtliche Reihenfolge** ist, vielleicht älteste abgesehen, heute Allgemeinbildung: Kambrium, Silur = Ordoviciun + Silur, Devon, Carbon, Perm, Trias, Jura, Kreide, Tertiär, Quartär.

Was schon im 19.Jh.in den großen Zügen allgemein aufgestellt war, wurde bis in

die Gegenwart immer mehr verfeinert, und wurde auch manches umgestoßen oder wurde das zumindestens versucht (s. a. Beschlüsse der Deutschen Stratigraphischen Kommission 1991 -2010 zu Perm und Trias in Mitteleuropa. Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften 2011, Volume 162, 1).

Die **Aufstellung, die 'Entdeckung' der "Systeme"/"Formationen"** erfolgte nicht in der Reihenfolge, in der sie in der Erdgeschichte aufeinanderfolgen. Manche jüngere Formation wurde früher als eine ältere aufgestellt. In die noch unvollständige "Formations-Tabelle" wurden so weitere also nachträglich eingefügt.

Im folgenden soll der **Geschichte der Aufstellung** der Formationen / Systeme gefolgt werden.

Carbon / Steinkohlenzeit

Das in das Paläozoikum gehörende Carbon wurde früh ausgegliedert, war gerade in England vielfach die **Schlüsselformation**, um **'älter' und 'jünger' zu unterscheiden**. Die Schichten des Carbon waren hier und auch in Mitteleuropa wenigstens teilweise noch mit tieferen Schichten gefaltet worden, während auf ihnen horizontal lagernde Sedimente liegen.

Der Name 'Kohlenformation' geht auf das Jahr 1808 zurück, auf OMALIUS D' HALLOY. In England sprach später CONYBEARE vom 'carboniferous system' (E. KAYSER 1902).

CONYBEARE und PHILIPS unterschieden im nordenglischen Carbon in den 20er Jahren des 19. Jh.: 1. eine untere kalkige Abteilung, den Mountain oder Carboniferous limestone, und 2. eine obere, kohlenführende Folge, die Coal measures mit dem unterlagernden Millstone grit. Die sandig-schiefrige Ausbildung des unteren Carbon erhielt in Deutschland den Namen 'Culm' (E. KAYSER 1902).

Jura - mit Lias, Dogger, Malm

Die "Jura-Formation" wurde wohl jenes abgegrenzte erdgeschichtliche Zeitalter, das zuerst am meisten in das öffentliche Bewußtsein eintrat.

Der Name "Jura" erscheint relativ früh, in Anlehnung an das Juragebirge bei A. D. BRONGNIART und A. von HUMBOLDT. Bei J. L. HEIM waren etwa Muschelkalk und Jurakalk getrennt. Zwischen ihnen gab es andere Sedimente. So wie bei den Sandsteinen die verschiedene Altersstellung erst mit fortschreitender Lan-



Abbildung 61: Schwarz-Jura Posidonienschiefer Holzmaden.

deskenntnis deutlich wurde, geschah auch die **unterschiedliche Altersstellung der verschiedenen Kalksteine** erst mit der Zeit.

In England hatte WILLIAM SMITH die Fossilbindung an bestimmte Schichten im Jura erkannt, wobei die Jura-Schichten natürlich nicht alle aus Kalk bestehen. In England wurde **zunächst** nicht von der einheitlichen Juraformation gesprochen. Man unterschied **getrennt** als eigene Formationen den **Lias** und die **Ooolith**-Formation, die später beide in die Jura-Formation eingingen. Was bei VON OEYNSHAUSEN, VON DECHEN und VON LA ROCHE 1825 als "Formation des eisenhaltigen Sandsteins" erscheint wird im wesentlichen dem Dogger entsprechen und war einst noch nicht mit der "Formation des Jurakalksteins" vereint.

Die **Dreiteilung** des Jura in Deutschland stammt VON BUCH, der allerdings noch nicht die späteren Namen für die 3 Abteilungen benutzte. Die Entstehung der Jura-Gesteine in der Schwäbischen Alb und namentlich den Weißjura verkannte er und sah in ihnen ein großes, an einem langen Küstensaum liegendes Korallenriff. Die Jura-Stratigraphie und Jura-Paläontologie wurde, begrenzt auf Schwaben, wie verallgemeinernd schon oben erwähnt, dann bis ins Feine ausgebaut von QUENDT (1858). Von unten nach oben wurden als die Hauptabteilungen, drei, unterschieden: 1. unterer oder **schwarzer** Jura, 2. mittlerer oder **brauner** Jura, 3. oberer oder **weißer** Jura. In Beachtung der in England aufgestellten Ooolith-Formation betonte QUENSTEDT (1858), daß der Weiße Jura so gut wie der Braune zusammengehören, und: "Dreigetheilt ist unser süddeutscher Jura, das kann Niemand läugnen, wer also bei der Sache bleiben will, muß statt Oolith zwei Namen annehmen, die nun glücklicherweise unser Gebirge selbst an die Hand gab" (1858, S. 302).

Wie in England wurden auch in Deutschland vor allem im Süden grundlegende



Abbildung 62: Lias Ammonit Holzmaden.

geologische Vorstellungen an Schichten der "Juraformation" entwickelt, der Ausbau der Stratigraphie vorangetrieben. Mit FRIEDRICH AUGUST QUENSTEDT hatte die Erforschung der Juraformation und damit überhaupt die Stratigraphie einen ihrer hervorragendsten Vertreter gefunden. Der später mit Schwaben so eng verbundene QUENSTEDT war am 9. Juli 1809 in Eisleben als Sohn eines Gendamerieleutnants geboren worden. Der Vater starb schon 1814. Ein Onkel, der Schullehrer war, erzog den jungen QUENSTEDT. Er ermöglichte ihm den Besuch des Gymnasiums in Eisleben. QUENSTEDT studierte ab 1830 an der Universität Berlin Philosophie und Naturwissenschaften. QUENSTEDT wurde namentlich von dem Mineralogen CHRISTIAN SAMUEL WEISS beeinflusst und wurde bei ihm 1833 Assistent. Er ordnete und katalogisierte die von der Berliner Universität aufgekaufte Fossiliensammlung SCHLOTHEIMS. Ab 1837 lehrte QUENSTEDT als Professor in Tübingen Mineralogie und Geologie, ab 1842 als Ordinarius, wobei seine Lehrfähigkeit Studenten anzog. Als ihn der Botaniker GOTTLIEB HABERLANDT (1933, S. 70) als jungen Mann einmal in Tübingen besuchte, empfing ihn der gerade Vater gewordene QUENSTEDT als "ein stattlicher, korpulenter alter Herr in langem Schlafrock", in dessen "riesigen Stube" "Bücher, Gesteinsbrocken und Fossilien ein anmutiges Durcheinander bildeten."

QUENSTEDT meinte 1852 (S. 11) über die Juraformation: "Sie bildet durch Petrefaktenreichtum und Lager den Mittelpunkt aller Formationen, und ihre geschlossenen Glieder lassen sich sicherer ordnen, als bei den andern, namentlich auch weil die Petrefakten einen festen Anhaltspunkt darbieten." Die Jura mit ihrem Reichtum von Fossilien und deren häufigen Bindung nur an ganz bestimmte, begrenzte Schichten und deren vielerorts ungestörten Lagerung wurde in vielem die 'Formation', die am besten und beispielhaftesten untergliedert wurde und Anregungen zur Bildung von **Zonen innerhalb** eines Schichtkomplexes gab. QUENSTEDT

unterschied **im schwäbischen Jura 18 Stufen**. Die Grenze zwischen etwa Braunem Jura und Weißem Jura erwies sich oft als scharf, ja "es kommen Punkte vor, wo man bis auf wenige Zolle die Gränze zwischen Braunem und Weißen Jura feststellen kann" (1858, S. 570). Der Weiße Jura hat teilweise eine Mächtigkeit von 1000 Metern und QUENSTEDT erschien als Rätsel, wo "dieses Übermaß von Kalk plötzlich" - wie er sich ausdrückt - "herkam" (1858, S. 571).

QUENSTEDTs streng spezialisierter Schüler ALBERT OPPEL (v. GÜMBEL 1887, H. MAYR 1999) stellte 33 paläontologisch, durch Ammoniten gekennzeichnete **Zonen** des Jura auf und konnte diese sogar **erfolgreich auf andere Länder**, namentlich auf England und Frankreich, **übertragen** (1856 - 1858), die lokalen Schichtbeschreibungen vereinen. OPPEL war der 1831 geborene Sohn eines in Württemberg hochangestellten und damit begüterten Vaters. ALBERT OPPEL nannte schon als Student eine reiche Fossilien-Sammlung sein eigen. In Paris war er bei d'ORBIGNY, der etwa in der Kreide Fein-Gliederungen, Stufen, unterschied. 1858 wurde OPPEL Assistent an der Paläontologischen Sammlung in München, wurde in München ao. Professor, 1861 ordentlicher Professor der Paläontologie und Konservator der Paläontologischen Sammlung. OPPEL blieb im Tausch mit Paläontologen. Als OPPEL mit kaum 34 Jahren 1865 starb, besaß er die damals wohl an Arten reichste Sammlung von Ammoniten. Nur OPPELs gute eingehende Kenntnis der Ammoniten-Formen ermöglichte ihm die Jura-Untergliederung. Um **in den objektorientierten Wissenschaften** mitzureden und zu forschen ist meist **eingehende Kenntnis der Objekte nötig**, und die kann man kaum in aller Fülle nur in passivem Belehrtwerden bekommen. OPPELs Zonen-Gliederung ruhte zunächst noch auf OPPELs Überzeugung von den "abgegrenzten festen Spezies der Tiere" (E. DACQUE', 1940, S. 602). Noch gab es die "Schwierigkeit" mit "der ungenügenden Zahl gut beschriebener Arten. Je schärfer die Species getrennt ist, desto genauer können auch die Schichten eingetheilt werden" (S. 3). Die Frage: Wie fein waren die Merkmale der Ammoniten, die zur Unterscheidung der Schichten herangezogen wurden, wie waren sie von jedem späteren Bearbeiter wiederzuerkennen, und diese getrennten Arten offenbar weithin vorhanden?

Gegen 25 Jahre alt war OPPEL; als sein 826 Textseiten plus Tabellen und Register umfassendes Werk "Die Juraformation Englands, Frankreichs und des südwestlichen Deutschlands" erschien. Als Student in Tübingen und von Stuttgart aus hatte er sich in Zusammenarbeit mit QUENSTEDT der Untersuchung der schwäbischen Jura zugewandt. Die Beschreibungen von Jurashichten der verschiedenen Autoren in England und Frankreich wertete er aus, Beschreibungen voll von Synonymen von vergleichbaren Schichten. 7 Monate weilte OPPEL 1854 in Frankreich, teils in Paris mit seinen reichen Sammlungen, "theils in den Provinzen mit den Systemen und Localitäten der französischen Juraformation" (S. 5) "Vier Monate des



Abbildung 63: Malm-Stufe Schwäbische Alb.

letzten Sommers“, also auch 1854 nach Unterschrift unter dem Vorwort von 1855, ”genügten für das Studium der classischen Localitäten, an welchen die Jurabildungen Englands auftreten.“ Gefördert wurde er bei den Kollegen in Paris oder London, ”als auch in den Provinzen durch die wissenschaftliche Unterstützung, welche die Gelehrten dem Fremden auf die liberalste Weise zu Theil werden liessen“ (S. 5). Für die **3** großen weiterhin unterschiedenen **Abteilungen**, QUENSTEDT's Namen schwarzer, brauner, weißer Jura benannte er wegen erwartungsgemäß einprägsameren Bezeichnungen im Inhaltsverzeichnis wie in den ”Schlussbetrachtungen“ von unten nach oben als **Lias**, **Dogger**, **Malm**. Diese Benennungen stammten von Steinbrucharbeitern. Der Name ”Lias“ war schon bekannt. Den Terminus ”Dogger“ hatte ihm noch während der Korrektur der Druckfahnen der Freund und Kollege NAUMANN vorgeschlagen.

Wenn das hier so eingehend beschrieben wurde, dann als Beispiel für den Stratiographen in dessen Pionierzeit!

Diese ”überraschend weite Verbreitung vieler OPPEL'scher Zonen“ (E. KAYSER 1902, S. 337) sprach für weiträumige Gleichförmigkeit der Umwelt, also wenig fazielle Gliederung eines ammonitenreichen Meeres wenigstens in Europa. Andersartig erschien OPPEL schließlich der Jura im Alpenbereich. Eine von ihm aufgestellte Stufe des Jura im Alpenbereich war die für den obersten weißen Jura aufgestellte ”Etag“, wie OPPEL (1865) es nannte, des **Tithon**, wobei es ihm um eine klare angenommene Grenze gegen die unterste Kreide ging. Einer der Versuche, **Formationen** oder auch Stufen innerhalb einer Formation **sicher abzugrenzen**.

Die geschätzten 'Schiefer' der Malm, die '**Plattenkalke**' sind aber nur eine Fazies im Malm, entstanden durch ausgewirbelte Sediment zwischen Schwammriffen, in



Abbildung 64: Malm. Kelheim.



Abbildung 65: Malm. Weltenburg.



Abbildung 66: Dollnstein, Altmühl, Malm-Riffe.



Abbildung 67: Malm. Plattenkalk Solnhofen.



Abbildung 68: Plattenkalk-Stapel Solnhofen.



Abbildung 69: Polnischer Jura.

Deutschland mit dem größten Gebiet Solnhofen - Eichstätt und kleinerem um Nusplingen und Renquishausen (H. TEMMLER 1964).

Daß Schichten auch anderenorts in Deutschland zur Jura-Formation gehören wurde zunehmend erkannt und wurden bald auch dort möglichst genau erfaßt. KARL VON SEEBACH (1864) kartierte die Juravorkommen in **Nordwestdeutschland** in den Sommern 1861 und besonders 1862. Vom Lias unterschied er 9 Schichtenabteilungen, vom Dogger 6 oder 7. H. CREDNER erforschte dort den Oberen Jura, den **Purbeck**, limnische Schichten, und den noch angenommenen "Wealden".

Jura - die Lebewelt, ob im Wasser oder offensichtlich vom Lande hingeweht, begeistere immer wieder, das, wie es einmal POMPECKIJ nannte: "Srein-gewordene Meer" (S. RITZKOWSKI 1994, S. 744).

Jura-Gesteine, Kalk, sind auch in Mittelpolen verbreitet, bilden den "Polnischen Jura".

Kreide

Der Name der Kreide- oder cretazischen Formation ist englischer Herkunft (E. KAYSER 1902). Die Ausbildung ihrer **Sedimente** ist sehr **unterschiedlich**: in den einen Regionen als die namensgebende **weiße Kreide**, anderswo aber, jedoch eben auf Grund der Fossilien in diese Formation einzuordnen, als **Sandstein**. Die unterschiedlichen Sedimente der Kreidezeit sind also ein besonders faszinierendes Beispiel fazieller Verschiedenheit innerhalb derselben Formation, wenn auch auch



Abbildung 70: Jura N Krakow.

nicht alle gleichalt. Etwa an der Kanalküste oder in Süd-England und auf Ostseeinseln wie Rügen und dem dänischen Moen, ist die weiße feinkalkige Schreibkreide ein landschaftsprägendes Sedimentgestein. Anderswo, im sächsischen **Elbtal**, prägt **der Sandstein**.

Um 1820 wurden in England getrennt der 'Greensand', eine untere glauconitisch-sandige Schichtfolge, von der Schreibkreide und den sie begleitenden Mergeln, dem 'Chalk'. Ein im Greensand besonders ausgeschiedenes Gebilde war der 'Gault', eine tonige Ablagerung. Dadurch wurde der 'Greensand' in den Lower Greensand und den Upper Greensand getrennt.

In Deutschland erkannte KARL VON RAUMER (1819, S. 126 / 127) namentlich in **Nieder-Schlesien**, daß die meist ziemlich roten und grobkörnigen Sandsteine des Rotliegenden einer anderen Periode angehören als die helleren Quader- und Plänergebilde und trennte so die viel älteren Rotliegend-Sandsteine von den Sandsteinen der Kreide-Formation, Beispiel der Lösung von der Vorstellung der Gleichzeitigkeit in der Bildung gleicher oder ähnlicher Gesteine. So fanden sich im 'roten Sandstein', das heißt dem Rotliegenden, keine Muschelversteinerungen, dagegen im Pläner und Quadersandstein fanden sich solche, wenn auch im Quadersandstein im engeren Sinne wenige, aber eindeutig einzuordnen. Die Schichten des roten 'Sandstein-Gebildes' fand RAUMER gewöhnlich geneigt gelagert, die des Quadersandsteins und des Pläner-Gebildes horizontal, eventuell sehr schwach geneigt liegend. Es fand sich auch nirgendwo eine Wechsellagerung der verschiedenen Sandsteine. Der rote Sandstein fand sich fernerhin gleichförmig auf den darunterliegenden Schichten, von RAUMER noch als Übergangsgebirge bezeichnet. Der Quadersandstein und die Pläner-Gebilde lagert sich "abweichend und übergreifend auf die verschiedensten Bildungen - auf Gneuß, Glimmerschiefer, Syenit, roten Sand-



Abbildung 71: Kreide, Moen.



Abbildung 72: Kreide, Rügen.



Abbildung 73: Kreide-Küste Dover.

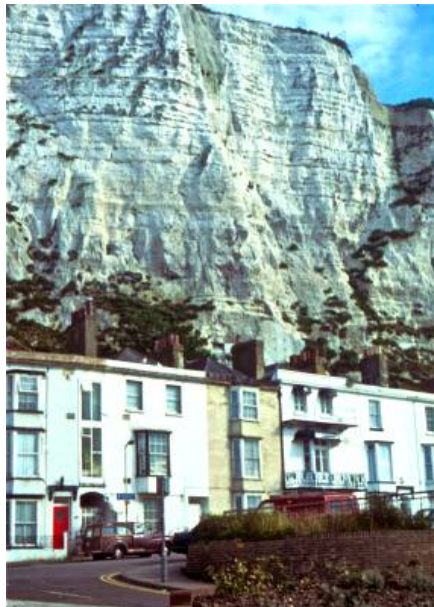


Abbildung 74: Kreide Dover.



Abbildung 75: Gory Stolowe/Heuscheuer.

stein usw.”

Damit war die Grundlage gelegt, um die Quader- und Pläner - Gebilde zu einer eigenen Formation, jener der 'Kreide' zusammenzufassen, **deren Sandsteine** eine andere, eine **jüngere Alterststellung als ältere Sandsteine** aufwiesen. Wie H. B. GEINITZ 1843 bemerkte (S. 3), stellte sich der Kreide-Sandstein in den "berühmten Felsenmassen der Heuscheuer" in Nieder-Schlesien besonders eindruckvoll dar, dort, wo also VON RAUMER geforscht hatte. Zum Teil liegt der Kreidesandstein des Heuerscheuergebirges/Gory Stolowe auf an der Basis durchaus aufgeschlossenem Rotliegendem (S. VON BUBNOFF 1956, S. 525). Der höchste Gipfel des Heuscheuer-Gebirges, 919 m, wurde vor RAUMERs Untersuchungen von GOETHE auf dessen Schlesienreise im Spätsommer 1790 bestiegen und auch geologisch beschrieben (Wikipedia 2013), damals, als er vorher auf der Schneekoppe war und zu den Salzbergwerken von Wieliezka weiterreiste.

Der Kreidezeit-Sandstein wie im Elbsandsteingebirge findet sich auch in nach Schlesien wie im Heuscheuergebirge und reicht in von der Elbtalzone weit nach Böhmen hinein.

Im **Nordharzgebiet** beschrieb F. HAUSMANN 1824 den Quadersandstein, stellte ihn aber erst 1833 zur Kreide (W. FISCHER 1969). Weite Verbreitung zeigten haben Kreidesedimente auch in **Nordwestdeutschland**.

Für **Sachsen** wurde die Erforschung der Kreidezeit-Sedimente in besonderem Maße von HANNS BRUNO GEINITZ (E. GEINITZ 1900 a, b, E. KALKOWSKY 1900) vorangetrieben, der auch die anderen in Sachsen vertretenen "Formationen" erforschte, und einer der führenden sächsischen Erdgeschichtsforscher war. Sein Sohn F. EUGEN GEINITZ (1900 a), ebenfalls Geologe, nannte den am 28.

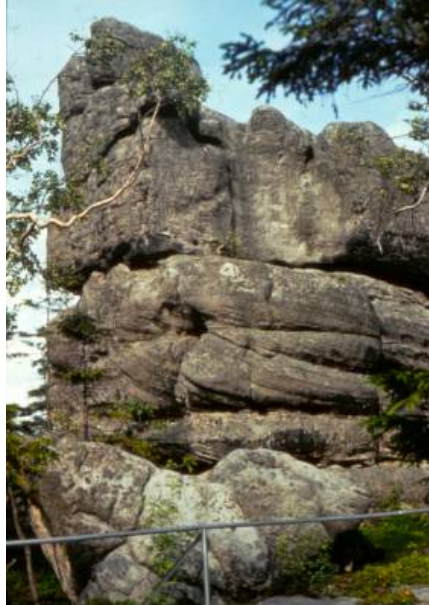


Abbildung 76: Heuscheuer. Oberkreide.



Abbildung 77: Sandstein Pfaffenstein.



Abbildung 78: Teplicke skaly.



Abbildung 79: Prachovske skaly.

Januar 1900 Verstorbenen in seiner Biographie seines Vaters sogar (S, 59) "der letzte der grossen Geologen ..., welche aus der Mitte des neunzehnten Jahrhunderts bis in die Gegenwart wie gewaltige Marksteine hineinragten; mit seinem Tode kann die Geschichte der Geologie das neunzehnte Jahrhundert abschliessen." HANNS BRUNO GEINITZ war am 16. Oktober 1814 als Sohn eines Baurates in Altenburg geboren worden. Der Vater von GEINITZ verlor aber im Revolutionsjahr 1830 seinen Besitz und die Familie wurde zerstreut. Der Vater wohnte dann in Eisenberg. GEINITZ besuchte anderthalb Jahre das Gymnasium in Altenburg und wurde dann Lehrling und Gehilfe in der dortigen Hofapotheke. Im Jahre 1834 begab er sich zum Studium der Naturwissenschaften nach Berlin. Im letzten halben Jahr seines Studiums arbeitete GEINITZ in Jena im Laboratorium des Chemikers DÖBEREINER. Am 4. April 1838 wurde GEINITZ als "Hüfslehrer für Physik und Chemie" an der "Technischen Bildungsanstalt" in Dresden angestellt. 56 Jahre lang, also ab 1844, ab 1850 als Professor, war GEINITZ an dem späteren "Polytechnikum", der schließlich Technische Hochschule Dresden genannten Bildungsanstalt, tätig und hat stets in Dresden gewirkt, verdient etwa um den sächsischen Steinkohlebergbau. Zuständig auch mit für die Sammlung im Zwinger. Ein schmerzlicher Tag war ihm der 4. Mai 1849, als in Dresden die Straßenkämpfe begannen und als am 6. Mai das alte Opernhaus angezündet wurde und das Feuer auch auf den Zwinger mit den Naturaliensammlungen, auch denen von Geologie und Paläontologie, übergriff. Erst am 9. Mai konnte GEINITZ in dem zu Ende gehenden Straßenkampf zum Zwinger vordringen und durch ein Fenster zu den zerstörten Sammlungen einsteigen. Es konnte keinen Trost bedeuten, daß durch die revolutionären Ereignisse in Wien im Oktober 1848 die dortige naturwissenschaftliche Sammlung ebenfalls große Verluste erlitten hatte. GEINITZ baute, in Dresden, eine neue Sammlung auf, wobei etwa alsbald 3 große Sammlungen aufgekauft wurden. Im Jahre 1857 war GEINITZ Direktor des nunmehr selbständigen "K. Mineralogischen Museum" geworden. Geehrt wurde GEINITZ zuletzt etwa auch durch die Benennung einer Lokomotive nach ihm - dem Gelehrten, der reichlich 20 Jahre vor der Eröffnung der ersten deutschen Eisenbahn und 15 Jahre vor der ersten sächsischen Eisenbahn zwischen Leipzig und Dresden geboren worden war.

Im Falle der 'Kreide-Formation' wird auch deutlich, wie problematisch und notgedrungen willkürlich die Wahl eines Namens für eine 'Formation' ist. Weil in Sachsen und vielen anderen Territorien diese 'Formation' durch Sandsteine und gar nicht durch Kreide wie an der Ostsee oder an der Kanalküste (Dover u.a.) vertreten ist, wollte GEINITZ (1849 /1850) den Namen 'Quadersandsteingebirge' dem Namen 'Kreidegebirge' vorziehen. Gewiß ist das 'Kreide'-Gestein nicht das einzige Sediment der auch andere Fazies aufweisenden Formation und Sandstein fehlt vielerorts. Aber auf **einen** Namen mußte man sich einigen und entgegen

GEINITZ setzte sich dann doch der Terminus 'Kreide' durch. GEINITZ formulierte 1849/1850 (S. 4): "Das Quadersandsteingebirge umfasst im Allgemeinen jene Gruppe von Gebirgsschichten, welche nach der Bildung des Oolithen- oder Juragebirges, mit Einschluss der Wealden oder Wälderformation und vor der Entstehung des Molassen -, Tertiär - oder Braunkohlengebirges entstanden sind, eine Reihe von sandigen, mergeligen und kalkigen Ablagerungen". Als 1839 das erste Heft der "Charakteristik der Schichten und Petrefacten des sächsisch-böhmischen Kreidegebirges" erschien, war nach den rückschauenden Worten von GEINITZ dem Quadersandsteingebirge in Deutschland "erst geringe Aufmerksamkeit geschenkt worden" (H. B. GEINITZ 1849 - 1850, S. 9). Aber bereits im folgenden Jahrzehnt beschrieben etliche Forscher die Versteinerungen der Kreideformation von verschiedenen Territorien. AUGUST EMIL REUSS beschrieb die 'Versteinerungen der böhmischen Kreideformation' (1845 - 1846), wobei die umfangreichen Kreidebildungen in **Nordböhmen** sich vielerorts an die in Sachsen anschlossen. REUSS (Lz 1873) wurde nach dem Medizinstudium "Herrschafts - und Badearzt" in seinem Heimatort Bilin. Auf Grund seiner Veröffentlichungen und Kenntnisse in Mineralogie und Geologie wurde er 1849 ordentlicher Professor für Mineralogie in Prag und 1863 Professor der Mineralogie an der Universität Wien. Im Jahre 1850 konnte dann GEINITZ konstatieren (S. 5): "dank sei den Bemühungen eben so unermüdeten als ausgezeichneten Forscher, dass es jetzt möglich geworden ist, diese Formation, welche von Osten bis Westen, von Norden bis Süden in Europa verbreitet und mächtig entwickelt ist, mit der in Deutschland erfolgreich vergleichen zu können".

In Frankreich hat D'ORBIGNY in den 40er Jahren des 19. Jh. unterschieden für die untere Abteilung der Kreide: **Neocomien, Aptien, Albien**, für die obere: **Cénomaniens, Turonien, Sénonien, Danien**. Andere Untergliederungen, so das Urgonien, erwiesen sich später als Fazies. Das Neocom wurde gemäß den Vorkommen in Nordwest-Deutschland auch als Hils bezeichnet. Das Senon wird nunmehr getrennt in Santonium, Campanium, Maastrichium.

Wie schwer es mitunter war, die heute geläufige Einteilung, mit gewiß ihren Problemen durchzusetzen, bezeugt etwa die Eigenwilligkeit eines ansonsten durchaus bedeutenden Geologen wie BERNHARD VON COTTA. Bei COTTA wurde 1854 die **Kreide**-Formation' noch in 3 getrennte einzelne 'Formationen' gegliedert, so die 'Quadersandsteinformation' und die 'Neocomienformation'. Diese bilden die "sogenannte Kreidegruppe". Selbstständige Formation ist bei B. COTTA 1854 auch die Lias, "Leias", später die untere Abteilung der 3 - gliedrigen Jura - Formation.

Zur Unterkreide wurde dann auch die einmal als selbständig zwischen Jura und Kreide ausgegliederte **Wealden-Formation** gestellt, ein von P. I. MARTIN 1828

eingeführter Begriff (J. MARCOU 1897). Diese auch zum obersten Jura, dem Tithon gerechnete Straten sind limnisch wie schon der oberste Jura, tritt aber nur örtlich auf, in einigen Distrikten in England und im nordwestlichen Deutschland, dort aber teilweise mächtig.

Für die Unterkreide-Ablagerungen oberhalb des Neocomien erschien dann der Name **Gault**.

In Sachsen, Schlesien, Böhmen fanden sich nur Kreidezeit-Ablagerungen ab dem **Cenoman** (R. DRESCHER 1863). Die Transgression der dann mit Sandsteinen ausgefüllten Absenkung des Kreide-Meeres in Teilen Osteuropas und in der **Elbtalzone** (K. PIETZSCH 1962, S. 367 ff.) begann regional unterschiedlich mit allmählicher Absenkung, gefüllt zunächst mit Ablagerungen von Flüssen und Ästuarien, mit "fluviatilen Grundsottern", zu noch nicht marinen Sandstein-Sottern, "nicht-marinem Cenoman", und in ihnen zu fossilisierten eingeschwemmten oder eingeschwemmten Pflanzen bis zu schwacher Kohlebildung. Nach einem Hauptvorkommen benennt man die Ablagerungen als die **Niederschönaer Schichten**, mit als subtropisch eingeschätzten Blattresten von Bäumen, viel genannt die *Credneria* (H.-D. Berger et al. 1965, S. 53). Solche Sedimente wurden in kleinem Ausmaß in der Nähe von Dippoldiswalde, bei Paulsdorf und Paulshain, bekannt durch H. B. GEINITZ bzw. durch v. OTTO (1852 - 1854, so zitiert bei K. PIETZSCH 1962, S. 370). Dann erst kam das Meer. Mancherorts wenigstens zuerst mit offensichtlich Brandung in Küstenähe.' Es gibt fazielle Unterschiede zwischen den Ablagerungen um Dresden und Pirna und dem der eingerern 'Sächsischen Schweiz'. Der Sandstein der 'Sächsischen Schweiz' liegt in nahezu flachen mehr oder weniger dünnen oder gebankten, insgesamt um 350 m hohen Schichten. Der Sandstein in großem Maße prägende Quarz muß vom Granit der Lausitz und dem Gneis der heutigen Erzgebirgsregion gekommen sein. Auch einzelne Jura-Gerölle wurden eingeschwemmt. Die Fossilarmut im Sandstein ließ hier keine feinere Gliederung nach Fossilien zu (vgl. K. PIETZSCH 1951, S. 96: 1962, S. 371 ff.)

Trias

Die Sedimente der Trias wurden stets beachtet und standen auch bei dem Rudolstädter FÜCHSEL bei dessen früher Beschreibung der Sedimente in der Umgebung seiner Heimatstadt im Mittelpunkt. Die Trias-Schichten sind teilweise Hunderte Meter hohe, auch wechselnde Sedimente.

Die im 18. Jahrhundert in Deutschland auf Grund ihres Aussehens unterschiedenen Schichtfolgen des **Buntsandstein** und des **Muschelkalk** waren ein wichti-

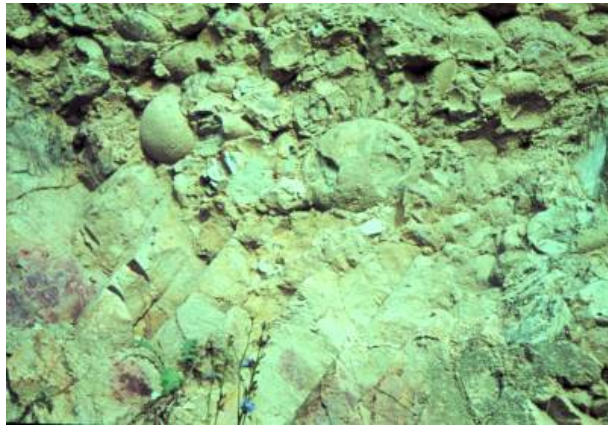


Abbildung 80: Brandung im Kreidemeer. Dohna.



Abbildung 81: Im Elbsandstein. Ölsa.



Abbildung 82: Muschel Inoceramus b. Pirna.

ger Teil des "Flötzgebirges" und wurden unter verschiedenen Termini als eigene "Formationen" geführt. In England beschrieb 1829 ADAM SEDGWICK den "Magnesian Limestone" und die unteren Teile des 'New Red Sandstone' im nördlichen Mittelengland, wobei er auch Parallelen zu Ablagerungen auf dem europäischen Kontinent, etwa zum deutschen "Muschelkalk" hervorhob. Der "**Keuper**", dessen Bildungen, Sandsteine und auch Letten, etwa Bildungen des Buntsandstein ähnelten, wurde in den 20er Jahren des 19. Jahrhunderts abgetrennt, wobei namentlich HAUSMANN die bunten Mergel und Sandsteine aus dem Flußgebiet der Weser 1824 ausführlich beschrieb, die über dem Muschelkalk liegen und was dazu führte, etwa gemäß F. HOFFMANN (1830, II, S. 468), daß der aus anderen Gebieten stammende Name "Keuperformation", die bald nur noch eine Abteilung war, rasch angenommen wurde. Der Terminus "Keuper" erschien 1825 (S. 115) bei C. VON OEYENHAUSEN, H. VON DECHEN und H. VON LA ROCHE in deren Beschreibung der geognostischen Umriss der Rheinländer für die IV. Formation, die des oberen bunten Mergel oder des Keuper." Es heißt, daß von vielen "schwäbischen Geognosten" von der Formation des bunten Sandsteins geschrieben wurde, aber "in den Gegenden von Koburg, Franken u.s.w. ... dieselbe unter der Provinzialbenennung Käuper bekannt" ist (auch: E. KAYSER 1902). F. HOFFMANN erkannte auch ihre Lagerung unter den "bituminösen Mergeln der Liasformation", bald ebenfalls nur noch eine Abteilung des Jura.

Es war der württembergische Bergrat FRIEDRICH (von) ALBERTI (F. BERCKHEMER 1941, W. PFEIFFER 1934), der 1834 in seinem "Beitrag zu einer Monographie des Bunten Sandsteins, Muschelkalks und Keupers und die Verbindung dieser Gebilde zu einer Formation" den Vorschlag zur Zusammenfassung der 3 Schichtgruppen, also **Buntsandstein, Muschelkalk, Keuper**, brachte. Er stützte sich auf die Fossilien als wichtiger Kriterien, um die Gemeinsamkeit der ansonsten doch recht unterschiedlich aussehenden Schichtkomplexe zu begründen. In den Alpen ist die Trias allerdings ganz anders ausgebildet.

ALBERTI hatte bei der Erschließung von Steinsalz in Württemberg und für Württemberg große Verdienste erworben, so 1812 bei Jagstfeld mit der Saline Friedrichshall, deren Direktor er 1820 wurde. Am oberen Neckar bei Rottweil begründete ALBERTI die Salinen Rottenmünster und Wilhelmshall. Im 1824 eingerichteten Salzbergwerk von Wilhelmshausen wurde erstmals Steinsalz nicht aus Sole eingedunstet, sondern bergmännisch abgebaut wurde. Bei seiner Salzsuche in Württemberg war ALBERTI bewußt geworden, daß ohne genaue Kenntnis der Gesteinsschichten und ihrer Verhältnisse die Prospektierung dem blinden Zufall ausgeliefert ist. Bei der Erbohrung der Salinen hatte ALBERTI die feststehende Schichtenfolge der 3 Trias-Abteilungen kennengelernt.

In manchen Teilen Mitteleuropas, so in **Thüringen**, bestimmen Trias-Ablagerungen



Abbildung 83: Unt. Buntsandstein-Brüche Nebra.



Abbildung 84: Unterer Buntsandstein, W Gera.

die Erdkruste.

Fossilien gibt es in Buntsandstein relativ wenige, Für die Pflanzenwelt ist es die Zeit der Koniferen. Im **Unteren** Buntsandstein gibt es etwa in Gröna, Ortsteil von Bernburg, den **Rogenstein**, dessen anorganische Kügelchen, Oolithe, einst als Fischeier gedeutet wurden. Der Rogenstein ist ein wertvoller Pflasterstein für beispielsweise Bürgersteige. Unter welchen Bedingungen die Buntsandstein-Sedimente zur Ablagerung kamen, war immer wieder Diskussionsthema, ob, wie die Funde der Meeresmuschel *Grevillia Murchisoni* 1861 (W. HEEGER 1915, S. 407) für Ost-Thüringen nahelegten, Meeressediment, oder wegen der roten Sandsteine Wüste. Beides, im Wechsel und auch nebeneinander, im 'Germanischen Becken'

Der obere **Mittlere Buntsandstein** (H. WEBER 1955, S. 100) enthält etwa in Thüringen immer einmal wieder die durch 5 plumpe Zehen gekennzeichnete



Abbildung 85: Buntsandstein, S Jena.



Abbildung 86: Oberer Mittlerer Buntsandstein, Nebra.



Abbildung 87: Rogenstein. Gröna.

ten Fußabdrücke eines 'Sauriers', des **Chirotheriums**, und diese Lagen heißen 'Chirotherien-Sandstein'. Im **Oberen** Buntsandstein, dem **Röt**, kam das Meer von Osten vom Tethysmeer und es gibt im tieferen Oberen Buntsandstein bis 170 m mächtige Anhydrit- und Steinsalz-Ablagerungen (H.-G. RÖHLING et al. 2010). Der Obere Buntsandstein bietet etwa in einigen Gegenden des Pfälzer Waldes rötliche Felstürme, welche an die Felsen im Elbsandstein in der Sächsischen Schweiz erinnern.

Buntsandstein wurde wegen relativer Unfruchtbarkeit auch als Nationalunglück Deutschlands bezeichnet. Buntsandstein gibt die rötliche Farbe auch der Felseninsel Helgoland.

Der **Muschelkalk** ist untergliedert in die großen Abteilungen Unterer, Mittlerer, Oberer Muschelkalk. Der **Untere** Muschelkalk muß in Thüringen ein Flachmeer gewesen sein, ja wohl eine wandernde Küstenzone, mit Zeichen einer solchen, und heißt auch **Wellenkalk**. Wie im Jura ließen die mächtigen Ablagerungen etwa des Unteren Muschelkalkes bestimmte Lagen, besonders auch 'Bänke', weithin verfolgen und gaben eine weitere Untergliederung. In die fast fossilleeren "welligen" Mergelkalke sind fossilreiche Zwischenbänke eingeschaltet und die Entstehung all dieser Kalke nannte noch B: VON FREYBERG (1977, S. 6) als noch nicht sicher "abzuleiten". und suchte im Watt nach Lösungen. Im **Oberen** Muschelkalk finden sich an Ammoniten die Ceratiten.

Der **Keuper** bietet ein wechselvolles Bild, oft Sandsteine, oft verschieden gefärbt, aber auch Gips, so im nördlichen Thüringen, nördlich Erfurt, etwa um Hemleben

Der oberste Keuper ist der **Rhät/Rät**.



Abbildung 88: Buntsandstein b. Trifels.

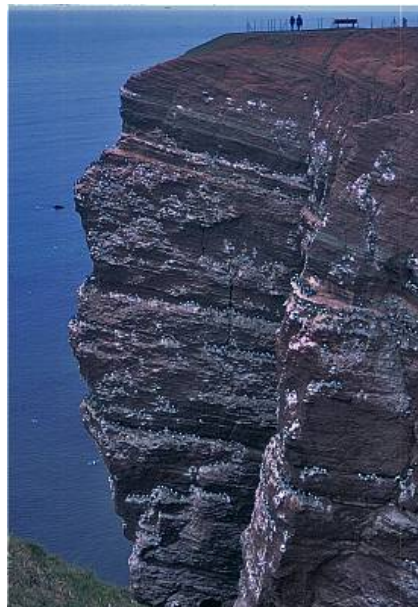


Abbildung 89: Buntsandst. Helgoland.



Abbildung 90: Muschelkalk = Wellenkalk.



Abbildung 91: Unterer Muschelkalk Jena.



Abbildung 92: Muschelkalk W Rudolstadt.

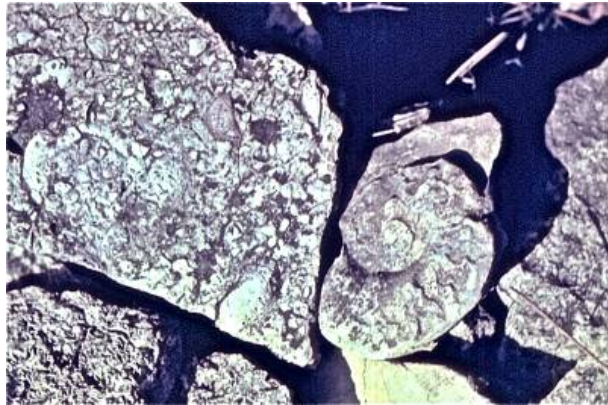


Abbildung 93: Lesesteinhaufen, Ceratites.



Abbildung 94: Keuper. Wachsenburg.



Abbildung 95: Gips, Keuper, N-Thür..



Abbildung 96: Rhätsandstein, Seeberg/Gotha.

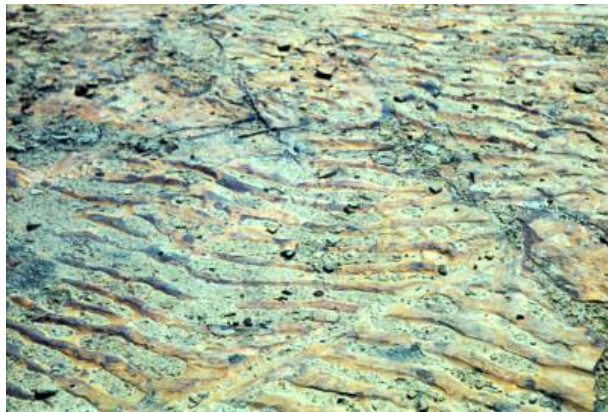


Abbildung 97: Rippeln im Rhätsandstein. Seeberg.



Abbildung 98: Trias. Exmouth, S-Engl..

Der deutschen Trias entsprechende Schichten, hier großenteils als "**New Red Sandstone**", gliederte in Teilen Englands MURCHISON, so 1837. Er parallelierte auch etliche englische Schichten mit dem "Keuper".

An der **englischen Süd-Küste** ziehen sich die leicht nach Osten geneigten Schichten des ganzen Mesozoikum von Exmouth in Ost-Devon mit roten, etwa dem mitteleuropäischen Buntsandstein entsprechenden Trias-Schichten über den Jura, etwa bei Lyme Regis, zu den Kreide-Felsen im Osten, am Kanal bei Dover. Die 155 km Küste wurden 2002 als UNESCO-Weltnaturerbe eingeweiht (Internet)

Die Trias bildet auch große Schichtkomplexe in den **Alpen**, hier jedoch ganz anders ausgebildet, also faziell gewaltig unterschieden die "**alpine** oder **Weltmeertrias**" (R. LANG 1911, S. 218), gelegen im Gebiet des einstigen Tethysmeeres, aus dem die Alpen aufstiegen. Die "**germanische Trias**" einschließlich der Ablagerungen in Großbritannien sind eine besondere, anormale Binnenfacies, bezeichnet auch als "Binnenmeertrias" (R. LANG 1911, S. 218) in einem Randmeer. Die "alpine Fazies" ist in Europa also viel mehr als die "germanische" als die 'normale' Trias zu sehen, auch wenn in Thüringen und anderswo in Mitteleuropa die dreigeteilte Trias allein das Bild bestimmt (E. FRAAS 1899). Nördlich der Alpen wurde die Trias eben erstmals aufgestellt und untergliedert und prägte so das Bild dieser Formation. Ein völlig verschwundenes Gebirge, das Vindelizische, erkannt und benannt von GÜMBEL, trennte alpine und binnenmeerische Trias.



Abbildung 99: S-Engl.-Küste. Trias.

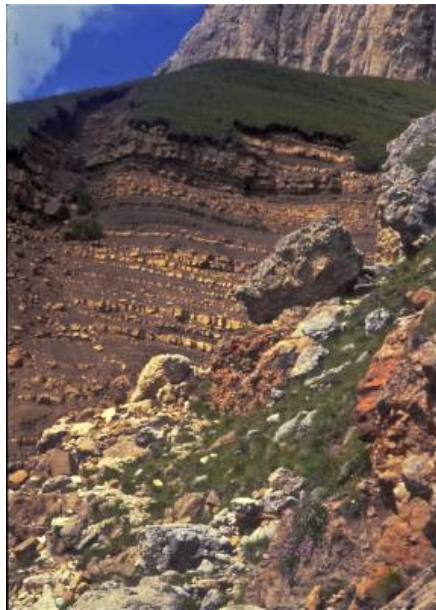


Abbildung 100: Alpine Trias. Dolomiten.



Abbildung 101: Quarzit. Hohe Dubrau.



Abbildung 102: W Prag Altpaläoz..

Altpaläozoikum

Das Altpaläozoikum wird jedenfalls in Mitteleuropa im allgemeinen vom Cambrium bis zur Carbonzeit gerechnet. In Mitteleuropa zählen zum Altpaläozoikum die in der Varistischen Orogenese **gefalteten Schichten**, was also das jüngere Carbon schon ausschließt.

Darunter liegen noch jene fossilfreien Schichten, die als prä-kambrisch, so als "**Algonkium**", heute Proterozoikum, gelten, und oft so verändert sind, daß die Faltungen verwischt sind. Dazu zählen **Grauwacken** bei **Leipzig-Kleinzschocher**, deren einst bestehende Steinbrüche bis auf einen Rest zugeschüttet wurden.

Den uralten, von höheren Fossilien freien Zeitaltern (Archaikum, Proterozoikum), läßt man heute das '**Phanerozoikum**' als Gesamtzeitalter vom Cambrium bis



Abbildung 103: Leipzig-Kleinzschocher.



Abbildung 104: Algonkium, Grauwacke.

zur Gegenwart folgen (s. C. MEYER 1985), in dem es also höhere Lebewesen gibt.

Die **altpaläozoischen Sedimente**, oft stark verändert, haben zuerst vor allem MURCHISON (1792 - 1871) (M. J. S. RUDWICK 1974) und ADAM SEDGWICK (s. u. a. A. SEDGWICK et al. 1840) in Wales, Devonshire und anderswo, auch auf dem Kontinent, erforscht und auch gegliedert. Beide gehörten zu den führenden Geologen ihrer Zeit und haben auch in den wissenschaftlichen Gesellschaften, ob in der Royal Society oder in der Geological Society, bedeutende Ämter ausgeübt.

RODERICK IMPEY MURCHISON (M. J. S. RUDWICK 1974) war Sohn eines Grundbesitzer im schottischen Hochland, geboren am 19. Februar 1792 in Tarradale, Ross und Cromarty. Er schlug die militärische Laufbahn ein und kämpfte 1808 mit in Spanien gegen die napoleonische Armee. Erst danach, so durch Einladung von DAVY zum Besuch öffentlichen Vorlesungen an der Royal Institution, befaßte er sich mit Naturwissenschaft und wurde einer der aktivsten und europaweit gereisten Geologen Großbritanniens. Wie es hieß, wünschte auch seine Frau, daß ihr Gatte nicht ein wenig ausgelastetes aristokratisches Leben mit vor allem Fuchsjagden führt und wollte, daß er auf irgendeinem Gebiete Erfolge erringt. Sie verwies ihn auf Kunst und Wissenschaft. Sein Vermögen gestattete ihm Unabhängigkeit, aber 1855 wurde er der Direktor des Geological Survey of Great Britain und wirkte auch in der königlichen Kommission für die Feststellung der britischen Kohlenressourcen. MURCHISON war oft mehr bekannt als Geograph. Er war einer der Gründer der Royal Geographical Society und viele Jahre deren Präsident. Nach diesem MURCHISON sind benannt die Murchison Falls am Nil in Uganda, auch etliche Berge, so auf der Südinself von Neuseeland. Der erfolgreiche, ab 1840 aber bedeutende neue Ansichten bekämpfende Geologe starb am 19. Februar 1871 in London.

ADAM SEDGWICK (Duke of ARGYLL 1873, M. J. S. RUDWICK 1975) war geboren worden am 22. März 1785 als Sohn eines Geistlichen (vicar) im Dorfe Dent in Yorkshire. Auch ADAM SEDGWICK studierte ab 1804 am Trinity College in Cambridge Theologie und außerdem Mathematik. Im Jahre 1808 wurde er Hilfslehrer (Assistant Tutor) am Trinity College. Im Jahre 1818 wurde er zum Priester der anglikanischen Kirche geweiht. Beruflich übernahm SEDGWICK damals die Woodward-Professur für Geologie in Cambridge, wobei er zu den aufgeklärten Theologen seiner Zeit gehörte, die der Naturwissenschaft ihr eigenes Recht auf Wahrheitsfindung ließen. Wenn er predigte, war aber auch die Kathedrale gefüllt. Als SEDGWICK die Woodward-Professur übernahm hatte er sich noch kaum mit Geologie befaßt, wobei die Inhaber der Professur eher die physikotheologischen Ansichten in Sinne WOODWARDS aus dem späten 17. Jh. verteidigen sollten und

bisher von dieser Professur, eher eine Sinekure, kaum Lehrveranstaltungen durchgeführt worden waren. Als SEDGWICK die Professur übernahm, soll er das mit der Bemerkung getan haben, daß er bisher noch niemals einen Stein umgewendet habe, aber in Zukunft keinen Stein unumgewendet lassen wird. Bald ging er auf geologische Forschungsexkursionen, so nach der Insel Wight. Auch in Paris holte er sich Kenntnisse. Der Abstammungslehre stand SEDGWICK kritisch gegenüberstand. Die geologischen und paläontologischen Sammlungen vermehrte er sehr, so sehr, daß später zu seinen Ehren ein neues, nach ihm benanntes Museum erbaut werden mußte. Der unverheiratet gebliebene SEDGWICK, für den das Trinity College die lebenslange Heimstatt war, starb im 88. Lebensjahr am 27. Januar 1785.

Innerhalb des Altpaläozoikum wurden mehrere Formationen ausgegliedert:

Silur

Die Aufstellung eines eigenen erdgeschichtlichen "Systems" des Silur nahm seinen Anfang um 1831 (M. J. S. RUDWICK 1974), als SEDGWICK auf einen Hinweis von BUCKLAND an der Grenze zu Wales in einem Gebiete eine in Übergangsgebirge mündende Schichtenfolge unterhalb des Old Red Sandstone untersuchte. Die in Wales unterschiedenen Schichtfolgen, 1835 die Ludlow rocks, der Wenlock limestone, die Caradoc sandstones, die Llandeilo flags, wurden 1835 von MURCHISON (s. a. 1847) zu dem 'Silurian System' (Silur) vereinigt. Es war benannt worden nach dem Volk der Silurer im Südwesten Britanniens, welches sich geführt von dem König CARACTACUS nur nach langen Kämpfen den Römern unterworfen hatte. Als die entscheidenden Leitfossilien erkannte schon MURCHISON die Trilobiten und die 'Orthiden', die Graptolithen und in den niederen Schichten die Cystidea, von VON BUCH als die frühesten Formen der Crinoiden und damit als frühe Stachelhäuter beschrieben. Fischreste im Wenlock beobachteten C. BRODIE und PHILLIPS.

Bei seiner Skandinavienreise 1844 fand MURCHISON (1849), daß dort mit wenigen Ausnahmen Gesteine des oberen Silur fast ausschließlich auf Gotland vorkommen. Die Fossilien von Gotland stimmten wiederum mit denen des oberen Silur in England überein. MURCHISON (1849, S. 481) sprach von der "Gothlandian group", wobei er allerdings auch dem gesamten Silur gemeinsame Fossilien verwies. Aber immerhin liegen in dieser Untersuchung von Gotland die Anfänge der **späteren Unterteilung** des Silur in das **Ordoviciun und das Gotlandium**.

In **Böhmen** wurde das Silur als den englischen Vorkommen parallel beschrieben von JOACHIM BARRANDE (B. HANSEN 1970, G. C. LAUBE 1884) in Böhmen.

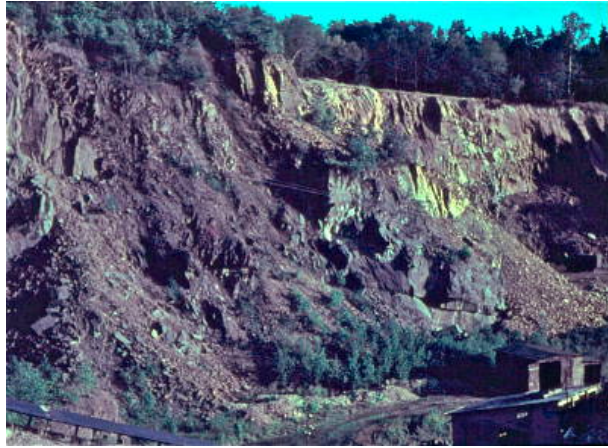


Abbildung 105: Silur bei Flechtingen.



Abbildung 106: Schiefer-Museum Wales.

BARRANDE wurde am 10. August 1799 auf dem elterlichen Gut im französischen Department Haute-Loire geboren, studierte Brücken - und Straßenbau und besuchte auch Vorlesungen bei CUVIER. Als Ingenieur fand er die Bekanntschaft mit dem Herzog von Angoulême, Dauphin von Frankreich, und wurde von ihm zum Lehrer seines Neffen, HEINRICH von BORDEAUX, Graf von CHAMBORD, dem Enkel des französischen Königs CHARLES X., ernannt. Als die Bourbonen 1830 in der Julirevolution gestürzt wurden, begleitete BARRANDE seinen Zögling über Edinburgh nach Böhmen. BARRANDE blieb dann in Prag, wobei er ab 1833 als Ingenieur wirkte, etwa bei der Anlegung der Pferdebahn Prag - Launer. Bei einem Spaziergang bei Smichov fand BARRANDE einen Orthoceras, was ihn zu weiterer Forschung anregte, wobei er auch bei seiner Arbeit als Ingenieur mit den Schichten in Mittelböhmen und ihren Fossilien bekannt wurde. Als er 1840 MURCHISONs Werk "Silurian System" las, erkannte BARRANDE, daß diese Formation auch sein mittelböhmisches Untersuchungsgebiet entscheidend bestimmte. Er hatte noch Verbindung mit seinem aristokratischen Schüler, wurde auch finanziell unterstützt und konnte zeitweilig 30 bis 40 Fossilsammler beschäftigen, was zu einer großartigen Sammlung führte. BARRANDE, der das böhmische Silur als sein Forschungsmonopol behandelte, sammelte im Altpaläozoikum Böhmens über 4000 neue fossile Arten, darunter zahlreiche Trilobiten. Damit wurde der ganze **Reichtum der Tierwelt im Meer des Altpaläozoikum bekannt**. In 8 Teilen erschien ab 1852 bis lange nach seinem Tode 1883, bis 1902 in 8 Teilen seine gewaltige Monographie "Système silurien du centre de la Bohême" mit seinen bewundernswerten Abbildungen. Seine Sammlungen und Manuskripte wurden dem Nationalmuseum in Prag übergeben.

In Deutschland gibt es 'Silur' etwa in **Ost-Thüringen**, so im Thüringer Schiefergebirge und im Vogtland.

Cambrium / Kambrium

Eine unter dem Silur liegende ältere, noch fossilführende Formation war zeitweilig umstritten, namentlich zwischen den beiden dafür besonders sachkundigen Forschern MURCHISON (1847) und SEDGWICK, die, oft zusammenwirkend, in dieser Frage gegeneinander schrieben. Das Wort 'Cambrian' hatte dabei 1836 nach eigener Ansicht MURCHISON bei der Beschreibung der geologischen Verhältnisse von Pembrokeshire benutzt (R. I. MURCHISON 1847) und es war für die ältesten Schichten in Wales noch ohne ausreichende Kenntnis der Fossilien der Terminus "Cambrium" verwendet worden. Ein gewisser Abschluß der Gliederung des älteren Paläozoikum war um 1840 erreicht, als A. SEDGWICK und R. I. MURCHISON (S. 702) schrieben: "Thus the terms Carboniferous system, Devonian system, Silurian



Abbildung 107: 'Silur' Wünschendorf.

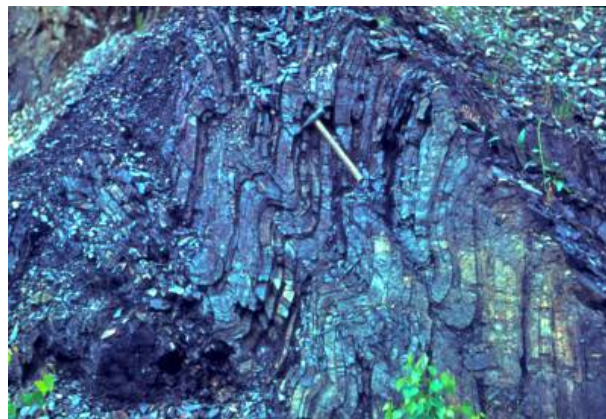


Abbildung 108: 'Obersilur' Hohenleuben.

system, and Cambrian system will represent a vast and apparently uninterrupted sequence of deposits; each having, as a whole, zoological and (often also) mineralogical characters of its own..." Aber MURCHISON bezweifelte, daß sich ein eigenes "Cambrian System" durch ihm spezifische Fossilien vom Unter-Silur (Lower Silurian) abtrennen ließ und die moderne "geology will stand on an insecure basis, if the principle of identifying strata by their fossils be abandoned" (1847, S. 171). Besondere Gesteinscharakteristika wie auch außerordentliche Dicke von Schichten lehnte er zur Begründung einer eigenen erdgeschichtlichen Periode ab. Das obere Silur allein als Silur zu bezeichnen, trotz mancher eigener Züge gegenüber dem unteren Silur, würde aber auch wieder zu wenig sein. SEDGWICK jedoch verteidigte ein eigenes 'cambrisches System' (1847).

Eine verfeinerte Gliederung der vielfach komplexen, der Entwirrung fast spottenden altpaläozoischen Gesteine unternahm dann in der zweiten Hälfte des 19. Jh. von Schottland aus CHARLES LAPWORTH (J. CHALLINOR 1973). Ab dem Jahre 1864 arbeitete er als Schullehrer im südlichen Schottland und entwickelte seine als genial bezeichnete Begabung für Geologie zuerst in der Freizeit. Im Jahre 1881 wurde er auf den neu gegründeten Lehrstuhl für Geologie am Mason College in Birmingham berufen. Grundlage der Einteilung der unteren altpaläozoischen Sediment wurden die **Graptolithen**, die er exakt in Spezies unterschied. In den Jahren 1879 / 1880 stellte er auf Grund seiner eigenen Sammlung und der in anderen Sammlungen der Welt gemachten Studien **20 Graptolithen - Zonen** auf. Im Jahre 1879 gliederte er das untere Altpaläozoikum in nunmehr das Cambrium, das von ihm neu aufgestellte **Ordovicium (Ordovician System)**, das Silur. Das beendete den Streit um das Cambrium zwischen SEDGWICK und MURCHISON und wurde alsbald allgemein anerkannt.

Was gehört in Deutschland, in Sachsen etwa, zum **Kambrium**? So wie im jüngeren Paläozoikum die Grenze zwischen Ober-Carbon und Rotliegendem schwer zu ziehen war, so erging es auch der Abgrenzung des Kambrium nach oben. Im Thüringischen Schiefergebirge waren zunächst zahlreiche Gesteinskomplexe dem Kambrium zugerechnet worden, aber nachdem in Frankreich und Katalonien die Fossilspur *Phycodes circinatum* dem Untersilur zugerachnet wurde, wurden die dieses Fossil aufweisenden Gesteine auch in Thüringen vom Oberkambrium ins Untersilur eingeordnet, so bei E. KAYSER 1910 (zit. H. WEBER 1955, S. 7) und Trilobitenfunde ergänzten das (VON FREYBERG 1922 zit b. H. WEBER 1955, S. 7), **Beispiel der Bedeutung von stratigraphisch aussagefähigen Fossilien** für die erdgeschichtliche Einordnung von schwierigen Gesteinskomplexen. In Deutschland schien Kambrium eine Seltenheit zu werden, Nördlich des großen Lausitzer Granitmassivs, **nördlich von Görlitz**, gibt es ein kleines, wenig aufgeschlossenes Gebiet mit altpaläozoischen Gesteinen, auch über Kalkstein rote Schiefer, in denen der



Abbildung 109: Kambrium Ludwigsdorf.



Abbildung 110: Kalkwerk Niederludwigsdorf.

Kartierer von Teilen Niederschlesiens ERNST ZIMMERMANN Trilobiten-Reste fand. Er ordnete sie dem Devon zu. Aufgeschlossen ist es im **Kalkwerk Ober-Ludwigsdorf bei Görlitz**. Spätere Bearbeiter 1923 resp. 1933 erkannten die dortigen Fossilien als unter-cambrisch - ein viel beachteter Befund (G. BERG 19..., K. PIETZSCH 1962), denn damit fand sich hier die jedenfalls seinerzeit bekannte "älteste versteinerungsführende Schicht Deutschlands" (M. SCHWARZBACH 1934), die "älteste Fauna Deutschlands" (M. SCHWARZBACH 1936), Diese Untersuchungen sind Beispiel für einen der weitergehenden, genaueren Einordnungs-Versuche einer Schichtfolge im 20. Jahrhundert, für den Fortgang der stratigraphischen Ergebnisse in Mitteleuropa in dieser Zeit. ZIMMERMANN erhielt wegen seiner Befunde die Ehrenmitgliedschaft in der naturforschenden Gesellschaft in Görlitz - als die Heimatgeologen mit Stolz auf lokale Entdeckungen schauten.

Devon

Daß bestimmte schiefrige Gesteine auf Grund ihres Fossilgehaltes zwischen dem Silur und dem Carbon einzuordnen sind, wurde WILLIAM LONSDALE (E. KAYSER 1902, M. J. S. RUDWICK 1973), einem hervorragenden Fossilkenner und Erforscher der Geologie von Devonshire, deutlich. Damit erschienen diese als devonisch bezeichneten Gesteine als die Äquivalente des Old Red Sandstone, so unterschiedlich diese Gesteine auch erschienen und schien sich eine neue Formation/System abzuzeichnen. LONSDALEs Gedanken wurden zuerst nicht beachtet. MURCHISON und SEDGWICK begründeten **1839** ein eigenes 'Devonian system' (s. a. A. SEDGWICK and R. I. MURCHISON 1840, 1842). Die Ausscheidung dieses 'Systems', des Devon, geschah nicht auf Grund von Gesteinsunterschieden, sondern allein durch die eigenständigen Fossilien, namentlich ihm eigene Korallen. Es mußte also entschieden werden, ob bestimmte Sedimente **allein** durch Fossilien und trotz aller Ähnlichkeit der Sedimente mit denen der darüber und darunter liegenden Formationen einen eigenständigen Status erhielten. Wegen der andererseits intermediären Stellung der devonischen Korallen war auch das Problem der allmählichen Umbildung der Lebewesen berührt. Die Ausscheidung des Devon war also ein **Prüfstein für die Anerkennung der Leitfossil-Methode** für die Erarbeitung der **Stratigraphie**. Es gab eine Auseinandersetzung zwischen dem die eigene neue Formation bezweifelndem DE LA BECHE, dem ersten Direktor des Geological Survey of Great Britain, und MURCHISON und SEDGWICK (s. D. R. OLDROYD 1985 über M. J. S. RUDWICK 1985). Ob ein eigenes "System" oder nicht sollte auch bedingt gewesen sein haben von der sozialen Stellung der Kontrahenten in der geologischen scientif community, also sollte hier eher etwas aufgestellt worden sein, daß als "a social construct not objective in the full sense of the word" (S. 433) geschaffen worden wäre. Aber das wurde auch abgelehnt.

Weite Verbreitung haben devonische, gefaltete Schichten im **Rheinischen Schiefergebirge** und bilden die Hänge des Rheinstroms am Mittelrhein, im Engtal nördlich von Bingen, und seiner noch Gewässer führenden oder trockenen Nebentäler. Vor allem zum Unter-Devon werden die Schiefer des Loreley-Felsens, 193,14 m NN, bei St. Goarshausen, gestellt. In den Sommern der Jahre 1842 und 1843 bereiste K(C)ARL FERDINAND ROEMER (1844) das Rheinische Schiefergebirge, sprach noch vom 'Rheinischen Übergangsgebirge' und fand hier die Zugehörigkeit zum Devon.

Schwierig war die Einordnung der oft fossilarmen Gesteine im Harz und es erhob sich die von BEYRICH und LOSSEN aufgeworfene 'Hercynische Frage' nach der Einordnung der Harzgesteine (H. WALTER 1977). Nach stratigraphischen und paläozoischen Kriterien hat EMANUEL KAYSER (s. a. R. RICHTER 1928), der



Abbildung 111: Geschiefertes Devon-Sediment. St. Goarshausen.

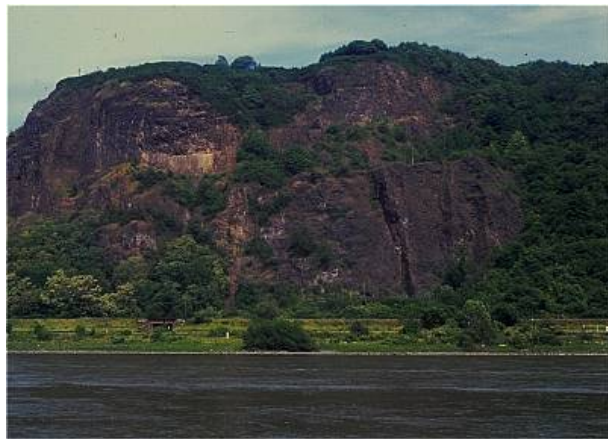


Abbildung 112: Devon Rheinisches Schiefergebirge.

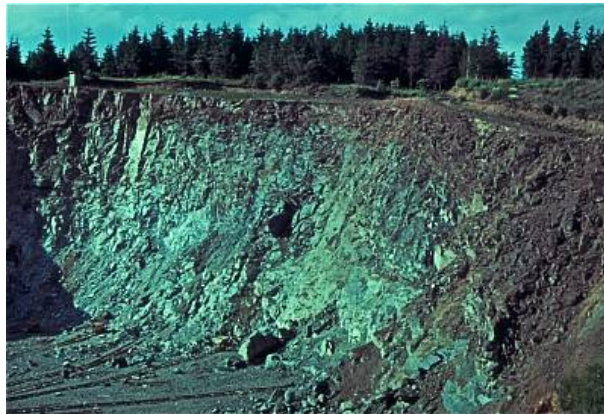


Abbildung 113: Diabas b. Plauen.

von 1885 bis 1917 mehr als 30 Jahre Ordinarius in Marburg war, für Harz und Rheinisches Schiefergebirge eine von anderen Vorkommen abweichende Gliederung der Devonschichten gegeben. Wichtig war die Parallelisierung mit Nordamerika, wobei gewiß ebenfalls eine andere Schichtenfolge aufzustellen war, aber die Fossilabfolge doch insgesamt der in Europa entsprach.

Zu den größten Fossilsammlern, der vor allem die organischen Reste des Paläozoikum im Staate New York, zusammentrug, gehörte JAMES HALL jr. (D. W. FISHER 1972).

In Großbritannien und auf Irland gehören zum Devon auch meist rote Sandsteine, „**Old Red Sandstone**“ (A. GIEKIE 1892), als ein Äquivalent, eine Fazies, zu schiefrigen Gesteinen, abgelagert in den Senken des der Denudation unterworfenen Kaledonischen Gebirges. Den ersten Bericht über diesen Old Red Sandstone bot AMI BOUÉ, der an der Universität Edinburgh Medizin studiert hatte und durch JAMESON zu Mineralogie und Geognosie geführt worden war. Auch diese Zeit der Ablagerung des „Old Red Sandstone“ war begleitet von vulkanischen Ausbrüchen, untersucht von CHARLES MACLAREN. ARCHIBALD GEIKIE (s. auch 1924, S. 74) fand, daß jedenfalls im südlichen Teil von Schottland eine obere Abteilung von einer unteren zu trennen war, getrennt durch eine Ablagerungsunterbrechung, „unconformability“.

In Ost-Thüringen und im sächsischen Vogtland sind im Devon auch **vulkanische** Gesteine eingefügt, augenscheinlich untermeerisch entstanden und deshalb manchmal rasch kugelförmig erstarrt, der **Diabas**.



Abbildung 114: Kugeldiabas, Straßberg/Vogtland.

Jüngerer Paläozoikum: Teilweise Carbon, Perm

Perm

Von jeher war gerade den Gesteinen des seit 1841 Perm genannten Systems in Deutschland große Aufmerksamkeit gewidmet worden, lange, bevor an den Begriff "Perm" und ihre Begründung als eine einheitliche Formation zu denken war. Die verschiedenen Sandstein rings um den Harz, auch im Osten bis zum Saaletal waren viel beachtet worden, von VON FREIESLEBEN bis, in der zweiten Hälfte des 19. Jh., zu WERNER VON VELTHEIM und anderen (F, BEYSCHLAG et al. 1899). Zum Perm gehören in Mitteleuropa verbreitete und auch wirtschaftlich wichtige Sedimente, **Rotliegendes und Zechstein**. Das 'Rotliegende' hat seinen Namen vielerorts zu recht. Unterschieden werden Unteres und Oberes Rotliegendes.

Aber im Rotliegenden liegen auch bis offenbar nahe an die Erdoberfläche emporgedrungene vulkanische Gesteine, im Unteren Rotliegenden der dunkle **Melaphyr** (H. WEBER 1955, S. 42) und die verschiedenen, auch verschieden alten und einmal als **Porphyre** bezeichneten Gesteine. Der Terminus 'porphyrisch' wird nunmehr nur noch für das Strukturmerkmal größerer Einsprenglinge in weitgehend einheitlicher Grundmasse verwendet und die Rede ist nun von **Rhyolith**, etwa in den Hohburger Bergen nordöstlich von Leipzig und bei Löbejün nördlich Halle (Wikipedia 2013). Gerade die 'Porphyre', um für ihre verschiedenen Varianten noch den umfassenden verstehbaren Namen zu gebrauchen, führten in Nordwest-Sachsen, zu einem regen Steinbruchbetrieb.

Der in der Rotliegend-Zeit entstandene Porphyr bildete schon damals abgetragen jedenfalls etliches von den relativ feinkörnigen sedimentären roten Ablagerungen ,



Abbildung 115: Rotliegendes, Gera.

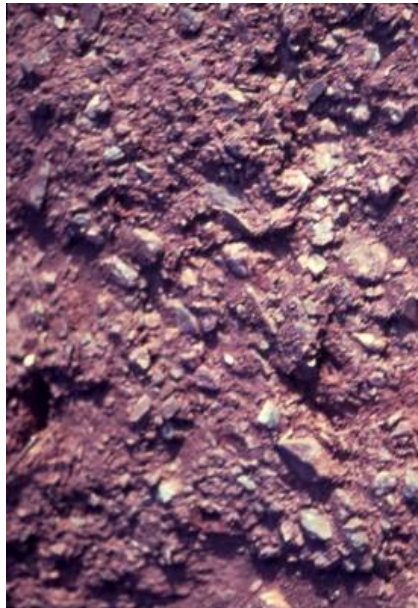


Abbildung 116: Rotliegend-Konglomerat, Gera.



Abbildung 117: Ober-Rotliegendes nahe Wartburg.



Abbildung 118: Porphyry - Rotlieg., Geith..



Abbildung 119: Porphyrtuff Rochlitzer Berg.



Abbildung 120: NW-Sachsen Porphyryland. Brandis.



Abbildung 121: Granitporphyr Beucha.



Abbildung 122: Quarzporphyr. Kohlenberg Brandis.



Abbildung 123: Porphyr. Thür. Wald.



Abbildung 124: Zechst. auf Rotl., Gera.

dem "Detritus" des Rotliegenden, wie es VON FRITSCH schon 1859 (S. 133) sah. Also im selben Erd-Zeitalter vom Eruptivgestein zum Sediment.

Der **Zechstein** ist in Mitteleuropa oft Kalk, oder in ihm erschienen **Evaporite**, Salzgesteine aus Meersverdunstung, Gips etwa oder das an der Erdoberfläche im niederschlagsreichen Mitteleuropa nicht haltbare Kochsalz, aber nicht nur.

Während die Sedimente des Rotliegenden in den Senken des Varistischen Gebirges abgelagert wurden, schritten die Zechstein-Ablagerungen auch über die noch höher liegenden und von Rotliegend-Aufschüttungen freien Flächen hinweg, aber in ihrer Ausbildung, etwa im 'primären Fehlen' von Unterem Zechstein auch noch Untiefen anzeigend (B. VON FREYBERG 1935; 1977, S. 6). Und von Küstennähe sprechen auch die Riffe (s. d.). Größere Teile Süddeutschlands wurden vom Zechsteinmeer nicht betroffen (B. VON FREYBERG 1935, S. 193).

Über dem Zechstein wird es wieder farbiger, folgt der oft aber nicht immer rötliche Buntsandstein, den man durch den trennenden, im allgemeinen weißen Zechstein vom unter dem Zechstein liegenden Rotliegenden klar trennen kann.

HEIM hatte das von ihm 'Totliegende' genannte rote und später von anderen Rotliegendes genannte Gestein und den älteren Kalkstein, den Zechstein, ausführlich beschrieben. FREIESLEBEN hatte über das Tot-Rotliegende und die darüber befindlichen Schichten des Zechstein eine Monographie verfaßt. Auch Schichten anderwärts, so in Schlesien, wurden mit diesen Abfolgen parallelisiert.



Abbildung 125: Unterster Zechstein, Föhrta b. Eisenach.



Abbildung 126: Ob. Zechstein, Geithain.



Abbildung 127: FREIESLEBEN-Erinnerung. Freiberg.

Das häufigere Zusammenvorkommen von Rotliegendem und Zechstein hatte also schon frühzeitig dazu geführt, diese Schichtenfolgen gemeinsam zu betrachten. OMALIUS D' HALLOY hatte 1808 diese Schichten gemeinsam mit der Trias in der "Formation du grès rouge" vereinigt und später mit dem Namen "terrain péneen" vertauscht. In Süddeutschland etwa wird das Rotliegende nicht durch Zechsteinkalk vom Buntsandstein getrennt, was ihre Verknüpfung bewirkte. Aber die Absonderung der Trias wurde dann doch, wegen der Fossilien, als berechtigt anerkannt.

MURCHISON gab 1841 den Namen 'Permian System' einer "vast series of beds of marls, schists, limestones, sandstones and conglomerates" (S 419), die er auf seiner Rußlandreise östlich der Wolga über dem 'carboniferous system' (Carbon) fand. Er erkannte die weitgehende Parallelität mit Schichten in Deutschland oder England, andererseits vereinte er einen Teil der unteren Trias, als 'bunte Schiefer' bezeichnet, zunächst mit dem Perm zu einer 'paläozoischen Trias' vereint. Es gab aber ohnehin keine völlige Übereinstimmung und MURCHISON erwartete, daß obere Schichten in Rußland mit einem Teil der Trias in Deutschland parallelisiert werden müssen.

Die Trennung des Perm von der darüber liegenden Trias vor allem auch außerhalb von Rußland, wurde dann **vor allem paläontologisch begründet**, so wie auch das Devon schon vor allem durch seine Fossilien als eigene Formation (System) abgetrennt worden war. Die **Fossilien der Trias setzten sich scharf von denen des Perm ab**. Die Fossilien des Perm waren dem Paläozoikum zuzurechnen (R. I. MURCHISON 1845), waren andere als im Meere der frühen Trias. Der Fossilwechsel vom Perm zur Trias war als **Faunensprung** zu bezeichnen. Das klang katastrophistisch, jedoch dieser Faunenwechsel konnte nicht in einer in den Sedimenten sichtbaren geologischen Umwälzung seinen Ursprung haben, denn den Schichten, in den Gesteinen, war der Übergang vom Perm zur Trias eher kontinuierlich und entsprach nicht dem schroffen Fossilienwechsel. Andererseits lag das Perm oder das obere Carbon oft in Europa auf gestörtem älteren Untergrund, also auf einer eher für eine Katastrophe sprechende Unterlage, die aber dann eben nur einer normalen Gebirgsbildung, von langer Dauer, zuzuordnen war. Aber zwischen dem so stark gefalteten und gestörten Altpaläozoikum und dem oberen Carbon gab es nicht diesen Sprung bei den Fossilien. "These phenomena", sagte MURCHISON (1845, S. 83), "prove that the most marked distinctions between the fossils of succeeding formations cannot be referred to physical revolutions of the surface; for in the examples cited there is a sequence of congeneric remains, where the succession of the strata has been powerfully interrupted (Carboniferous to Permian) and a total change of fossils where the contiguous formations are conformable (Permian to Trias)." Als MURCHISON 1845 das **Permian System** beschrieb, kannte er in

dieser Formation 166 fossile Arten, von denen 148 für das System charakteristisch waren. In Rußland fand sich etwa ein Drittel dieser permischen Fossilien, nämlich 53 Arten, davon, nach damaliger Kenntnis, 32 auf Rußland beschränkt. 33 permische Arten hatte SEDGWICK in England nachgewiesen, 41 GEINITZ bis dahin in Sachsen. Als sehr verbreitete Fossilien erwiesen sich die Brachiopoden (*Productus*, *Spirifer*, *Orthis*, *Terebratula* u. a.).

Es war für MURCHISON eine Freude, daß NAUMANN in Leipzig nach dessen Erfahrungen in **Sachsen** der Vereinigung von Rotliegendem und Zechstein zu einer gemeinsamen Formation zustimmte und auch den von bisherigen Bezeichnungen unabhängigen neuen Namen billigte (R. I. MURCHISON 1849 c). Das geschah trotz der Tatsache, daß gerade in Deutschland, wie NAUMANN hervorhob, Rotliegendes und Zechstein so klar getrennt erscheinen. Nachdem die Bezeichnung 'Perm' eingeführt worden war, gab es weiterhin Versuche, diesen Terminus zu ersetzen, vielleicht, weil er einer zu fernen Region entnommen war. Nicht durchgesetzt hat sich der 1850 von HAUSMANN vorgeschlagene Name 'Thüringer Formation' für Rotliegendes und Zechstein. Auch das war ein Lokalname, der etwa GEINITZ ungünstig erschien. Der französische Geologe JULES MARCOU hatte 1859 die Bezeichnung "**Dyas**" (Zweiheit) vorgeschlagen und diese Bezeichnung versuchte der sächsische Geologe H. B. GEINITZ (s. u. a. 1861 a, b) auch in Deutschland durchzusetzen. Auch wurde manches Grundlegende über Rotliegendes und Zechstein in Sachsen erforscht, durch GEINITZ, GUTBIER und andere. Die Zahl der aus der 'Dyas' bekannten fossilen Arten hatte sich zwischen 1848 und 1861 durch diese und weitere Paläontologen (H. R. GOEPPERT 1864 - 1865) immerhin um das Dreifache vermehrt und auch das verdeutlicht, wie die Festlegung der Formationen - oder 'Systeme' - im 19. Jahrhundert immer genauer wurde. Jedoch mußte der Sachse GEINITZ die Enttäuschung hinnehmen, daß sich nicht sein Terminus 'Dyas', sondern die von dem Angelsachsen MURCHISON vorgeschlagene Bezeichnung 'Perm' schließlich durchsetzte.

Die von den Gesteinen her etwa in Mitteleuropa fehlende Absetzung des Perm gegenüber der folgenden, also in den Sedimenten nach oben anschließenden Trias hat immer einmal wieder dazu geführt, Perm und Trias in enge Beziehung zu bringen. A. v. KOENEN ließ das Mesozoikum gern mit dem Zechstein beginnen (POMPECKJ 1915). Das Perm blieb auch weiterhin, auch weltweit, eine besonders umstrittene Formation (R. T. CHAMBERLIN 1935).

So wie von den Gesteinen her die **Trennung** des Perm vom Darüberliegenden Probleme bereitete, so auch **nach unten, zum Ober-Carbon** (so F. BEYSCHLAG et al. 1899), das in Mitteleuropa und anderswo nach der gewaltigen Faltung im Untercarbon, der Variscischen Gebirgsbildung, flacher gelagerte und auch rötliche Schichten bildete, ähnliche Sedimente wie das sedimentäre Rotliegende. Das reiz-



Abbildung 128: Rotliegendes bei Gera.

volle Saaletal abwärts von Halle, zwischen Wettin und Könnern, wird umsäumt von rotem Gestein, das dem Rotliegenden zugerechnet wurde. VON FRITSCH (O. LUEDECKE, 1905 /1906, 1906,) ordnete **an Hand von Pflanzenfossilien** diese roten Gesteine im Saaletal abwärts von Halle dem Carbon zu, und ebenso solches Gestein im Mansfeldischen und am Kyffhäuser.

VON FRITSCH erkannte auch, daß die vulkanischen **Porphyre** in mehreren Ergüssen jedenfalls um Halle nur dem **Unter-Rotliegenden** angehören, wobei ein durch Zwischenschichten getrennter älterer und von einem jüngeren Porphyr zu unterscheiden ist.

In neuerer Zeit werden das ungefaltete Obere Carbon und das kaum abtrennbare Rotliegende auch unter dem verbindenden Namen **Permosiles** geführt, ohne allerdings die Formationen Carbon und Perm aufzuheben.

Tertiär

Zu diesem einmal als dritte Großformation ausgeschiedenem System gehören beträchtliche Lockermassen oder nur bis zu einem gewissen Grade verfestigte Gesteine, also Tone, Lehme, Sande, auch kaolinisierte Tone, die sich zunächst kaum von den Lockermassen des Quartär trennen ließen. Diese tertiären Ablagerungen sollten daher Teil jener Produkte einer gewaltigen Flut sein, mit der zunächst BUCKLAND noch rechnete. Auch große Kohlenlager, nämlich der größte Teil der Braunkohle (soft coal) gehören in verschiedenen Flözen in das Tertiär mit seinem



Abbildung 129: Ober-Carbon N Halle.



Abbildung 130: Obercarbon-Flora. Chemnitz.



Abbildung 131: Flora Unterrotliegendes Chemnitz.

Reichtum an Blütenpflanzen.

THOMAS WEBSTER verglich Tertiärbildungen auf den südenglischen Inseln Wight und der "Isle" of Portland mit jenen Tertiärbildungen, welche CUVIER und BRONGNIART im Pariser Becken beschrieben hatten (J. CHALLINOR 19). LOUIS-CONSTANT PRÉVOST untersuchte die Tertiärbildungen im Wiener Becken und erwies sie als jünger als jene im Pariser Becken (M. J. S. RUDWICK 19). In Frankreich erkannte JULES DESNOYERS 1825, daß die Tertiärablagerungen im Loiretal jünger sind als die des Pariser Becken (L. G. WILSON 1980) und beschrieb dann die Tertiärablagerungen Frankreichs. Die offenbare Länge der zum Tertiär gestellten Bildungen und die Notwendigkeit einer weiteren Untergliederung wurde dann vor allem auch LYELL bewußt. Als LYELL im Mai 1828 England zu einer Reise nach Frankreich und Italien verließ, betrachtete er die Tertiärschichten im Pariser Becken als die Repräsentanz des Tertiärs. Aber in Neapel im Januar 1829 war ihm klar, daß das Tertiär nicht nur mancherorts beachtliche Ablagerungshöhe erreicht, sondern daß in seinem Verlauf auch bemerkenswerte Veränderungen in der Organismenwelt stattfanden (L. G. WILSON 1980). Bei der Rückreise im Februar 1829 traf LYELL in Paris auf Empfehlung von DESNOYERS mit GÉRARD DESHAYES zusammen. Dieser hatte eine große Sammlung mit Tertiärfossilien angelegt und berichtete, daß er drei Perioden innerhalb des Tertiär unterscheiden würde. Während die Fossilien im Pariser und Londoner Becken ähnlich waren und kaum noch lebende Arten aufweisen, wichen die Tertiärfossilien rund um Bordeaux



Abbildung 132: 'Steinerner Wald' Varna.

davon ab und von ihnen war etwa ein Viertel der Arten noch rezent anzutreffen. DESHAYES hatte auch die Ähnlichkeit wiederum der Arten bei Bordeaux mit denen italienischer Tertiärablagerungen erfahren.

Mit der Hilfe von DESHAYES unterschied nach ihrem Fossilgehalt LYELL 1833 4 Abteilungen innerhalb des Tertiär. Er nannte sie, von unten nach oben: **Eocene/Eocän, Miocene/Miocän, älteres Pliocene/Pliocän, jüngeres Pliocän**. Mit der Gliederung des Tertiär konnte auch die Vulkantätigkeit in der Auvergne und anderswo in diese Formation eingeordnet werden. In der Auvergne begann nach den Befunden der Vulkanismus im späten Eozän. Im Velay, in der Südauvergne, setzte die Vulkantätigkeit im Miozän ein. In das Eocän eingeordnet werden die 'Säulen' des sogenannten 'Steinernen Waldes' bei Varna in Bulgarien, entstanden unter dem Meeresboden und später freigelegt, und umstritten ob ihrer Herkunft nach organisch? oder mineralisch? (Wikipedia 2013).

In das Tertiär fügte ERNST BEYRICH 1847 das **Oligocän** oberhalb des Eocän ein, wobei er durch reiche Funde bei Hermsdorf (Mark) durch L. VON BUCH dazu angeregt worden war (O. v. LINSTOW 1922). Es dauerte etliche Zeit, bis diese Abteilung 'Oligozän' außerhalb Deutschlands beachtet und damit anerkannt wurde. In Teilen Deutschlands, auch im nordwestlichen Sachsen, griff noch einmal ein flaches Meer auf das Land.

Für die Altersstellung der einzelnen Tertiär-Ablagerungen erwiesen sich die schalen tragenden Mollusken, die "Conchylien", als besonders hilfreich. Allerdings ergaben die Untersuchungen der Tertiär-Ablagerungen, daß die Faunen "keine scharfen Grenzen wahrnehmen" (E. BEYRICH 1853/1857, S. 10/11). Die "Conchylien" des Wiener Tertiärbeckens beschrieb HÖRNES. BEYRICH (s. u. a. 1853, A. v. KOENEN 1866 - 1869) hat in Mitteleuropa die "Conchylien" des Tertiärs von



Abbildung 133: Oligozänmeer/Braunkohle. Böhlen 1962.

den Grenzen Belgiens und Hollands in östlicher Richtung durch Norddeutschland bis zur Oder zu erfassen gesucht. A. E. REUSS (1855, 1863) versuchte die Tertiärbildungen zu unterscheiden, nachdem der **Septarienton** (Rupelton) in der Umgebung von Berlin als eine besonders auffällige eigenständige und auf das **Mitteloligozän** beschränkte Schicht erkannt und ihre weite Verbreitung im nördlichen Deutschland deutlich wurde, was erlaubte, von ihr ausgehend Tertiärschichten einzuordnen. **Septarien** sind als größere Klumpen erscheinende Kalkkonkretionen in kalkhaltigen Tonen, oft durch Risse gekennzeichnet, also 'separiert'. Hatte BEYRICH die Tertiärgliederung namentlich mit Hilfe der Mollusken vorgenommen, so nutzte REUSS (1863) die Foraminiferen, Ostrakoden und Bryozoen. In das Oligozän ordnete BEYRICH auch einen an kleineren bleichen Schnecken reichen bräunlichen Sandstein in Norddeutschland ein, in Mecklenburg-Vorpommern und auch Schleswig-Holstein, gesehen als eine Strandbildung im Oberoligozän-Meer (K. VON BÜLOW 1952, S. 14), den '**Sternberger Kuchen**'. Die Gletscher der letzten Eiszeit hatten Stücke davon als Lesestein im Gelände verbreitet und solche wurden besonders um die mecklenburgische Kleinstadt Sternberg gefunden. Der 'Sternberger Kuchen' war schon im 18. Jh beachtet worden, und an der Universität Rostock hatte J. H. LÖCHNER 1711 eine Dissertation über das Gestein verfaßt, der Sternberger Rektor und Pastor DAVID FRANCK darüber geschrieben und WALCH die Fossilien untersucht (Müritz-Museum Waren im Internet).

In das Eozän und Oligozän sind auch die **Braunkohlenquarzite** (R. GLÄSER 1955, S. 38 ff.) einzuordnen, unter der Braunkohle, sehr harte verkieselte hell- bis dunkelbraune Sandsteine, in denen keine einzelner Körner zu erkennen sind. Besonders harte Partien, 'Knollensteine', finden sich in Einzelstücken auch dort, wo die weicheren Tertiärschichten abgetragen sind, selbst auf den Höhen von danach gehobenen Mittelgebirgen, letzte Zeugnisse der einstigen Tertiärbedeckung.



Abbildung 134: 'Sternberger Kuchen', Lesestein.



Abbildung 135: Tertiärschicht Knollensteine/Quarzit.



Abbildung 136: Braunkohlenquarzit, aufgerichtet.



Abbildung 137: Braunkohlenquarzit. Leipzig.



Abbildung 138: Braunkohlentagebau Profen.

BEYRICHS Schüler ADOLF VON KOENEN (POMPECKJ 1915), seit 1881 Geologie-Ordinarius an der Universität Göttingen, wurde zum weiteren führenden deutschen Tertiär-Spezialisten. Die mächtigen Tonschichten des Mittel-Oligozän in Nordwest-Deutschland galten als auf einem ruhigen tiefen Meeresgrund als feiner Schlamm abgesetzt (A. v. KOENEN 1866 - 1869). NEUMAYR erforschte 1874 das Tertiär auf griechischen Inseln, so auf Kos, wo sich ebenfalls fossile Süßwasserschnecken in großer Zahl und allmählicher Umbildung fanden.

Zum Tertiär gehören auch in Mitteleuropa **zahlreiche** erloschene **Vulkane**, im Böhmisches Mittelgebirge, im Erzgebirge, in der Lausitz, erhalten als Schlot-ausfüllung oder als Reste von Lavadecken, als Basalt. Und **unter** dem harten **Basalt** befinden sich, in dessen Schutz, oft **Tertiär-Ablagerungen**, teilweise fos-sile Böden oder Flußablagerungen.

In Mitteleuropa gab in mehreren Zeiten des Teriär auch **Braunkohlenablage-rungen**. Auch feiner Sand, Ton und Lehm aus dem Tertiär werden abgebaut. Angiospermen bildeten die Braunkohlen bildenden Sümpfe. Es gab gerade **unter den Bäumen Arten**, die **nach der Eiszeit nicht wieder in Europa** vorkamen, aber in Nordamerika oder Ostasien überlebten. In Europa angepflanzt gedeihen sie ausgezeichnet. Es sind also vergangene Umweltverhältnisse, die sie in Europa ver-schwinden ließen.



Abbildung 139: Liquidambar. Cottbus.



Abbildung 140: Liquidambar styraciflua L. rezent.



Abbildung 141: Eßkastanie. Tertiär Niederlausitz.



Abbildung 142: Braunkohlenpflanze Fruchtkern Niederlausitz.



Abbildung 143: Sequoia. Naturkundemuseum Leipzig.



Abbildung 144: Stamm Sumpfpypresse. Zittau.

”Alluvium”, ”Diluvium”, ’Holozän’, Quartär - Die Lockermassen der jüngsten Erdgeschichte

Große Teile der Erde, vor allem auch große Teile des nördlichen Mittel- und Osteuropa, auch Großbritannien, sind von Lockermassen bedeckt, die, oberhalb des Tertiär, vielfach der Glazialperiode angehören, Massen, die trotz ihrer Mächtigkeit den Geologen eher zu spotten schienen und von ihnen eher außer Acht gelassen wurden. Diese Lockermassen wurden zunächst jedenfalls nicht gegliedert, weil das schwierig zu sein schien. jedenfalls im Vergleich zu den festen und verfestigten älteren Gesteinen. Vom ebenfalls Lockermassen aufweisenden Tertiär wurden sie schließlich abgegrenzt. Der religionsnahe WILLIAM BUCKLAND (K. ANDRÉE 1930, D. OLDROYD 1999)) hatte den Terminus **”Diluvium”**, im neueren Sinne, eingeführt, Der Terminus ’Diluvium’ erinnerte zumindestens an die Flut, die BUCKLAND ohnehin kaum aufgab. Der auf die Sintflut bezug nehmende Begriff ’Diluvium’ wurde bisweilen auch noch im 20. Jh. angewandt ohne Akzeptierung einer erdweiten Flut. BUCKLAND unterschied das Diluvium scharf von den Absätzen der modernen Gewässer, die er zum **”Alluvium”** zusammenfaßte. Im Jahre 1831 hatte JAMES YATES beklagt, daß dieses lockere ”Alluvium” für die Beachtung der Geologen wohl zu ”simpel” und zu einfach sei, aber ”in some respects it appears to claim a more exact study than any other class of geological appearances”. Diese wurde gestellt besonders im Hinblick darauf, daß die vergangenen Zeiten von

der Gegenwart aus und von den jungen Zeiten her betrachtet werden müssen, also der jüngeren Vergangenheit. Für die jüngeren, also nach-tertiären Lockermassen, hat sich schließlich der Terminus "**Quartär**" durchgesetzt, zurückgeführt auf 1828 JULES DESNOYENS (Wikipedia 2015), auf MARCEL PIERRE DE SERRES 1838 (M. PFANNENSTIEL 1972 /73). Das Quartär bestand demnach aus BUCKLANDs 'Diluvium'/'Diluvial detritus' und 'Alluvium'/'Alluvial detritus' von 1823 (s. a. K. VON BÜLOW 1930, S. 1), und es umfaßte also Eiszeitalter und letzte Nacheiszeit. Der Terminus 'Diluvium' wurde dann ersetzt durch '**Pleistozän**', also dem Eiszeitalter im engeren Sinn, bis zum letzten Gletscherrückzug. Ihm folgte als die zweite, viel kürzere Abteilung des Quartär das '**Alluvium**', welches das letzte Nacheiszeitalter umfaßte. Die Termini 'Diluvium und Alluvium (Quartär)' benutzte für den Titel des ersten Bandes seiner 'Geologie Mecklenburgs' 1922 EUGEN GEINITZ (1922), und der Mecklenburg-Geologe KURD VON BÜLOW veröffentlichte ein ganzes Buch mit dem Titel 'Alluvium', Terminus für, wie er es nannte, eine 'Epoche', also vergleichbar etwa dem Buntsandstein in der Formation Trias.. Der Terminus 'Alluvium' wurde aber abgelöst durch den Terminus '**Holozän**', das 'ganz rezente', einen Terminus, den der französische Zoologe und Paläontologe PAUL GERVAIS um 1867 geprägt hatte (S. L. LEWIS et al. 2015, S. 173) und der allgemein übernommen wurde, die Zeit nach der letzten Eiszeit, das Postglazial im engeren Sinne. 'Alluvium' nennt man nur noch die jungen Schwemmassenablagerungen, 'Alluvium' ist also kein Zeitbegriff mehr.

LYELL hatte einst von einer 'ganz rezenten' Epoche gesprochen, ohne Unterschied von Diluvium und Alluvium (PH. J. LAWRENCE 1972, S. 30). Das '**Holozän**', von kaum 20 Jahrtausenden, weist keine eigenen Leitfossilien auf und ist nur klimatisch abgegrenzt (R. MONASTERSKY 2015). Als die Lockermassen über dem Tertiär und unter dem "Alluvium" als Produkte des Inlandeises erkannt waren, schrieb PENCK 1882 (S. 1) auch von einer "**Glacialformation**" (s. Kapitel Eiszeitalter). Wegen der gravierenden Veränderungen auf der Erdoberfläche durch die Wirtschaft vor allem des neuzeitlichen Menschen wurde und wird zu Anfang des 21. Jh. verstärkt über ein eigene Zeitalter des Menschen, ein '**Anthropozän**' diskutiert (R. MONASTERSKY 2015), sogar als eigene Formation/System, und wäre dann kürzer als die meisten Unterglieder der vorangegangenen Formationen, mit denen man die Vorstellung von 'Jahrmillionen' verbindet.

"Azoikum" (Azoic). Vorkambrische Formationen

Mit dem Terminus "**Azoic**" bezeichnete MURCHISON (1849 b, S. 468) die kristallinen Massen unterhalb des Silur in Skandinavien. In diesen kristallinen Massen fand sich kein Fossilrest: "... also from their nature they seem to have been formed

under such accompanying conditions of intense heat and fusion, that it is hopeless to attempt to find in them traces of organisation". Das 'Azoic' mochte dann jene Epoche sein, in der sich eine feste Erdkruste bildete, während das nach MURCHISON darauf liegende Silur – bei seiner Nichtanerkennung des Kambrium - die frühesten Lebensreste enthielt. MURCHISON sprach vom 'protozoic' oder dem ältesten Typ von tierischem Leben. Als früheste Lebensreste fand MURCHISON in unterschiedlichen Sedimenten 'Fucoiden' (fucoids), also Algen.

In Kanada hat WILLIAM EDMOND LOGAN um 1852 die "**Laurentian Series**" ausgeschieden, über denen das möglicherweise dem europäischen Unterkambrium äquivalente "Huronian" abgetrennt wurde. LOGAN (C. L. FENTON et al. 1952, C. G. WINDER 2004), einer der ersten bedeutenden kanadischen Geologen, war am 20. April 1798 in Montreal als Sohn eines Bäckers und Grundeigentümers von schottischen Vorfahren geboren. LOGAN besuchte später die Universität von Edinburgh und arbeitete in Finanzen bei einem Onkel in London. Er reiste in Italien und Spanien, las 1834 LYELLS "Principles of Geology", kartierte geologisch etwa in Wales, nach 1841 in Kanada bzw. in dem noch nicht zu Kanada gehörenden Nova Scotia. Als erster in Kanada Geborener wurde er geadelt und nach dem im Juni 1875 gestorbenen LOGAN der Mount Logan, Kanadas höchster Gipfel, benannt.

Später hat LOGAN das "Laurentian" als System, das "Huronian" als Serie bezeichnet.

Auch die von LOGAN als **präkambrisch einzuordnenden Gesteine** erschienen **nicht** als solche einer **primären Erdkruste**, ja enthielten sogar Spuren, die als Leben gedeutet wurden, das umstrittene **Eozoon**. ANDREW COWPER LAWSON (F. J. PETTIJOHN (1977) fand LOGANs Laurentian gneisses als intrusiv-Gesteine, eingedrungen in Schiefer, womit die Laurentian Gneise jünger sein mußten als diese Schiefer die nun als **Keewatin** bezeichnet wurden. Offenbar waren auch diese so uralten Gesteine in die schon stattfindende geologische Geschichte mit ihren Material- und Gesteins-Kreisläufen einzuordnen.

Eine gesuchte primäre, aus der Erstarrung einer vermuteten glutflüssigen Erdkruste hervorgegangene allerälteste Gesteinsbildung rückte immer wieder nach unten ins Nebulöse hinweg. **Das anscheinend Älteste erwies sich immer wieder als nicht das Älteste.** Wie der US-amerikanische Geologe JAMES HALL 1857 (gedruckt 1883) ausführte: Auch das 'Älteste' enthielt Zeugnisse für Wasser und nicht für Gluthitze. Der Aktualismus ließ sich immer weiter nach unten ausdehnen. Gab es denn eine **primäre Erstarrungskruste** gar **nicht**? Zumindestens war ihr Material längst in den Gesteins"kreislauf" einbezogen.

Das gilt auch für die uralten Gesteine von Nord-und West-**Australien** (E. KRAUS



Abbildung 145: Uralt. N-Australien.

1959, S. 88/89), so in der Catherine Gorge. Australien ist ein Kontinent aus vor allem sehr alten Gestein, der Großteill **präkambrisch** (H. WOPFNER 1997, S. 15), aber die des Proterozoikum kaum oder nicht metamorphosiert und geben somit einen Einblick in der Entwicklung des Protrozoikum (S. 15). Die Alpidische Gebirgsbildung gab es auf dem Kontinent Australien nicht (S. 14), wohl aber in den Australien umgebenden Neuguinea, Neukaledonien Neuseeland, (S. 20)..

In **NO-Sachsen** werden gewisse **Grauwacken** ins Algonkium gestellt, so bei Kamenz und wurde das für solche in Nordwestsachsen diskutiert. Grauwacken gelten als **küstennahe Ablagerung**.

Die große **Zeit der Erdforschung des Präkambriums** kam erst im 20. Jh. JOHANN JAKOB SEDERHOLM, in Finnland führender Geologe, klärte die **Existenz von Zeitaltern** mit eigener Schichtenfolge in dem zunächst so schwer zugänglichen Präkambrium (H. CLOOS 1951, S. 141). Statt Fossilien mußten hier Gesteine zur Abgrenzung dienen, Es gab Konglomerate und Sandsteine! Und am Ende des 20. Jh.: Die Bezeichnungen Algonkium und Eozoikum sind veraltet. Unterschieden werden die beiden großen Äonen **Archaikum** und das jüngere **Proterozoikum** (s. U. LINNEMANN et al. 2010), letzteres also das dem Kambrium nach unten nächststehende Präkambrium, wobei es an die Bezeichnung MURCHISONs 'protozoic' erinnert.



Abbildung 146: Grauwacke b. Kamenz.

Aufgegebene 'Formationen' und lokale Formationsnamen - Der Wealden

Die Namen der Formationen mußten sich erst durchsetzen. Mancher Geologe verwendete eigenwillig eigene Bezeichnungen. HEINRICH GEORG BRONN nannte 1835 - 37 als eigene Namen Kohlen-, Salz-, Kreide-, Molassen- Gebirge.

Einige Male wurden in bestimmten Territorien als mächtige Komplexe auftretende Sedimente als eigene 'Formationen' beschrieben. Die weitere Feststellung ihrer Fossilien führte jedoch zu ihrer Einordnung in eine andere, schon bestehende Formationen. So geschah es mit dem '**Wealden**', dem 'Weald', dem "Wälderton", der in England als eigene Formation beschrieben wurde, den LYELL in Frankreich verfolgte und der dann auch in Nordwest-Deutschland zuerst durch FR. HOFFMANN 1830 angedeutet und durch WILHELM DUNKER 1846 eingehend monographisch behandelt wurde. Den Tier - und Pflanzenresten nach handelt es sich bei den durch "Ton - und Mergelarten" sowie durch Sandsteine und durch der Steinkohle ähnliche wertvolle Kohle in der seinerzeitigen Grafschaft Schaumburg und dem Fürstentum Bückeburg ausgezeichneten, oft kohligen und bituminösen Ablagerungen hauptsächlich um Süßwasserbildungen, auch um Sedimente von Flußmündungen an der Küste. Diese Ablagerungen bildeten nunmehr Teile des nordwestdeutschen Hügellandes. Die Bildungen waren einzuordnen über der "reinen Meeresformation des oberen Juragebirges" und überdeckt von den "unteren

Gliedern der Kreide” (W. DUNKER 1846, S. XI). Diese 'Wealden'-Formation wurde später mit dem Jura verschmolzen und wurden dann als besondere, nur in einigen Gebieten vorhandene Fazies, als Deltafazies, der unteren Kreide zugeordnet. Derartige Delta befanden sich in der unteren Kreide einmal im nordwestlichen Deutschland und dann in England, als Hastingsand (H. CREDNER 1912).

Innerhalb der Ablagerungen einer Formation können also einzelne Teile regional eine derartige Mächtigkeit besitzen, daß sie als eigene Formation erscheinen und erst ihr Verfolgen außerhalb ihres Mächtigkeitsbereiches läßt ihre nötige Zuordnung zu einer anderen Formation deutlich werden.

In beckenförmigen Ablagerungen sind die Glieder ohnehin in der Beckenmitte viel dicker abgelagert und keilen nach dem Rande aus, also waren die Abteilungen gar nicht überall klar zu trennen (O. WAGENBRETH 1999).

Mancher Formationsname wurde in entfernten Gebieten geprägt, aber der Name fand dann wie die 'Dwyka-Formation' Südafrikas keinen Eingang das weltweite Formationssystem, sondern mußte sich anderen Namen einordnen.

Manchmal wurden noch im 20. Jh. scheinbar sicher zugeordnete Sedimente in eine andere Formation gestellt, so wenn man im Kyffhäuser einst als Rotliegendes bezeichnete Gesteine richtigerweise in das Obercarbon überführte (W. von SEIDLITZ 1932).

Verknüpfte 'Formationen'

Es war etwa schon B. COTTA 1854 bekannt, daß in Deutschland die Kohleformation oder wenigstens Teile davon und mit ihm zusammen das Rotliegende eine gemeinsame "sehr auffallende Unterbrechung der Meeresablagerungen", bedeuten, also die beiden Zeitalter große Gemeinsamkeiten aufweisen. Auch in den Sedimenten fanden sich in beiden Konglomerate und andere Gesteine aus mechanischer Verwitterung. B. COTTA vereinte Carbon, oder wenigstens das Obercarbon. mit dem Rotliegenden zur 'Kohlengruppe'. Später, im 20. Jh., bezeichnete man die festländischen Bildungen von Obercarbon und Rotliegendem als 'Permosiles'. Aber das Rotliegende gehört seinem Fossilbestand nach und den Verhältnissen anderswo zum 'Perm'.

Die Schaffung der Formationstabelle möglichst erdweit - Parallelisierung von Region zu Region, von Land zu Land, und über die Kontinente

Grundlagen der Parallelisierungen - Parallelisierungs-Reisen

Einzelne **Erdperioden**, die zu Systemen oder Formationen führten, waren zunächst

in einzelnen Regionen aufgestellt worden. Die Feststellung der Zeitgleichheit von Schichten auch in anderen Regionen, die teilweise anders ausgebildet waren, also anderer Fazies angehörten, und trotz gleichem Fossilinhalt überhaupt nicht richtig gleichzeitig mit den Schichten anderswo begonnen oder geendet haben mußten, sollten dennoch zu einer erdweit gültigen Zeittafel der Formationen führen. Auch die Namen mußten dann angeglichen werden, auch wenn regionale Bezeichnungen für regionale Verhältnisse nicht unbedingt aufgegeben werden mußten. Zur Parallelisierung wurden nicht nur die getrennt erstellten Beschreibungen der Schichtenfolgen und ihrer Fossilien in verschiedenen Territorien benutzt, also Parallelisierung durch die Fachliteratur versucht, sondern erfahrene Geologen bereisten verschiedene Territorien zu eigenen Vergleichen. Mit der Anerkennung der Formations-/System-Tabelle wurden **die zahlreichen geologischen Regionalarbeiten Beiträge zur Parallelisierung**, denn in die Formationstabelle und deren nun weitgehend offizielle Benennungen wurden die Sedimente und überhaupt die Gesteine der eigenen Region eingeordnet. Das bei NAUMANN in Sachsen oder dem jungen, 21-jährigen VON FRITSCH in einer "Geognostischen Skizze der Umgegend von Ilmenau am Thüringer Walde" von 1859 - um nur zwei Beispiele zu nennen.

Weitgespannere Parallisierungen brachten zuerst OPPEL zum Jura und MURCHISON und SEDGWICK (FLEGEL 1927) zu paläozoischen Formationen. Man kann von **Parallelisierungs-Reisen** sprechen. MURCHISON war nicht nur ein Begründer von Formationen/Systemen, sondern mit seinen Reisen bis über den Ural und nach Nordost-Europa einer der bedeutendsten Geologen mit Parallelisierungs-Reisen. Aber die in den verschiedensten Ländern aufkommenden Geologen haben dann auch selbst in ihren Landen für den Anschluß der Gesteinsschichten dort an die international anerkannte Formations-/System gesorgt. Schwierigkeiten in der Anerkennung der in Europa aufgestellten Bezeichnungen kam in den USA.

Grundlage der Parallelisierungen waren die Fossilien. Manche eine bestimmte Formation kennzeichnenden Fossilarten sich erdweit verbreitet. Gleiche Fossilien wurden vielfach als gleichalt betrachtet. Gleichartige Fossilien sollten also gleiches Zeitalter bedeuten. Das zu Bedenkende war, ob dieselben fossilen Formen in den räumlich voneinander getrennten Gebieten nicht vielleicht nacheinander, in nicht den gleichen Zeiten, aufgetreten waren. Das ließ sich paläontologisch schwer erweisen. Als für solche Feststellungen geeignet erwiesen sich Formationen oder Abteilungen mit vielen fossilen Arten, so Jura und Kreide, denn die Gleichheit bei Fossilien verschiedener Gruppen machte die Zeitgleichheit zumindestens wahrscheinlicher. Immerhin fanden sich etwa in Jura oder Kreide in teilweise ganz anderer fazieller Ausbildung auch in Mexiko, Süd-Afrika oder Australien gleiche Fossilien. In entfernten und wenig durchforschten Ländern besaß man anfänglich oft nur

wenige Fundpunkte mit als Fossilien einer bestimmten Formation bestimmbar Formen. Oft waren es Zufallsfunde. Wie weit konnte man dann auf ein größeres Gebiet schließen? Jura in Syrien wies zuerst FRAAS (1867) an einem Fundplatz, dem Berge Hermon, nach, wo 34 Fossilienarten, darunter 17 Ammoniten, gesammelt wurden. Diese Fossilien zeigten große Übereinstimmung mit schwäbischen Vorkommen, waren also, ihr etwa zeitgleiches Vorkommen in Syrien vorausgesetzt, zeitlich einzuordnen. Die Brüder SCHLAGINWEIT lieferten Fossilien aus dem Himalaja, auch dem Ammoniten-Spezialisten OPPEL (H. MAYR 1999) willkommene Formen.

In den **USA** stellte sich dem in Europa entwickelten stratigraphischen System JAMES HALL (C. L. FENTON et al. 1952) entgegen und gab den Straten dort eigene Namen. 1843 lehnte er sogar die von England kommenden Termini "Cambrian", "Silurian", "Devonian" für Nordamerika ab, benannte ein eigenes "New-York System", mit Namen wie "Oriskany", "Niagara", "Genesee". War das nun Eigensinn eines zu patriotischen Amerikaners? Gegenüber seinen unterstellten Mitarbeitern benahm sich der ansonsten bedeutende Geologe HALL immerhin beklagensreich diktatorisch.

Neben den eigenständigen Namen für sicherlich teilweise anders als in Europa ausgebildete Schichten in Nordamerika kam so etwas auch in Südafrika zustande.

An die Fassung der großen Perioden namentlich in Europa und dann auch in Nordamerika schloß sich eine **auf der Erde ausbreitende Ausbauphase der Stratigraphie** an mitsamt einer immer weiteren Verfeinerung in den zuerst stratigraphisch erforschten Ländern Europas.

Parallelisierung vor allem im Vergleich zwischen Großbritannien und West- und Mittel - Europa

Zuerst gab es stärkere Angleichungen zwischen den Schichtfolgen auf den britischen Inseln und Mitteleuropa, auch mit Frankreich. Die britischen Forscher konnten Parallelisierungen zuerst in den benachbarten Gebieten bis hinein nach Deutschland untersuchen. A. SEDGWICK und R. I. MURCHISON(1842) reisten durch das **westliche Deutschland und über Hessen bis zum Harz**, um hier die altpaläozoischen Schichten und namentlich das Devon mit den parallen Bildungen in England zu vergleichen. Im Harz teilten sie erstmals dortige Gesteine anderswo, namentlich auch in England aufgestellten geologischen "Formationen" zu. So ordneten sie zum Silur des Quarzit des Acker-Bruchberges und die Grauwacke des Rammelsberges, zum Devon den Kalk des Ilberges, zum Kulm die Schiefer der Gegend um Goslar (FLEGEL 1927, S. 170). Das war der zaghafte Anfang einer

bedeutende Geologen noch lange beschäftigenden Harz-Geologie.

BARRANDEs parallelisierte das Altpaläozoikum von **Böhmen**, Großbritannien und Skandinavien. was schon erwähnt worden war.

OPPEL (H. MAYR 1999) gelang sogar die Parallelisierung von **Zonen des Jura** zwischen **England, Frankreich und Südwest-Deutschland** (1856 - 1858).

Einbeziehung von Rußland und Nordeuropa

Rußland mit seinen viel flacher lagernden, weniger intensiv gestörten Schichten war geeignet, die Vorstellungen von der Schichtenabfolge zu überprüfen. MURCHISON (1841, 1845) und der französische Geologe P. EDOUARD. DE VERNEUIL bereisten ab Mai 1840 mit Begleitern Nord-Rußland und von dort bis ins obere Wolgagebiet und 1841 wieder mit DE VERNEUIL und anderer gelehrter Begleitung das Rußland auch östlich der Wolga bis zum Ural und dann bis Omsk, wobei auch die Stadt **Perm** besucht worden war, die Namensgeberin einer ganzen Formation. MURCHISON beschrieb auch von Rußland die ältesten fossilführenden Schichten als Silur. Sie erschienen überlagert von Devon- und Carbon- Ablagerungen, gut faßbar durch ihre Fossilien wie durch ihre parallele Auflagerung. Die dortigen Erfahrungen erfaßten dann auch das von MURCHISON neu ausgeschiedene Perm. Dessen Fossilien veranlaßten MURCHISON, auch dieses noch dem Paläozoikum anzuschließen.

In den Sommern 1843 und 1844 besuchte MURCHISON (R. I. MURCHISON 1846, 1849 - Bericht von 1845) Teile von **Polen, Norwegen, Schweden, Finnland** und zurück über St. Petersburg. Er wollte dieses Mal vor allem klären, ob die großen Massen von kristallinem Gestein in Nordeuropa älter als das Silur waren oder, wie manche Geologen meinten, aus umgewandelten silurischen Gesteinen bestanden. Das letztere ließ sich nicht erweisen. In den Fossilien für das obere Silur fand Übereinstimmung mit dem Artenbestand (Trilobiten, viele Korallen) zwischen denen auf der östlich Schweden vorgelagerten Insel Gotland und im oberen Silur von England und Nord-Amerika. Die Parallelisierung des oberen Silur, später zeitweilig "Gotlandium" genannt, war damit für etliche Regionen erfolg.

In **Rußland** haben namentlich nach der Gründung des Geologischen Komitees 1882 eigene Geologen die verschiedensten Gegenden des Riesenreiches bereist und in die Formationen der Tabelle eingeordnet (N. POLUTOFF 1940), wobei die hier meist gute Parallelisierung schon von den Erfahrungen von MURCHISON her zu erwarten waren. P. N. TSCHERNYSCHWE fand im Devon am Ural alle auch im Harz und in der Eifel vorhandene Schichten (S. 472). S. N. NIKITIN gliederte ab 1881 auch in Rußland Jura und Kreide in Zonen (S. 466). Manche Schwierigkeiten

brachte die Parallelisierung der Jura-Formation zwischen dem westlichen Europa und Rußland, worüber sich MELCHIOR NEUMAYR (1887) und NIKITIN stritten. Es ging dabei um den Wert auch der Häufigkeit von bestimmten fossilen Arten und die Eigenständigkeit von Variationen. Ohne Dislokationen war auch Rußland nicht und A. P. PAVLOV fand 1887 die Shiguli-Verwerfung an der Wolga

Alpen

Festgestellt und kartiert wurden in Alpen **zunächst die Gesteine, unabhängig von ihrer Einordnung** in die Erdgeschichte. Es waren **zunächst die kristallinen Massen** mit ihren verschiedenen Mineralien beachtet worden, etwa von DE SAUSSURE, der wegen ihrer vielen Gesteine gerade die Alpen als die geeignete Regionen für geologische Forschung ansah. War das richtig gegenüber der Ansicht anderer, von einfacheren Verhältnissen auszugehen als der besseren Lösung? Die oft gestörte Schichtenlagerung und oft andersartige Fazies machte es anfangs schwer, in den Alpen die Analogien zu den außeralpinen Formationen, etwa zur deutschen Trias, aufzufinden. Wie sich zeigte, gab es vor allem im Inneren eruptive Tiefengesteine, Gneis und andere, aber an der Nord- und Südseite der Alpen gibt es eindeutige jüngere, besonders auch mesozoische Sedimente, viele Gesteine der Alpen sind also eindeutig in die Erdzeitalter einzufügen.

Noch um 1840 hatten manche Geologen nach der Mitteilung von ARNOLD HEIM (1872/73, S. 8 ff.) geäußert, daß die Alpen ein unentwirrbares Chaos von Trümmern der ältesten Gesteinsmassen sind. Jeder Alpenkalk wurde als "Urkalk" bezeichnet. MURCHISON beschrieb 1849 (1849 a, S. 157 / 158) zurückblickend, daß "some time elapsed before it was thought possible to bring these mountains into anything like a comparison with the sedimentary deposits of other parts of Europe, the determination of which had been established by their normal order and their imbedded organic remains". Schon 1808 hatte BROCHANT, aber gemeint daß die großen 'kristallinen Massen' der Zentralalpen und der savoyischen Alpen nicht von 'primärem' Alter waren, sondern von einer früheren Sedimentation stammten. BUCKLAND parallelisierte 1821 die sogenannten Übergangs- (transition) Gesteine, die BROCHANT angegeben hatte, das heißt Sedimente der nördlichen und südlichen Kalkalpen, mit den britischen Sekundärgesteinen. In den einfacher gebauten Ostalpen konnten die dortigen Sedimente mit den mesozoischen Sedimenten im außeralpinen Europa parallelisiert werden. GÜMBEL lobte sich 1877 (S. 27), "dass es" ihm "vielleicht nicht misslungen ist, genauer und schärfer, als es bis dahin möglich war, die Parallele zwischen alpinen und ausseralpinen gleichzeitigen Bildungen zu ziehen und auf der einen Seite die Analogien, auf der anderen Seite die Differenzen zwischen beiden in Lagerung, Gesteinsbeschaffenheit und organi-

schen Überresten zu ziehen.” Denn (C. W. GÜMBEL 1877, S. 28): ”Was aber die Verhältnisse in den Alpen zu ganz besonders eigenartigen stempelt, das ist die enorme Höhe, bis zu welchen hier die Gesteine im Vergleiche zu der viel tieferen Lage jener von gleichem Alter ausserhalb der Alpen emporragen.” Schließlich wurden auch tertiäre Sedimente gefunden. Als bahnbrechend wurden die Forschungen von LILL von LILIENBACH (GÜMBEL 1883) gesehen, Dieser, Sproß einer Bergmannsfamilie, klärte die Altersfolge und Zeitstellung von Sedimenten in den Salzburger Alpen. Sein früher Tod im Alter von 33 Jahren wurde auf die ”unbemessenen Anstrengungen” von Forschungsreisen zurückgeführt. Daß die Alpen sich augenscheinlich im Tertiär emporhoben, wurde zuerst von BOUÉ festgestellt und von von BUCH und ELIE DE BEAUMONT in zahlreichen Details erhärtet (A. SEDGWICK et al. 1830).

Den Weg **von der rein petrographischen Erforschung der Alpen** zur auch **paläontologischen Alpengeologie** wurde vor allem beschritten von ARNOLD ESCHER VON DER LINTH (A. HEIM 1872-73, S. 363). Er wurde der erste ’große Alpenforscher’. Schon sein Vater, ein Kaufmann, in Zürich, betrieb Alpengeologie und nahm den Sohn auf Touren mit, starb aber 1823 als der 1807 geborene ARNOLD ESCHER 16 Jahre alt war. ARNOLD ESCHER VON DER LINTH studierte an der Akademie in Genf, 1827/1828 in Berlin, 1828/1829 in Halle. Von seinen Reisen wurde wichtig der zweieinhalb Jahre dauernde Aufenthalt mit FRIEDRICH HOFFMANN mit dem Schwerpunkt der Erforschung von Sizilien und der Erstellung einer geognostischen Karte der Insel. 1834 wurde ESCHER VON DER LINTH Lehrer der Geologie und Mineralogie an der neu gegründeten Hochschule von Zürich und 1856 Professor der Geologie am Eidgenössischen Polytechnikum. Die Sommer gehörten den Alpentouren. Vorlesungen wurden im Winter gehalten. Auf Grund von Fossilfunden konnte er die Zugehörigkeit verschiedenster Bildungen zum Mesozoikum erkennen, alpine Jura-Schichten mit denen des Jura-Gebirges parallelisieren, die Kreide in 4 - 5 Stufen gliedern, Ablagerungen des Eozän feststellen. Von ihm stammen zahlreiche Termini nach Lokalitäten (M. BROCKMANN-JEROSCH et al. 1951). Er erkannte auch das ganze Ausmaß an Faltungen, auch an Zerquetschungen, Zerknetungen, Zerreißen, fand deformierte und gestreckte Fossilien und Gerölle.

F. v. RICHTHOFEN unterschied bei den Triaskalken in Südtirol 12 verschiedene Schichten. Zwei dieser Ablagerungen waren dolomitisch, der Mendola-Dolomit und der Schlern-Dolomit, die er als Riffkalke deutete (WAHNSCHAFTE 1905). Die Triasstratigraphie der Ostalpen wurde dann weiter durch EDMUND von MOJSISOVICS (1869, 1874; R. HOERNES 1908, E. TIETZE 1907) in jahrelangen Studien festgestellt, wobei gerade ihm auch die Fazies in diesem Raum auffielen, welche die Parallelisierung erschwerten. Bis zu einem gewissen Grade ’endgültig’ geklärt

wurde die Parallelisierung der Alpenschichten durch ALEXANDER BITTNER, der nach geologischen Forschungen in Italien und Griechenland 1877 als Praktikant in die k. k. geologische Reichsanstalt in Wien eintrat und es hier 1897 zum Chefgeologen brachte (W. QUENSTEDT 1955, E. ZIMMERMANN 1902).

Etwa NEUMAYR (V. UHLIG 1891) dehnte die Parallelisierungen nach Griechenland aus, das auch zu dem alpinen Teil Europas gehört.

Außereuropäische Gebiete - auch hier Parallelisierungen durchgeführt

Große Parallelen im Fossilgehalt der altpaläozoischen Schichten wurde noch vor der Mitte des 19. Jahrhunderts **zwischen Europa und Nord-Amerika** festgestellt (R. I. MURCHISON 1849), hier also Parallelisierung geschaffen. Für die altpaläozoischen Formationen suchte die Parallisierung HENRY DARWIN ROGERS (1857), vorgetragen auf der Versammlung der British Association for the Advancement of Science in Cheltenham 1856. Der aus Philadelphia stammende ROGERS (G. P. M. 1963) lehrte zunächst Chemie in Baltimore, war Professor für Chemie und natural philosophy in Carlisle/Pennsylvanien. Eine Besuchsreise nach London 1832 brachte ROGERS zur Geologie. 1855 wurde er nach einer Rückkehr in die USA und der Erforschung der Geologie von Pennsylvanien zum Regius Professor für Natural History in Glasgow berufen. Nach einem kurzen Aufenthalt in den USA 1865 ging er zurück nach Glasgow, wo er, 1808 geboren, am 29. Mai 1866 58-jährig starb. Mit eigenen Namen für die altpaläozoischen Abteilungen wurde die Parallelisierung nicht unbedingt erleichtert, aber es gab eben auch Verschiebungen in den Parallelen. Die altpaläozoischen Schichten waren nach ROGERS' Feststellung fossilärmer als Altpaläozoikum in Europa (1857, S. 182). Eine Diskordanz erwies ROGERS in Silur, die ein älteres und ein jüngeres Silur trennte. Keinen Bruch gab es vom jüngeren Silur zum Devon (S. 186).

NEUMAYR untersuchte unter Auswertung auch der Feststellungen anderer die **Verbreitung der fossilreichen Juraformation** und der Unter-Kreide **auf der ganzen Erde** festzustellen, (s. a. V. UHLIG 1891), ging also an erdweite Geologie. Die Verwandtschaft der in verschiedenen Regionen gefundenen Ammonitenformen wiesen auf unterschiedliche Beziehungen nach anderswohin, auch nach Mitteleuropa. In Syrien, wie oben erwähnt, kannte man zuerst nur an einem Ort Jura-Fossilien, die mit schwäbischen Formen übereinstimmten. Mehr alpin erschienen ihren Ammoniten nach die Jura-Sedimente auf der Krim, im Kaukasus, in Dagestan, in Armenien, in Algerien. Große Verbreitung erwiesen Ablagerungen der Jura und des Neokom der Kreide in den Anden Süd-Amerikas. Die etwa von

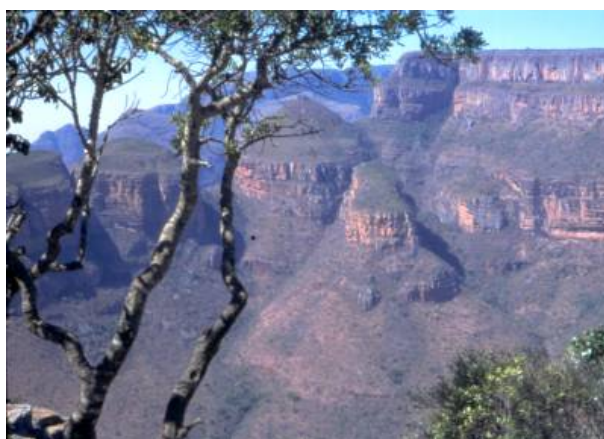


Abbildung 147: S-Afrika Blyde River Canyon.

GOTTSCHE und STEINMANN untersuchte Ammonitenfauna ist von mehr mitteleuropäischem Typus (nach M. NEUMAYR 1883). In Nord-Amerika fanden sich Ablagerungen des Jura und der unteren Kreide im Westen und in den Polarregionen. Aus Kalifornien kannte man, wie M. NEUMAYR mitteilte, 1883 erst zwei Ammoniten.

Die **außereuropäische Trias** von Spitzbergen, Sibirien, Japan, Indien, Sizilien, den Balearen beziehungsweise deren Cephalopoden bearbeitete v. MOJSISIVICS (R. HOERNES 1908).

Gab es auch in vielen Regionen der Erde wohl ungefähr den gleichen Ablauf in der Fossilgeschichte und konnten so die fossilführenden Schichten in die großen Formationen und die großen Abteilungen angenähert eingegliedert werden, so mußte doch etwa in **Südafrika** (A. L. DU TOIT 1954) teilweise eine andere Formations-Einteilung getroffen werden. Die **”Karoo”-Formation** Südafrika reichte vom Carbon der anderer Erdregionen bis einschließlich die Trias. Die kohleführende **”Karoo”-Formation** Südafrikas konnte aber teilweise dem europäischen Perm parallelisiert werden, aber eben doch auch wieder nicht völlig, wurde aber unter Beachtung der eben anderen Grenzen in die erdweite Formationstabelle eingefügt. Die Schichten bis zur Trias wurden von gewaltigen Effuvismassen im Jura überlagert.

Bleibende geologische Bezeichnungen spezieller Territorien

Für die Geologie wurden manche durch bestimmte Schichten oder Gesteine ausgezeichneten Regionen mit spezifischen Namen belegt. Da BARRANDE das zentrale



Abbildung 148: Juralava über Trias. Lesotho.



Abbildung 149: Südafrika bei Sabie. 2002.

böhmische Becken, ausgezeichnet durch sein Altpaläozoikum, eingehend erforschte, erhielt es für Geologen die Bezeichnung "**Barrandian**" (Barrandium) (B. HANSEN 1970). Die vom Paläozoikum und der varistischen Gebirgsbildung geprägten Gebiete von Thüringen und Sachsen nannte KOSSMAT "**Saxothuringikum**". Skandinavien und Finnland, eine alte Festlandsmasse, heißen "**Fennoskandia**".

Die einstmals weitere als die gegenwärtige zusammenhängende Ausdehnung von Formationen - Das Problem der Paläogeographie

Die heutigen Grenzen der Ablagerungen von Sedimenten aus den verschiedenen Perioden müssen nicht jene Grenzen sein, bis zu denen ehemals Sedimente einer Formation, beispielsweise der Jura- oder der Kreideformation, abgelagert wurden. Bis dorthin, wo sich heute etwa Meeressedimente irgendeiner Formation finden, hatte sich mit Sicherheit einmal das Meer einer Formation ausgebreitet. Es kann jedoch **einstmals weit darüber hinaus gereicht haben**, aber die Sediment-Zeugnisse wurden vollständig abgetragen.

An manchen Stellen **auf den Höhen von Mittelgebirgen** aus viel älteren Gesteinen, etwa altpaläozoischen, fanden sich Kleinvorkommen **jüngerer Sedimentgesteine**, etwa aus dem Mesozoikum - Sedimente, welche sich erst in teilweise Hunderte von Metern tieferer Lage finden. Das sprach dann dafür, daß sich einst weitgehend einheitliche Sedimente in gleicher tiefer Lage ablagerten und dann Teile auf einem Mittelgebirgshorst emporgehoben wurden, aber sich dort infolge Abtragung nicht halten konnten - bis vielleicht auf Reste. Solche Reste von Sedimenten fern ihrer weiten Verbreitung fanden schon in der Erdgeschichtsforschung Beachtung! An solchen Resten ließ sich klären: War auch das Gebiet etwa des heutigen Thüringer Waldes vom Buntsandstein oder dem Muschelkalk-Meer bedeckt gewesen? Bis wohin reichten die Jura-Meere? Solche Reste von einem Sediment in einem Abtragungsgebiet waren manchmal nicht leicht aufzufinden, sind oft verdeckt, von Vegetation oder gar von Bauten. Hohe Anerkennung, wenn ein Geologe sie dennoch fand. Die Kleinvorkommen von Sedimenten einer Formation fern ihren größeren Verbreitungsgebiet gab der Erdgeschichtsforschung wichtige Anregungen und ihre Auffindung wurde deshalb entsprechend gewürdigt.

Um die Problematik der weiteren Ausdehnung von bestimmten Ablagerungen, Problem der die einstigen Land- und Meer-Grenzen rekonstruierenden **Paläogeographie**, wußte schon J. L. HEIM. BERNHARD COTTA schrieb 1854 (S. 118): "Diese frühere periodische Vertheilung von Wasser und Land läßt sich zum Theil noch jetzt erkennen aus der Vertheilung der einzelnen Flötzformationen; doch ist diese Erkennung oft sehr schwierig, weil die ursprünglichen Grenzen der Ablagerungen

einzelner Perioden häufig bedeckt oder wieder zerstört sind.“ Für später hatte vor allem MELCHIOR NEUMAYR großen Anteil daran, auf die ”große Bedeutung der Denudation hingewiesen zu haben, welche uns von den Ablagerungen früherer Perioden immer nur Fragmente übrig läßt“ (F. FRECH 1905, S. 134). Eine einzige kleine Tiefseeablagerung, die also nicht in einem Meerbusen abgelagert sein kann, spricht für eine allgemeine Meeresbedeckung über größerer Entfernung, da Tiefsee selten unmittelbar neben einem Kontinent besteht.

Kleine Reste anderswo verbreiteter Formationen fern den heutigen Vorkommen

Fern den Hauptvorkommen vorhandene Reste von bestimmten Formationen liegen etwa **auf gehobenem Terrain**, etwa dem Thüringer Wald, oder wurden geschützt durch **Absenkung in 'Gräben'** inmitten von älterem Gestein.

Schon in der erwachenden Erdgeschichtsforschung erregten Aufsehen **Jura-Fossilien** in Kalk- und Mergelschichten an der Grenze des auf den Kreidesandstein aufgeschobenen Granits der ”Lausitzer Überschiebung”, namentlich bei **Hohnstein**, in einem kleinen Aufschluß, was aber auch zu einer kleinen ”Hohnsteiner Kalkgrube südöstlich der Stadt” (A. VON GUTBIER 1858, S. 50) führte. Solche Jura-Fossilien fanden sich auch in der Fortsetzung der ”Lausitzer Überschiebung” nach Böhmen (O. LENZ 1870). Im Juni 1826 hatte der sächsische Geologe GUTBIER (s. a. 1858, S. 45) Hohnstein besucht und dort größere Ammoniten und auch spezifische Terebrateln (1858, S. 49) gefunden, ohne jedoch zunächst ”geognostische Schlüsse” daraus zu ziehen. L. VON BUCH, der die Aufschlüsse bei Hohnstein im Mai 1834 in Augenschein nahm, ordnete die Fossilien in die oberen Schichten des mittleren Jura/Dogger ein. Sie bewiesen, daß das Jurameer einst bis weit nach Sachsen gereicht hatte, mindestens bis hierher, wo sich ansonsten keine Jura-Sedimente mehr finden, also eventuell große Juramassen abgetragen sein müssen, außer eben den wenigen Resten als ”dichter, grauer Kalkstein” (A. VON GUTBIER 1858, S. 48), ”jetzt den einzigen Zeugen ..., daß zur Periode der Jurabildung auch in diesen Gegenden ein Meer wogte, ...” (S. 51). Die nächsten Jura-Vorkommen sind von diesen Fundpunkten, bei Hohnstein und in Böhmen, weit entfernt, nämlich in Süddeutschland, Nordwest-Deutschland und in Polen nördlich von Krakau, Wie GUTBIER (1858, S. 49) vermutete, gab es ”eine Ueberschiebung des festen Granites schräg aus der Tiefe ..., wobei der Kalkstein” des Jura ”selbst mit hervorgetrieben wurde, ...”

Aber **Reste von Buntsandstein** an einigen wenigen Punkten auf der **Höhe des Thüringer Waldes** oder im Thüringer Schiefergebirge bei **Steinheid**, Alsbach und Scheibe (M. VOLK 1951) oder gar **Reste von Muschelkalk** fern dessen übrigen Thüringer Vorkommen in Ost-Thüringen nördlich von Greiz verwiesen



Abbildung 150: Buntsandst., Steinheid.

darauf, daß einst die Thüringer Gebirge wenigstens nicht in der heutigen Höhe und Gestalt bestanden haben und sich in der Region des späteren Thüringer Waldes lange vorher Buntsandstein oder Muschelkalk ablagerte. Diese und möglicherweise weitere ganz verschwundene Sedimentschichten wurden nach dem Emporheben bis eben auf wenige noch bestehende Reste abgetragen.

Die **Trias-Sedimente im östlichen Thüringer Wald** hatte schon VOIGT 1787 bekanntgemacht und sie waren von J. L. HEIM, VON HOFF und GOETHE beachtet worden. ERNST ZIMMERMANN (G. BERG 19) fand dann die meisten von den Resten jüngerer Formationen auf den gehobenen Flächen des Thüringer Waldes, so 1888 Zechstein auf dessen Kamm. Bei Eisenach konnte durch VON FRITSCH auch **Lias** auf dem Thüringer Wald nachgewiesen werden (O. LUECKE 1906). ZIMMERMANN fand Lias/Unterer Jura bei Arnstadt und. weit entfernt von anderen Vorkommen, am Großen Seeberg bei Gotha. Ein aufgelassenes kleines Kalkwerk und Rotbuchen kennzeichnen heute einen Muschelkalk-Flecken unweit Greiz, am Ida-Waldhaus, auf gefalteten Kulmschichten, mit Meeresmuscheln wie *Gervillia socialis* SCHLOTHEIM, *Myophoria vulgaris* BRONN, *Lima lineata* SCHLOTHEIM (F. KOSSMAT 1925, S. 80). Das ist wohl das vom Thüringer Becken auf dem östlichen paläozoischen Rand am weitesten entfernte Trias-Vorkommen.

Blieben auf dem Thüringer Schiefergebirge und dem Thüringer Wald einige Reste von mitgehobenem und auf dem gehobenem Gebirge meist abgetragenen Gestein erhalten, so wurden anderenorts **jüngere Gesteine/Sedimente in ältere eingesenkt**, in 'Gräben', blieben dadurch erhalten und zeugten dann auch von nun abgetragenen, einst die Oberfläche wohl ebenso weithin bedeckenden Sedimenten. Einige kleine grabenartige Vorkommen von durch Fossilien bestimmte **Krei-**

de/Cenoman-Sedimente im Triasgebiet von **Nordwestthüringen**, im **Ohmgebirge**, beschrieb 1852 BORNEMANN und 1868 eingehender KARL VON SEEBACH. In das alte Französische Zentralplateau sind größere Gräben mit Carbon und Trias eingesenkt (E. SUESS 1908, 1, S. 521).

Für die einstige vollständige Bedeckung des Gebietes des späteren Thüringer Waldes mit Buntsandstein- und Muschelkalk-Sedimenten spricht auch, daß sich im Norden und Süden des heutigen Gebirges die gleichen Sedimente, in gleicher Ausbildung der auch im Muschelkalk wechselnden Schichten, befinden. Zwischen dem Raum nördlich des heutigen Thüringer Waldes und dem heutigen Süd-Thüringen bestand also keine Barriere, jedenfalls keine starke.

KURT PIETZSCH (A. WURM 1962) gilt als der Geologe, der auch in Sachsen etliche Gesteine, etwa Grauwacken, **ins Präkambrium** einordnete, ins jüngere Algonkikum Grauwacken mit geröllführenden Horizonten.

In der Nähe von Sternberg in Mecklenburg fanden sich Gerölle beziehungsweise Gesteinsbrocken mit Fossilien des **Oberoligozän**. Wegen ihres wirren Aussehen mit den vielen Fossileinsprengeln bezeichnete man dieses Gestein auch als '**Sternberger Kuchen**'. Nicht finden ließ sich das Anstehende dieses Oberoligozän. Da es nur in einem sehr begrenzten Gebiet um die Stadt Sternberg gefunden wurde, konnte man annehmen, daß die oberoligozänen Gesteinsbrocken nicht wie die erratischen Blöcke von weither herantransportiert wurden, aber vielleicht durch die Eisbedeckung, die 'Diluvial-Katastrophe', das anstehende Gestein zerstört und weggewaschen wurde (F. E. KOCH et al. 1868). Nur die einzelnen Brocken zeugten von einem einstigen Oligozän-Vorkommen.

Besonders beeindruckend ist auch, daß sich im Vorlande der Schwäbischen Alb einzelstehende Berge, oft mit Burgen, befinden, die aus den Gesteinen der Alb bestehen. Diese "**Zeugenberge**" zeugen also von der einst weiter reichenden Ablagerung der die Alb bildenden Sedimente. Der die **Trauf der Schwäbischen Alb** nach Nordwesten bildete Weißjura/Malm reichte gemäß Befunden etwa von BRANCO (BRANCA) 1894/1895 im Tertiär viel weiter nach Nordwesten, offensichtlich mindestens bis in die Gegend von Stuttgart. Nördlich des heutigen Steilabsturzes der gegenwärtigen schwäbischen Alb untersuchte BRANCO bei vulkanischen Explosionen entstandene röhrenförmige, mit vulkanischer Asche und mit zahllosen Stücken der durchbrochenen Gesteinsschichten entstandene Vulkanröhren. Die neben den Vulkanröhren befindlichen Gesteine wurden längst abgetragen. Es wurde in den Röhren also Gestein bewahrt, das sich nicht mehr an den Orten der Vulkanröhren, über ihnen, befindet, aber "Eine jede der von den vulkanischen Massen durchbrochenen Formationen hat uns gewissermassen ein Erinnerungszeichen, ein Andenken in dem Vulkanschlunde hinterlassen und zwar in Gestalt von ihr an-

gehörigen Gesteinsbruchstücken” (W. BRANCO 1894, S. 561). Es fanden sich in den vulkanischen Schloten Stücke von Weißjura-Kalk, der eben in der Gegenwart erst viel weiter südöstlich an der Trauf der Schwäbischen Alb ansteht. BRANCO (BRANCA) leitete ab, daß seit der mitteloligocänen Periode der Nordrand der Alb mindestens um etwa 23 Kilometer nach Süden bzw. Südosten zurückgewichen ist, also ein recht breiter Streifen von Kalk zwar in vielen Jahrmlionen, aber doch einer überschaubaren Zeit abgetragen wurde.

Auch **Schwarzwald und Vogesen** trugen nach den damals durchgeführten Untersuchungen einst eine jüngere Trias- und Jura- Decke, und mitten in dem gegenwärtig von Trias bedeckten Gebiete zwischen Schwarzwald und Odenwald hatten O. FRAAS und DEFFNER Reste von Jura- Gestein nachgewiesen. Nach H. RECK (1912 / 1913) lagerte Weißjura (Malm) bis ins Obermiocän bis in den Schwarzwald.

In manchen Regionen sind ältere Sedimente durch so starke jüngere Ablagerungen bedeckt, daß sie wenigstens bis zur Anlage von Tiefbohrungen nicht oder nur von wenigen Stellen bekannt waren. **Unter den norddeutschen Eiszeitablagerungen** befinden sich durchaus auch Sedimente aus dem **Mesozoikum**. WILHELM DEECKE (S. VOMN BUBNOFF 1935) erfaßte das für nicht tief liegende Ablagerungen ab etwa 1886 für Pommern.

Die Palaeogeographie selbst änderte noch manches Mal ihren Aufgabenbereich und sollte nach Meinung etwa von BAILEY WILLIS (1910, S. 244) nicht nur die Anordnung von Land und Meer untersuchen, sondern auch die Topographie der Landmassen, die Ozeanströme, die Klimaverteilung.

Was besagt das Fehlen von Formationen in zahlreichen Gebieten?

Dort wo **jüngere Formationen auf älteren**, teilweise viel älteren, liegen, erhob sich die Frage nach dem Schicksal dieser Region in der nicht durch Ablagerungen dokumentierten Zeit dazwischen. Es gibt immer die Möglichkeit, daß die fehlenden Formationen gar nicht zur Ablagerung gelangten oder daß sie zwischen der älteren Formation und der jüngeren abgetragen wurden. So liegt nördlich des Harzes Kreide teilweise auf Paläozoikum, ebenso in Sachsen etwa nördlich von Meissen Buntsandstein auf Granit oder im Elbtalschiefergebirge Kreide auf alten Schieferen. Ist der obere Teil der darunterliegenden alten Gesteine geändert, etwa gerötet, deutet das auf eine Landoberfläche, auf denen die jüngeren Ablagerungen sich absetzten, da kaum anzunehmen ist, daß die eventuell einmal darüberliegenden Schichten dann ausgerechnet bis zu der alten Landoberfläche restlos wieder verschwanden.

Eine längere, ja lange Unterbrechung von Ablagerung von der Zeit der alten Landoberfläche und der jüngeren, daraufliegenden Schichten liegt dann nahe.

Neuere Entwicklungen 21. Jahrhundert.

stoßen vieles von den älteren Ordnungen und Bezeichnungen **um**. So werden in der Periodisierung der Erdgeschichte (s. S. L. LEWIS et al. 2015) unterschieden **Era - Period - Epoch - Stage**. Die '**Cenozoic Era**' ist unterteilt in die '**Neogene Period**', also die ehemals Tertiär genannte Formation, und die '**Quaternary Period**' - letztere also das Eiszeit-Alter inklusiv der Nacheiszeit. Die '**Neogene Period**' besteht aus den Epochen '**Miocene Epoch**' und die nur das einstige oberste Tertiär umfassende '**Pliocene Epoch**'. Abgrenzt wurde auch eine unsere Nacheiszeit, also die Zeit nach dem letzten Eisrückzug eigene '**Epoch**', das '**Holocene**' und ein ganz junges, nur kurzes Zeit umfassendes und vom Menschen geprägtes '**Anthropocene**'. Gegenüber Zeiträumen von Jahrmillionen gibt es dann eine nur Jahrhunderte umfassende dem einstigen Tertiär als gleichwertig gegenüberstehende '**Epoch**' des '**Anthropocene**', die aber gewaltig viel auf der Erdoberfläche umstieß.

7. Forschungsinstitutionen, Kommunikation, Feldforschung, Allgemeinbildung

Geologie an Hochschulen und Universitäten

Geologen wirkten, wenn sie nicht Amateure waren, auch an Hochschulen zuerst etwa in Deutschland und Frankreich. In **Freiberg** in Sachsen war 1765 die älteste Bergbauhochschule der Welt, die **Bergakademie**, gegründet worden. Gelehrt wurde Geologie in **Großbritannien** ab 1804 in Edinburgh, ab 1813 in Oxford, ab 1818 in Cambridge (E. HAARMANN 1942). In **Frankreich** befand sich die **École des Mines** um 1813 in Peisey in Tarentaise (Savoyen) und wurde 1816 nach Paris verlegt (J. G. BURKE 1971).

An den **deutschen Universitäten**, die hier besonders berücksichtigt werden sollen, erfolgte im 19. Jahrhundert vielfach eine Aufteilung der bisherigen mineralogisch-geologischen Lehrstühle in zunächst meistens **2 Lehrstühle**, einem für die **Geologie und Paläontologie nebst Stratigraphie** und einen für die **Mineralogie sowie Petrographie**. Das geschah in Preußen zuerst in Berlin und dann in Göttingen. In Österreich wurde 1876 in Graz die geologische 'Lehrkanzel' aufgeteilt in eine für Mineralogie und eine für Geologie mit Paläontologie (E. SPENGLER 1912).

Als 1885 nach dem Tode des Mineralogieprofessors E. E. SCHMIDT sein Lehrstuhl in **Jena** neu besetzt werden sollte, stand auch hier das Verhältnis von allgemeiner

Geologie und Mineralogie zur Diskussion, wobei der Zoologe ERNST HAECKEL und der Botaniker ERNST STAHL bei nicht möglicher Zweiteilung der Professur wenigstens der "allgemeinen Geologie" den Vorrang geben wollten. Sie begründeten ihre wohl für das allgemeine Verständnis nicht unwesentliche Einstellung in einer Denkschrift (Universitätsarchiv Jena, Bestand M, No. 621, S. 151, 152): "Die allgemeine Geologie - als die Wissenschaft vom Bau und von der Entwicklung des Erdkörpers - ist eine Naturwissenschaft von universalem Interesse, mit deren Grundzügen jeder Studierende der Naturwissenschaft, insbesondere jeder Lehrer derselben vertraut sein sollte, und welche Anziehungskraft auf Gebildete der verschiedensten Kreise ausübt. In anderen Ländern (England, Frankreich, Schweiz) ist diese universale Bedeutung der Geologie weit mehr anerkannt und für die allgemeine Bildung verwerthet als in Deutschland, hauptsächlich aus dem Grunde, weil hier mehr an altes Herkommen festgehalten, und die descriptive Mineralogie als das Hauptfach dieses Gebietes angesehen wird.

Nach unserer Ansicht hingegen, die wir auf Urtheile der bedeutendsten geologischen Autoritäten gründen, ist die Mineralogie und Petrographie nicht mehr und nicht minder ein specieller subordinierter Theil der allgemeinen Geologie, als auf der anderen Seite die Palaeontologie und Stratigraphie. Wie die beiden letzteren nähere Beziehungen zur Zoologie und Botanik besitzen, so die beiden ersteren zu Physik und Chemie." Die gewisse Lösung für Jena brachte dann 1894 eine außerordentliche Stiftungsprofessur für Geologie und Paläontologie. Außer der Sonderlösung Jena waren 1919 noch keine derartig getrennten Lehrstühle in Erlangen und Rostock vorhanden.

Einige wichtige Besetzungen wichtiger geologischer Lehrstühle in den deutschsprachigen Ländern:

Universitäten und Hochschulen:

Berlin: Universität: 26. 7. 1846 ao. Prof., 22. 2. 1865 o. Prof. ERNST BEYRICH - 1878 ao. Prof., 1891 o. Prof. WILHELM BARNIM DAMES - 1899 WILHELM BRANCA(O). - Kgl. Bergakademie.

Bonn: 1906 GUSTAV STEINMANN. - Mineralogie: 1907 - 1934 REINHARD BRAUNS.

Breslau: FERDINAND ROEMER, nach dessen Tod Dezember 1891 Teilung in die Professur für Geologie und die für Mineralogie - 1893 Extraordinarius für Geologie und Paläontologie, 1897 Ordinarius FRITZ FRECH.

Freiberg / Sachsen, **Bergakademie:**

Freiburg i. Br.: 1. 4. 1886 GUSTAV STEINMANN o. Prof. für Mineralogie und Geologie, ab 1895 für Geologie und Paläontologie - 1906 WILHELM DEECKE.

Gießen: Professur für Mineralogie und Geologie: 1895 R. BRAUNS - 1904 ERICH KAISER.

Göttingen: 1863 K. A. L. von SEEBACH - 1881 ADOLF VON KOENEN - 1913 HANS STILLE.

Greifswald: Mineralogisch-geologisches Institut E. COHEN, 1905 WILHELM DEECKE. - Lehrstuhl Paläontologie 1906 OTTO JAEKEL

Halle: Professor der Mineralogie GIRARD - 1873 Extraordinarius, 1876 Ordinarius für Geologie KARL Freiherr VON FRITSCH - 1906 JOHANNES WALTHER - 1. 4. 1929 JOHANNES WEIGELT - GALLWITZ.

Heidelberg: WILHELM SALOMON - (CALVI)

Hohenheim b. Stuttgart, **Landwirtschaftliche Hochschule:** 1895 W. BRANCA -

Jena: E. E. SCHMIDT - 1886 ERNST KALKOWSKY ao. Professor, 8. 1. 1888 Ordinarius für Mineralogie und Geologie - 1894 GOTTLOB LINCK. - Wegen der Dominanz der Mineralogie in Jena erfolgte 1894 die Gründung einer außerordentlichen Professur für Geologie und Paläontologie, mit Namen "Haeckel - Professur für Geologie und Paläontologie", zuerst besetzt mit JOHANNES WALTHER - PHILIPPI - 1910 OTTO WILCKENS - September 1913 WILFRIED VON SEIDLITZ, 5. März 1930 persönlicher Ordinarius - 1934 EMIL LUDWIG PAUL RÜGER.

Karlsruhe, Technische Hochschule: Professur für Mineralogie und Geologie 1894 REINHARD BRAUNS.

Kiel: 1904 REINHARD BRAUNS - 1910 als a.o. Professor EWALD WÜST, 1920 persönlicher Ordinarius, 1925 o. Professor.

Königsberg: Lehrstuhl für Geologie und Paläontologie, auch Mineralogie 1887 W. BRANCA - 1891 ERNST KOKEN.

Leipzig: 1912 HANS STILLE -

Marburg: Professur für Mineralogie und Geognosie 1854 WILHELM DUNKER - 1885 EMANUEL KAYSER -

München: o. Professur für allgemeine und angewandte Geologie: 1. 10. 1920 ERICH KAISER

Tübingen: Lehrstuhl für Mineralogie, Geologie und Paläontologie: 1837 ao. Prof., 1842 o. Prof. FRIEDRICH QUENSTEDT - 1890 W. BRANCA - 1895 ERNST KOKEN

Wien: Lehrkanzel für Geologie: EDUARD SUESS - 1901 CARL DIENER. - Neuerrichtete Lehrkanzel für Paläontologie: 1873 ao. öff. Prof., 1879 o. Prof. MELCHIOR NEUMAYR - 1890 WILHELM WAAGEN - 1900 VICTOR UHLIG - 1903 CARL DIENER. 1928 Vereinigung Paläontologisches Institut und Paläobiologisches Institut unter OTHENIO ABEL (1928), der seit 1915 das Paläobiologische Institut leitete.

Geologische Vereinigungen

Viele Geologen waren Amateure, wirkten als reiche Privateurs oder neben ihrem Beruf. In Großbritannien waren die meisten Gelehrten auch im 19. Jh. Privatleute. Die Kommunikation unter den Geologen geschah zunehmend in geologischen Vereinigungen. Sie gehören in verschiedenen europäischen Staaten mit zu den ersten naturwissenschaftlichen Fachgesellschaften überhaupt. Es war die Zeit, als die Geologie gesehen wurde als "queen of the sciences" (C. TICKELL 1999). Als erste geologische Gesellschaft wurde **1807** die berühmte und führende **Geological Society of London** gegründet. Ihr Vorläufer war eine 1799 gestiftete 'Mineralogical Society'. Sir J. BANKS, damals Präsident der Royal Society, versuchte vergeblich eine gegenüber der Royal Society eigenständige Geological Society zu verhindern, und diese, mit 13 Gründungsmitgliedern, unter der Präsidentschaft von GREE-NOUGH, wurde zuerst eine von Vornehmen und Reichen gebildete Gesellschaft, welche neben reinem Fossiliensammeln die Theorie bevorzugte, und den Praktiker W. SMITH lange Zeit nicht zuließ (S. WINCHESTER 2001, S. 220 ff.). Im Jahre 1842 hatte die Londoner Geological Society über 800 eingeschriebene Mitglieder, um das Jahr 200 werden 9000 angegeben (S. WINCHESTER 2001, S. 222). Die Versammlungen fanden im Winterhalbjahr statt, alle 14 Tage im Somerset-House. Wie der Chemiker CHR. F. SCHOENBEIN 1842 berichtete (S. 359 ff.), rühmte man "ihren Verhandlungen und Diskussionen nach, daß dieselben belebter, geistreicher und witziger seien, als diejenigen irgend eines andern wissenschaftlichen Londoner Vereines". Der erste Sekretär, Kurator, Herausgeber und Bibliothekar der Geological Society of London war TH. WEBSTER. Die **Société Géologique de France** wurde unter AMI BOUÉ, C. PRÉVOST und DESNOYERS im Jahre 1830 gegründet. In den **USA** wurde **1840** die 'American Association of Geologists' ins Leben gerufen (M. L. ALDRICH 1972, S. 437). In **Berlin** hatten im Sommer des ereignisreichen Revolutionsjahres **1848** 13 mit Geologie verbundene Männer einen Aufruf zur Gründung einer deutschen geologischen Gesellschaft versandt,

unterzeichnet von Graf von BEUST, ERNST BEYRICH, LEOPOLD von BUCH, dem Bergsachverständigen RUDOLF VON CARNALL, EHRENBURG, EWALD, GIRARD, ALEXANDER von HUMBOLDT, KARSTEN, MITSCHERLICH, J. MÜLLER, GUSTAV ROSE, CHRISTIAN SAMUEL WEISS. In den nächsten Monaten wurden von BEYRICH, EWALD, GIRARD und VON CARNALL die "Grundlagen für das Statut" einer deutschen geologischen Gesellschaft erarbeitet. Am 29. Dezember 1848 fand im Königlichen Gewerbeinstitut in der Klosterstraße 36 in Berlin die konstituierende Sitzung der "**Deutschen Geologischen Gesellschaft**" statt (K. ANDRÉE 1948). Ihren Beitritt hatten 104 Geologen erklärt, neben Vertretern aus allen deutschen Ländern 7 aus Österreich, 2 aus Rußland, 1 aus der Schweiz. Die erste wissenschaftliche Sitzung der Deutschen Geologischen Gesellschaft fand am 4. Januar 1849 statt, eingeleitet mit einem Vortrag von BEYRICH. Der erste Vorsitzende der Deutschen Geologischen Gesellschaft war L. VON BUCH. Die Jahresversammlungen wurden zuerst im Zusammenhang mit den Jahrestagungen der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte durchgeführt. Aber schon um auch kleinere, jedoch für die Geologen interessante Orte für Tagungen zu nutzen, wurden mit der 17. allgemeinen Versammlung in Hildesheim 1868 eigenständige Jahresversammlungen der Deutschen Geologischen Gesellschaft aufgenommen. Mit der Gründung der Preußischen Geologischen Landesanstalt 1873 wurden in Berlin Monatsversammlungen durchgeführt, aber auch die Dominanz von Berlin von Geologen namentlich in Süddeutschland kritisiert. Im Jahre 1871 trat in Bad Rothenfels im Mürztal ein eigener **Oberrheinischer Geologischer Verein** ins Leben. Ein kleiner Mittelrheinischer Geologischer Verein ging nach 20-jähriger Tätigkeit 1882 in der Großherzoglichen Hessischen Landesanstalt auf. Ein eigener **Niedersächsischer Geologischer Verein** entstand 1908 in Hannover. Am 8. Januar 1910 wurde in Frankfurt am Main auf Anregung von GUSTAV STEINMANN und unter dem Vorsitz von EMANUEL KAYSER die 'Geologische Vereinigung' gegründet (K. ANDRÉE 1948). Eine eigene **Paläontologische Gesellschaft** wurde in Deutschland am 12. August 1912 gegründet. Ihr gehörten zuerst 145 Mitglieder an. Im Jahre 1928 führte die Deutsche Geologische Gesellschaft in Eisenach die erste ihrer Spezialtagungen zur angewandten Geologie durch, wobei damals die Kalilagerstätten das Thema waren.

In **Schweden** wurde eine geologische Gesellschaft auf Initiative von OTTO TORRELL 1871 gegründet und am 6. Dezember dieses Jahres fand die erste Sitzung statt (F. WAHNSCHAFTE 1901).

Auch die **geographischen Gesellschaften** haben mit zur Förderung der Geologie beigetragen, wobei nur die Gründung der geographischen Gesellschaften 1821 in Paris, 1828 in Berlin, 1830 in London genannt seien.

Die geologische Kartierung

Daß viele Territorien geologisch, 'geognostisch', bekannt wurden, war ein Ergebnis der systematischen **Kartierung**, vor allem der **an der Oberfläche befindlichen Gesteine**, mit Blick von ihnen in die Tiefe, zunächst des nahe darunter Liegendem. Diese Kartierung erfolgte vor allem auch zur Erschließung von Bodenschätzen. Aber es kam auch das rein wissenschaftliche Ergebnis einer Kenntnis der geologischen Verhältnisse in den untersuchten Ländern. Mit der Erstellung geologischer Karten wurde ein enormes neues Tatsachenwissen erschlossen, fern dem in vielem nur auf Paris begrenzten Wissen des großen CUVIER. **Nur auf der Grundlage der geologischen Kartierung**, der geologischen Karten, konnten **viele Dinge geklärt** werden. Nur wenn die Verbreitung der Formationen/Systeme an der Erdoberfläche kartiert war, vielleicht ein übergangsloses Nebeneinanderliegen von ihnen deutlich war, konnte auf Verschiebungen in der Höhenlage, auf Verwerfungen, geschlossen werden. Nur wenn bekannt war, wo, in welcher Verbreitung Löß im nördlichen Mitteleuropa auftrat, konnte mehr über seine Herkunft erfahren werden. Und die Eiszeitforschung in Europa war abhängig von der Kenntnis der Geologie sowohl in Skandinavien und dem Baltikum wie im norddeutschen Raum und in erdweiter Betrachtung auch von der geologischen Forschung in Sibirien und Nordamerika, ja auch der Südhalbkugel.

Die Nutzung geologischer Kenntnisse bei der Erschließung der Bodenschätze war zuerst unterschiedlich und gerade in England zunächst nicht groß (R. PORTER 1973). In **Sachsen** hatte 1788 die Landesökonomie-Manufaktur-und Kommerzien-Deputation die Untersuchung des Landes auf Steinkohle veranlaßt (O. WAGENBRETH 1979). Daraus entwickelte sich unter WERNER eine umfassende geologische Landesuntersuchung Sachsens. Im Jahre 1830 wurde sie von KARL AMANDUS KÜHN, einem Schüler WERNERs, abgeschlossen. Bereits 1832 aber wurde die geologische Untersuchung fortgesetzt, wobei C. F. NAUMANN Mittel- und Nord-Sachsen kartierte, und der etwa 10 Jahre jüngere B. COTTA die Lausitz übernahm (O. WAGENBRETH 1987). Natürlich kam dann die Erschließung von Bodenschätzen nicht zu kurz und gerade in sich industrialisierenden Sachsen wurde wegen der Ressourcen geologisch so viel geforscht. Das bisher nur in 'bäuerlich-handwerklicher Weise' genutzte Zwickauer Revier erfuhr 1840 - 1850 einen kapitalistischen Aufschwung (O. WAGENBRETH 1985). Die Steinkohle bei Oelsnitz im westlichen Erzgebirgsvorland wurde erst 1831 entdeckt. GEINITZ und NAUMANN wirkten als Gutachter für entstehende Kapitalgesellschaften im Steinkohlenbergbau.

Eine beispielgebende **geologische Karte** von **England** schuf der reiche GREENOUGH (J. G. BURKE 1971), der aber den sehr genauen W. SMITH als Konkur-

renten auszubooten suchte (S. WINCHESTER 2001, S. 220 ff.) . Nach ihrem Vorbild wurde eine solche geologische Karte für **Frankreich** im Maßstab 1 : 500000 ab 1825 erstellt unter der Leitung von BROCHANT DE VILLIERS und unter maßgeblicher Mitarbeit der 1822 für zwei Jahre zum Lernen bei GREENOUGH nach England entsandten ÉLIE DE BEAUMONT und OURS - PIERRE - ARMAND DUFRÉNOY. Durch die Erkundungen von DUFRÉNOY kam es zur Begründung der auf Kohle beruhenden Industrie von Decazeville. Eine geologische Karte von **Schottland** lieferte 1840 MACCULLOCH. Eine erste geologische Karte von **Rußland** lieferte 1841 der Livländer GREGOR VON HELMERSEN (P. SIEGFRIED 1940, S. 489). Für **Schweden** lieferte eine geologische Karte noch ohne fertige Beschreibung JOKOB HENRIK FORSELLES (Internet).

Geologische Untersuchungen in den verschiedenen Ländern, Surveys, Landesanstalten, im Deutschen Reich ländertrennt

Ab der Mitte des 19. Jh. wurde die geologische Erkundung nicht mehr von einzelnen Professuren von Hochschulen aus durchgeführt, sondern in etlichen Ländern wurden dafür spezifische Institutionen gegründet. In Großbritannien wurde 1835 ein offizieller **Geological Survey** of Great Britain geschaffen, auf Initiative von HENRY THOMAS DE LA BECHE (V. A. EYLES 1971), der auch der erste Direktor dieser Einrichtung wurde und somit die erste staatlich besoldete Geologenstelle in England besetzte.

Im Jahre 1855 folgte ihm MURCHISON auf diesem Posten, 1871 ANDREW C. RAMSAY, 1881 ARCHIBALD GEIKIE. In Edinburgh gab es eigene **schottische Abteilung**. A. GEIKIE (1924, S. 46) erinnerte sich, wie man die Feldforscher interessiert fragte, wie sie es denn anstellen, zu wissen, was sich unter einer untersuchten Oberfläche befindet, ob sie graben oder bohren. Um beides kommt die geologische Erkundung nicht herum, aber eben auch aus Lesesteinen, aus Einschnitten, aus der Kenntnis der Schichtenfolge läßt sich vieles ableiten und auf mögliche Bodenschätze schließen und das geschah auf der Grundlage der geologischen Kartierung durch die Geological Surveys. Ein eigener Geological Survey wurde auch in **Irland** gegründet, dem etwa J. B. JUKES vorstand.

In Frankreich gab es ein **Conseil des Mines**.

In Wien entstand 1849 die **k. k. geologische Reichsanstalt** unter dem Mineralogen WILHELM Ritter von HAUER (1795 - 1871) (J. WEVERS 1972). Als Direktoren folgten F. von HAUER und dann der Slowake D. STUR.

Unter den deutschen Staaten begann das **Königreich Bayern 1851** mit der 'geo-

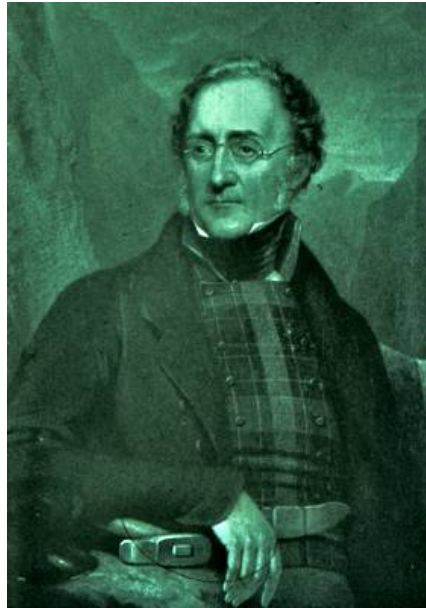


Abbildung 151: DE LA BECHE.



Abbildung 152: STUR. Univ.bibl. Halle.

gnostischen Landesuntersuchung', wenn auch keine der k. k. geologischen Reichsanstalt in Wien gleichartige Institution gegründet wurde, sondern die geologische Erkundung wahrgenommen wurde in der 'Centralstelle für Montanwesen' der 'kg. General-Bergwerk- und Salinen-Administration' (C. W. GÜMBEL 1877, S. 18). Einer der 'leitenden Geognosten' wurde CARL WILHELM GÜMBEL (R. DAHM 1957) und 1856 bis zu seinem Tode 1879 mit der alleinigen Führung der Untersuchung betraut. Geboren am 11. Februar 1823 in Dannenfels in der Pfalz verbrachte der später **führende Geologe Bayerns** seine Kindheit im Dannenfelser Försterhaus, besuchte das Gymnasium in Zweibrücken und wurde hier vom Botaniker K. F. SCHIMPER für die 'Geognosie' begeistert. Nach dem Studium in München und Heidelberg bestand er in München 1848 das Staatsexamen im Bergfach mit Auszeichnung und war bis 1851 als Berg- und Salinenpraktikant und Markscheider tätig.

Eine geologische Neuaufnahme im **Königreich Sachsen** beantragten am 17. März 1870 die führenden sächsischen Geologen NAUMANN, GEINITZ, B. COTTA (O. WAGENBRETH 1979 b). Im Jahre **1872** wurde für die 'geologische Landesuntersuchung' des Königreiches Sachsen die **Kgl. Sächsische Geologische Landesanstalt** gegründet, mit dem damals 31-jährigen HERMANN CREDNER als erstem Direktor (F. ETZOLD 1914, E. KRENKEL 19, F. RINNE 1913). CREDNER war der Sohn des am Oberbergamt Halle tätigen HEINRICH CREDNER, der unter anderem für die geognostische Karte des Thüringer Waldes zuständig war und seinen Sohn auf geologische Wanderungen mitnahm. HERMANN CREDNER studierte in Clausthal, Breslau und Göttingen Geologie und Paläontologie. Nach der Promotion reiste er nach Nordamerika und besuchte hier die großen Erzvorkommen und Bergbauggebiete in den südlichen Staaten der Atlantikküste und die am Oberen See. Nach der Habilitation in Leipzig bei C. F. NAUMANN 1869 wurde er 1870 außerordentlicher Professor.

Ziel und Ergebnis der geologischen Landesuntersuchung war für die einzelnen Regionen eine **geologische Karte im Meßtischblattformat 1 : 25.000**. Nicht nur punkthaft, sondern auf Fläche sollten die geologischen Verhältnisse, die Gesteine, aufgezeichnet werden. Auf dem geologischen Meßtischblatt wurde aber nicht der oberste, mehr oder weniger dünne Bodenschicht vermerkt, sondern das darunter anstehende Gestein. Anders war das nur bei tiefgründigen Lockermassen wie beim Tertiär und beim Pleistozän. Die geologische Karte war also keine Bodenkarte. Es wurden von den Kartierern möglichst **alle Aufschlüsse** in ihrer Region aufgesucht, ohnehin vorhandene Felsen, die Bodendecke durchbrechende Härtlinge des darunterliegenden Gesteins, Täler und Tälchen mit ihren oft stark verwachsenen Wänden, alle künstlichen Aufschlüsse, also neue und alte aufgelassene und dann oft zugewachsene Steinbrüche, Einschnitte für Eisenbahn und Straßen, Baugruben,



Abbildung 153: CREDNER. Geol. Inst. Leipzig.



Abbildung 154: Alter Johannisfriedhof Leipzig.



Abbildung 155: Grundlage der Meßtischblätter.

Bergbauabteufungen. Bohrungen waren damals nicht häufig. Es wurden auch **Le-sesteine** etwa an Ackerrändern beachtet. Hier mußte aufgepaßt werden, daß diese von darunter anstehendem Gestein stammten und nicht von den Gletschern der Eiszeit stammten, von ihnen zusammengeschoben waren (K. PIETZSCH 1917, S. 180/181). Aus allen so gewonnenen Befunden wurde dann eine flächenhafte Karte erstellt, in vielen Teilen von den Fundorten her interpoliert. Im Elbsandsteingebirge etwa war es recht einfach, das oft an der Oberfläche, auf den Bergen anstehende Gestein, eine Schicht des Elbsandsteins, einzuzeichnen. Anderswo war die Bedeckung der Gesteine stärker. Die verschiedenen Sedimente resp. Gesteine erschienen auf dem geologischen Meßtischblatt **in unterschiedlichen Farben**. Besonders schöne, auch vom Amateur oder für Lehrzwecke gern besuchte Aufschlüsse wurden einzeln vermerkt. Bedacht werden sollte: Es gab einst weder Auto noch Fahrrad, nur ein zunehmend dichteres Kleinbahnnetz und das Mitfahren auf bäuerlichen Pferdefuhrwerken. Oder man ritt, wenn man CREDNER war.

Unter CREDNERs Leitung wurden in 27 Jahren 127 Einzelblätter der geologischen Spezialkarte von Sachsen im Maßstab 1 : 25.000 mit Erläuterungen angefertigt. Eine billigere "Volksausgabe" erschien im Maßstab 1 : 50.000. Zu den Karten gab es umfangreiche **Erläuterungen**. Jeden der für die Kartierung zuständigen Geologen hat CREDNER bei der Feldarbeit öfters besucht und jeden wesentlichen Aufschluß selbst besichtigt. Aus den geologischen Karten wurde dann auf erdgeschichtliche Vorgänge geschlossen. Es wurde interpretiert. Die Feststellung der

richtigen Schichtenfolge, wie sie die geologischen Karten anboten, war die Voraussetzung. Denn: "... keine Tektonik ohne Klärung der Stratigraphie ..." (E. KRAUS 1927, S. 191). Auf der Karte erfaßte scharfe Grenzen zweier Gesteine, gar verschiedenen alt, wiesen auf eine Verwerfung/Dislokation, vielleicht sogar auf eine Überschiebung. Es wären zu unterscheiden 1. die auf der Karte aufgezeichneten **petrographischen Verhältnisse** und 2. die daraus abgeleitete Interpretation, die **geologischen Verhältnisse** (s. etwa K. PIETZSCH 1917, S. 182). Mit dem fortschreitenden Bergbau, mit immer mehr Bohrungen, wurde immer mehr an geologischen Erkenntnissen möglich. Die Großtagebaue in Deutschland nach 1900 und namentlich ab um 1925 gaben großartigen Einblick in Tertiär und Quartär (O. WAGENBRETH 1999).

An der Universität Leipzig wurde CREDNER erst 1895 ordentlicher Professor der historischen Geologie und Paläontologie.

Die wichtige **Preußische Geologische Landesanstalt** in Berlin hat am 1. Januar 1873 Geburtstag (K. ANDRÉE 1948). **Hessen** folgte mit einer eigenen geologischen Landesanstalt 1882. Im Jahre 1888 entstand die Großherzoglich **Badische Geologische Landesanstalt**.

In **Schweden** wurde 1858 in Stockholm die geologische Landesuntersuchung errichtet. Erster Direktor war AXEL ERDMANN, nach dessen Tod am 1. Dezember 1869 OTTO TORELL (F. WAHNSCHAFTE 1901). **Ungarn** erhielt eine eigene geologische Landesanstalt (F. WAHNSCHAFTE 1905).

Die **USA** umfaßten ein immer größeres Gebiet und die in ihm ruhenden Bodenschätze und anderen Ressourcen suchte man zunehmend zu erschließen, in Räumen, die etwa Sachsen um ein Vielfaches übertrafen. In diesem Geiste der Landeserschließung hatte der Präsident THOMAS JEFFERSON 1804 schon die Militärs und dann auch Forscher MERIWETHER LEWIS und WILLIAM CLARK auf eine Expedition nach dem Westen Nordamerikas ausgesandt, wobei sie als erste Erkunder die Rocky Mountains überquerten und dann bis zur Mündung des Columbia-Flusses hinabfuhren. In den USA wurde die mineralogisch-geologische Erkundung zuerst auf der Ebene einzelner Staaten eingerichtet. Im Staate **New York** wurde 1836 ein 'Geological survey' begründet (D. W. FISHER 1972). Der Bedarf an Ressourcen während des Sezessionskrieges, die Goldfunde in Kalifornien und die Pläne zur Verbindung der Atlantikküste mit der Pazifikküste durch Eisenbahnen stärkten den Wunsch nach eingehenderer geologischer Erkundung aller Territorien. Am 3. März 1879 wurde durch einen Act des US-amerikanischen Kongresses der **United States Geological Survey** (USGS) (P. CLOUD 1980) ins Leben gerufen. Der erste Direktor war CLARENCE KING. Im Jahre 1881 wurde Major JOHN WESLEY POWELL als erfahrener Geologe von Präsident JAMES

GARFIELD zum Direktor des United States Geological Survey ernannt. POWELL geriet aber in Konflikt mit Kongreßabgeordneten. Ihm folgte der Paläontologe CHARLES DOOLITTLE WALCOTT (E. L. YOCHELSON 1967).

Der erste Direktor des **Geological Survey of Canada**, damals noch in anderen Grenzen, wurde 1842 bis 1869 W. E. LOGAN (T. H. CLARK 1973), der auch überhaupt der erste bedeutende kanadische Geologe war. 983 Seiten umfaßt seine "Geology of Canada".

Erster Superintendent des **Geological Survey of India** wurde 1850 THOMAS OLDHAM, mit dem eigentliche geologische Durchforschung Indiens begann. Ihm folgte am 1. April 1876 der wie OLDHAM in Irland aufgewachsene erfahrende Indien-Geologe HENRY BENEDICT MEDLICOTT (A. GROUT 2004), 1885 mit dem Titel "director". In **Australien**, in New South Wales, erkundete Bodenschätze zuerst der Geistliche und Einzelgeologe WILLIAM BRAMWHITE CLARKE (Internet, so Wikipedia 2018), der eine auf Wunsch der Regierung gefundene Goldader geheimhielt, und der 1849 Zinn, 1859 Diamanten fand. 1852 war vom britischen Colonial Office ein **Geological survey of Victoria** eingerichtet worden und wurde zuerst von A. R. C. SELWYN (S. ZELLER 2004) geleitet.

In **Rußland** wurde **1882** ein Geologisches Komitee gegründet und zu ihm gehörte eine staatliche geologische Anstalt (S. POLUTOFF 1940). Der erste Direktor war ALEKSANDER PETROVITSCH KARPINSKI, der als der "Schöpfer der russischen Geologie" (S. 458) bezeichnet wird. Es folgte ihm im Geologischen Komitee FEODOSIJ NIKOLAEVITSCH TSCHERNYSCHEW.

Geologische Länderdarstellungen, geologische Führer, besonders Exkursionsführer

Niedergelegtes Ergebnis der geologischen Erkundungen waren Darstellungen der Geologie der Länder und, auch für Amateure gedacht, geologische Führer durch bestimmte Regionen. Für das geologisch 'stiefkindlich' behandelte **Pommern** ließ der von Greifswald nach Freiburg i. Br. berufene DEECKE 1907 noch mit frischen Eindrücken von seinen Erkundungen in Pommern ausgestattet eine 'Geologie von Pommern' erscheinen. Von FRANZ EUGEN GEINITZ, 1878 auf dem ersten eigenständigen Lehrstuhl für Geologie in Rostock, erschien 1922 in 2 Bänden eine '**Geologie von Mecklenburg**' (s. a. K. VON BÜLÖW 1952). Für **Sachsen** erschien 1925 eine 'Übersicht der Geologie von Sachsen' von KOSSMAT, die später PIETZSCH übertraf.

Internationale Geologenkongresse

Mit der Entwicklung der Geologie trafen sich die Geologen nicht nur auf den nationalen Naturforscherkonferenzen, sondern auch auf internationalen Geologentreffen. **Internationale Geologenkongresse** fanden statt: 1. 1878 Paris, 2. 1881 Bologna, 3. 1885 Berlin unter der Präsidentschaft von VON DECHEN, 4. 1888 London, 5. 1891 Washington, 6. 1894 Zürich, 7. 1897 St. Petersburg, 8. 1900 Paris, 9. 1903 Wien, 10. 1906 Mexico, 11. 1910 Stockholm, 12. 1913 Ottawa/Toronto, Nach dem Ersten Weltkrieg: 13. 1922 Brüssel, 14. 1926 Madrid, 15. 1929 Pretoria (Süd-Afrika), 16. 1933 Washington, 17. 1937 Moskau (P. RANGE 1940) Die internationalen Geologenkongresse waren mit teilweise weitausgedehnten Exkursionen verbunden und die Teilnehmer konnten unter sachkundiger Führung neue Eindrücke gewinnen, die bei den Hochschullehrern den Studierenden in der Vorlesung vielfältig zugute kamen.

Von der geologischen Feldforschung

Geologische Feldarbeit war daran geknüpft, daß wenigstens in einem gewissen Maß der Blick in den Untergrund, unter die Pflanzen tragende Bodendecke möglich war. Am besten war das Vorhandensein von natürlichen und künstlichen **Aufschlüssen**, das heißt von freigelegten Flußufern und Meeresküsten und menschlichen Einschnitten in die Erdkruste. Steinbrüche, Kanalbauten, Eisenbahneinschnitte, Baugruben schufen immer wieder neue Möglichkeiten, Blicke etwas in die Felsrinde der Erdkruste zu werfen. Wie vieles sieht der geologisch Interessierte schon dann, wenn er etwa in einem fremden Lande einen Blick hinaus aus den Eisenbahnfenstern auf die Wände von Eisenbahneinschnitten wirft. Manchmal steht man vor einem Aufschluß, etwa einer hohen Kalkwand, zunächst auch ratlos (G. WAGNER 1913, S. 6).

Jedoch wuchsen aufgelassene Steinbrüche auch wieder zu, oft begrüßt als 'Heilung' zerstörter Landschaften. Mit der Tendenz zur Nutzung möglichst großer Lagerstätten gingen viele der kleinen Aufschlüsse verloren, denn es hörte auf das "Fast hinter jedem Dorf baute man so Kies und Sand, Ziegellehm und Werksteine ab und brannte auch den Kalk kleiner und kleinster Vorkommen" (O. WAGENBRETH 1971, S. 402). Andererseits wurden wichtige Gebiete geologischer Forschung überbaut. Der auch an Geologie interessierte Mediziner K. E. HAASE schrieb aus der Rückschau (1902, S. 83) über das Paris von etwa 1833: "Zu jener Zeit war die Umgebung der Stadt noch nicht durch Befestigungen, Eisenbahnanlagen und unzählige Neubauten bedeckt, selbst am Montmartre war der Boden noch fast überall dem Geognosten zugänglich". Aber konnte man Städtewachstum

behindern? Immer wieder gab es auch neue Aufschlüsse, solche, die ohne Technik, ohne Rohstoffausbeutung niemals zustandegekommen wären. So gab es manchen Einblick in das Erdinnere beim Bau der Schweizer Alpentunnel. FRIEDRICH GAGEL von der Preußischen Geologischen Landesanstalt verfolgte die Ausschachtung des etwa 100 Kilometer langen Nordsee-Ostsee-Kanal in Schleswig-Holstein, des früheren Kaiser-Wilhelm-Kanals (W. HEIMBACH 1964), der einen Schnitt durch die gesamte 'Cimbrische Halbinsel' legte. Wenn aufgegebene geologische Aufschlüsse zu schützenswertem '**Geotop**' erklärt werden, dann ist das sehr zu begrüßen und sollten diesen oft sowieso nicht störenden Aufschlüssen die notwendige Beachtung zuteil werden.

Nur wenige Geologen waren so reich wie die Engländer GEORGE BELLAS GREENOUGH und BUCKLAND, die eine der Geologie gewidmete Tour in Schlesien mit einem von 4 Pferden bespannten Reisewagen, der, wie das alles der sie beherbergende und begleitende K. VON RAUMER (M. SCHWARZBACH 1957) überliefert, 1.800 Taler gekostet habe. In dem Wagen konnte man sitzen, liegen, schlafen, schreiben und an der Hinterseite war ein das Kutschendach überragender Hochsitz für 3 Personen angebracht, von wo aus die Landschaft überblickt werden konnte, Das war also wie moderne Safari.

Viele Geologen wanderten zu Fuß. VON RAUMER lobte die Fußreisen, die so viel mehr erbrächten als eleganteres Reisen. Geologie wurde auch eine beliebte Domäne von **Amateur- und Heimatforschern**, die hauptberuflich etwa als Lehrer, Geistliche oder als Offiziere tätig waren. ARCHIBALD GEIKIE bemerkte (1937, S. 627): "Kein Zweig der Naturerkenntnis liegt dem Liebhaber der freien Natur einladender offen, wenn er seine Fähigkeit zu Beobachtungen im Felde üben und seinen Geist durch geduldigen Vergleich von Tatsachen und furchtlose Zerlegung von Theorien schulen will". Erdgeschichte wurde wie die 'Welt'geschichte der Menschheit gern auch allgemeinverständlich beschrieben. Saurier fanden schon kurz nach ihrer Entdeckung ihren Weg auch in Kinderstuben. Die Rekonstruktion der Saurier und überhaupt der vorzeitlichen Tiere und Pflanzen machte manche Wandlung durch. Manchmal wollte man auf einem einzigen Bilde möglichst viele verschiedene Formen unterbringen und die Tierszenen oder 'Lebensbilder' aus vorzeitlichen Perioden gerieten dann zu 'Menageriebildern' mit einem unwahrscheinlich wirkendem Nebeneinander von unterschiedlichen Formen in einer unmöglichen Besiedlungsdichte. Gerade Geologen, und auch Zoologen und Botaniker, vermittelten Kenntniss auch oft gern an das "Volk". Es fanden auch die um die Mitte des 19. Jh. aufkommenden geologischen Wanderbücher ihre Abnehmer (O. WAGENBRETH 1985).

Der Geologe, und namentlich auch der staatlich angestellte, der für geologische Anstalten kartierte und von dem in angemessener Zeit bestimmte Ergebnisse erwartet

wurden, mußte sich bei seinen Geländegängen mancher Beschwerlichkeit unterwerfen. Vor der Erfindung der Kraftfahrzeuge oder des Fahrrads war der Weg in das zu kartierende Gelände oft mühsam. Nach dem Bau der Eisenbahnen konnte von der nächstgelegenen Bahnstation ausgegangen werden. Manche benutzten das Pferd. Auch die Mitfahrt auf Bauernwagen wurde sicherlich gern einmal in Anspruch genommen.

Etwa DEECKE, in Greifswald, durchwanderte dann auf langen Fußmärschen die Ebenen Vor- oder Hinterpommers (S. VON BUBNOFF 1935). Als besonders unermüdlich präsentierte sich auch der Geologe VON DECHEN. Sein Schüler E. KAYSER (1928, S. CIX) erzählt, daß drei jüngere Geologen unter DECHENs Führung "bei glühendem Sonnenbrande auf einer Wanderung durch ein Dorf des Schiefergebirges kamen und nun gern eine kurze Kaffeerast gemacht hätten. Aber man wagte zunächst gar nicht, bei von DECHEN den Vorschlag dazu zu machen, und als es nun an der Gaststätte vorbeigehen sollte, da faßte doch der Älteste von ihnen - ich glaube es war LOSSEN - sich ein Herz und bat von DECHEN um eine Rastpause. Dieser willigte zwar ein, ging aber selbst nicht mit in das Gasthaus. Und schon nach etwa 10 Minuten klopfte er, der unterdessen eine benachbarte Steinwand untersucht hatte, zum Aufbruche mahnend an die Fensterscheiben." So muß wohl auch der eifrigste Geologe nicht handeln, aber lange Wanderungen können für den Erdgeschichtsforscher sehr nötig werden. Geologe zu sein, forderte wie bei jedem echtem Forscher "den ganzen Menschen". VON DECHEN (F. RÖMER 1889) war wohl oft gedrückter Stimmung, weil er früh Witwer geworden war und auch drei seiner Kinder, zwei in schon fortgeschrittenem Alter, begraben mußte. Der Ostalpen-Geologe OTTO AMPFERER (W. QUENSTEDT 1953) verbrachte in etwa 40 Jahren über 4000 Exkursionstage im Hochgebirge und vollführte namentlich im Dienste der geologischen Forschung in 60 Jahren mehr als 2000 Besteigungen.

Muß der Geisteswissenschaftler sich unermüdlich in alte und neue Schriften vergraben können, der Chemiker zum notfalls tagelangen Ausharren im Laboratorium befähigt sein, so gehört zum Geologen der Gang in die Natur, auch in die Wildnis, auch unter schlechtem Wetter und unter manchmal strapaziösen Bedingungen. GEORG WAGNER, der den Oberen Muschelkalk in Franken weithin untersuchte, gab zu bedenken (1913, S. 4): "Dazu kann bei den großen körperlichen Anstrengungen der Geist nicht immer die volle Frische bewahren, und bei einem Marsch von 40 - 60 km durch so viele steile, tiefe Muschelkalktäler ist auch einmal eine unrichtige Messung, eine ungenaue Angabe oder eine schiefe Auffassung nicht ausgeschlossen." Wiederholt hat WAGNER auch deshalb öfters dieselben Aufschlüsse besucht. Je mehr einer die Schichten in einem begrenzten Gebiet kennt, desto mehr kann er Fehler vermeiden, "die am Anfang der Untersuchungen nicht zu vermei-

den waren.“ Energie hat viele Geologen ausgezeichnet. Aber ebenso bedurfte die Ausbildung des geologischen Weltbildes mancher Spekulation, benötigte Phantasie - und bedeutenden Geologen hat es daran oft nicht gefehlt. Die großen Ideen waren oft das eine, die Meßtischblattkartierung ließ erst vieles begründen und beweisen.

Die Bevölkerung stand namentlich mit steigender allgemeiner Schulbildung den Geologen im Gelände meistens aufgeschlossen gegenüber. GEORG WAGNER (1913, S. 4) berichtete: ”Mit Freude gedenke ich hier der fränkischen Bürger und Bauern, besonders im Tauber- und Maingebiet, die willig und freundlich dem Wandernden die Aufschlüsse auf viele Stunden im Umkreis angaben.“ Jedoch mußte WAGNER auch erfahren: ”Nur in einigen ehemals geistlichen Gebieten bereitete eine mißtrauische Bevölkerung dem suchenden Geologen viel Verdruß und machte Untersuchungen fast unmöglich. Zum Glück waren dies seltene Ausnahmen.“

Als Erlebnis mag dann erscheinen, wenn der Geologe das Werden einer Landschaft immer deutlicher erfassen kann, wie es GEORG WAGNER (1913, S. 4 / 5) schilderte: ”Denn zu den schönsten Stunden gehören doch die, wo nach langem Ringen und Kämpfen mit einem Schlage alles klar wird und sich zu einem schönen, einheitlichen Bilde gestaltet. Und wenn der suchende Geologenjünger an dem Punkte angelangt ist, wo ernicht mehr bloß Steine sieht und nach Versteinerungen jagt, sondern wo er aus seiner Erinnerung Hunderte von Aufschlüssen zum Vergleich heranziehen kann und so das alte wogende Meer mit seiner Lebewelt erblickt und das einstige Festland vor seinem Auge auftauchen sieht, dann sind Kampf und Mühe vergessen. Die Natur hat ihm einen Einblick in ihre Geheimnisse gewährt, und er genießt die edle, reine Freude des Schauens.“

Geologen liebten ihre Wissenschaft wohl oft deshalb, weil sie ihnen ästhetische Freuden gab. Geologen waren wohl oft Menschen, denen Landschaften ein Erlebnis bedeuteten, die in Felsgestalten oder Fossilien auch schöne Formen sahen. Gerade manche Dichter, und unter ihnen ’romantische’, hatten das ’Bergfach’ studiert, THEODOR KÖRNER und NOVALIS. GOETHE schrieb an CHARLOTTE von STEIN über Geologie. CLOOS nannte die Geologie ’Musik der Erde’. Der Geologe WALTHER PENCK hatte in ’Puna de Atacama’, posthum erschienen 1933, ”Bergfahrten und Jagden in der Cordillere von Südamerika” geschildert. OTTO AMPFERER beschrieb Alpenfahrten, ”Bergtage”, weit über die Geologie hinaus. MAX PFANNENSTIEL meinte (1948, S, 45) in seinem Nachruf auf W. SALOMON-CALVI: ”Das Schöne ...unseres Lebens als Geologen liegt im Erkennen der Stein gewordenen Gedanken Gottes. Sind wir doch nach ihm die ersten, die wieder seine Baugedanken lesen.“ Weniger an Gott denkende Menschen sind durchaus ebenso von der Feierlichkeit mancher Naturerscheinungen zu erfassen.



Abbildung 156: Eifel: Gemünder Maar.

Erdgeschichte, Volksbildung und religiöses Leben - Auch Versuche einer Versöhnung zwischen Geologie und Bibel in der ersten Hälfte des 19. Jahrhundert

Wurde die Erdgeschichtsforschung im 19. Jh. auch auf zunehmend exaktere Grundlagen gestellt, so gab es weiterhin Forscher auch mit aner kennenswerten Leistungen, die wenigstens zeitweilig meinten, daß die Erkenntnisse der Geologie in Übereinstimmung mit der Schöpfungsgeschichte von MOSES und mit der Sintflutauffassung stehen (L. PAGE 1969) und zu stehen haben. Biblische Flut und geologische Fluten wurden teilweise versöhnt und manchmal nicht. THOMAS CHALMERS und JOHN SUMNER meinten, daß MOSES eben die letzte der von CUVIER behaupteten Katastrophe beschreibt, was vorangegangene Katastrophen nicht ausschließt. SCHÖNBEIN berichtete 1842 (S. 360), daß die englischen 'Zeloten' die Geological Society of London hassen und diese 'Schwachköpfe' "die verdächtigsten Angaben über die innere Thätigkeit der Gesellschaft ins Publikum" werfen, das heißt sie antibiblischer und damit antireligiöser Tendenzen anklagen. Auch altgriechische Naturphilosophen wie ANAXIMANDER hatten Vorstellungen von der Entstehung der Erde, aber niemand der neueren Menschen mußte sie glauben wie ausgerechnet, wegen der Bibel, dem Moses.

Etliche an Geologie und Paläontologie interessierte Männer haben entgegen dem bloßen 'Zelotengeschrei' mit Hilfe von allgemeinverständlichen Büchern über Geologie im Interesse des religiösen Glaubens zu wirken versucht. Einer von ihnen war der Schotte HUGH MILLER (M. J. S. RUDWICK 19). Er bestand auf der **doppelten Offenbarung**, auf den "two theologies", der "natural" und der "revealed" (1857). Wissenschaft, meinte MILLER, solle von der Jugend studiert wer-

den. Im Jahre 1841 meinte er in dem Büchlein "The Old Red Sandstone", man gewänne im Unterschied zur Beschäftigung mit Wissenschaft nichts, wenn man Chartisten-Versammlungen besucht. Die Chartisten waren die organisierten Arbeitnehmer, die sich in der sozial-politischen Bewegung des Chartismus seit etwa 1832 vereinten und von den Unternehmern mißgünstig gesehen wurden. Die Bibel wäre nach MILLER immer noch wahrer als jedes skeptische Werk. Immer hätte es in der Menschheit Obe - und Unterklassen gegeben. Nur durch Wissen wäre - und zwar mit der Bibel - Aufstieg möglich. Im Jahre 1854 sprach MILLER in Edinburgh in der Exeter Hall vor der Young Men's Christian Association. Die Tage der Schöpfung wären nicht mit den gegenwärtigen Kalendertagen zu vergleichen. Chaotische Zeiten der Erdgeschichte lagen vor der in der Bibel beschriebenen Schöpfung. Problematisch wäre der siebente Tag der Schöpfung, wenn auch er ein langer Tag ist. Das aber wäre eben die Zeit der 'Erlösung' des Menschen. Einmal betonte MILLER auch (1857, S. 71): "I need scarce to say, that the Palaeontologists finds no trace in nature of that golden age of the world, of which the poets delighted to sing, when all creatures lived together in unbroken peace,..." Aber die Fossilgeschichte führe auch zum Menschen hin, und das große Ereignis der Erlösung des Menschen wurde während der Erdgeschichte schon vorbereitet, der Mensch wurde dann zum "fellow-worker" des Schöpfers, zum mächtigen Verbesserer der Schöpfung. Für einen Schriftsteller wie MILLER lag in der Fossilabfolge also eine Sinngebung. Kritisch stand MILLER zur Sintflut und zur Deutung der Lockermassen im nördlichen Europa als Sintflut-Produkte. Der als Geologe durchaus geschätzte MILLER starb 1856 durch eigene Hand, jedenfalls mit einer Pistole neben sich wurde er tot in seinem Baderaum gefunden (A. GEIKIE 1924, S. 59).

In den USA wurde einer der führenden Geologen EDWARD HITCHCOCK (M. L. ALDRICH 1972, PH. J. LAWRENCE 1972) und wirkte ebenfalls für die Versöhnung mit dem christlichen Glauben. Er hatte neben anderem Theologie an der Yale University studiert, wirkte von Juni 1821 bis Oktober 1825 als Pfarrer in Conway/Massachusetts, war dann bis 1845 Professor der Chemie und Naturgeschichte am Amherst College in Massachusetts und wirkte etliche Zeit als Staatsgeologe von Massachusetts und Vermont. Seine immerwährende Kränklichkeit, die Annahme des Todes immer einmal vor Augen, das mochte seine Weltanschauung mit bestimmt haben. Von der Bibel nahm HITCHCOCK an, daß sie nicht lügen würde und es sollten die Strata damit vereinbar sein. Der auch von ihm dann geschätzte LYELL wurde von HITCHCOCK aber zuerst, 1837, auch wegen der Unmöglichkeit einer erdweiten Flut im aktualistischen Weltbild der Verbreitung von Unglauben beschuldigt (PH. J. LAWRENCE 1972, S. 28). Dann stellte HITCHCOCK fest, daß Noah beim genaueren Lesen des Alten Testaments keineswegs eine erdweite Flut angab - und so Geologie und Bibel weiterhin verbunden blieben, was der in

der Geologie durchaus beschlagene HITCHCOCK nie aufgab (PH. J. LAWRENCE 1972, S. 29). Mit dem Werk 'The Religion of Geology' von 1851 hat HITCHCOCK seine Auffassungen noch einmal zusammengestellt.

In Deutschland hat 1852 FRIEDRICH AUGUST QUENSTEDT (S. 14) gemeint, daß zwar angesichts der alle unsere Vorstellungen übersteigenden Zeitmaße der Erdgeschichte jene "kindliche Vorstellung von der Schöpfungsgeschichte" nach MOSES fällt, "aber die Weisheit und Macht des Schöpfers hat dadurch im Auge des denkenden Menschen nicht nur nichts verloren, sondern unendlich gewonnen. Der ganze Schöpfungsplan ist tiefer und unerforschlicher angelegt, als die Weisen des Alterthums vermutheten". In den Organismen liegt eben zugleich auch "ein Keim für fortschreitende Veränderung."

Aus philosophischer und religiöser Sicht wurde namentlich mit der politischen Restaurationen gegen die Französische Revolution viel gegen die Aufklärung geschrieben, jedoch wer sich gegen die mit und neben der Aufklärung entstandene Geologie wandte, hat sich wohl nur lächerlich gemacht, obwohl so etwas bis heute versucht wird.

Selbst im vielerorts katholischen Bayern konnte der Landesgeologe GÜMBEL in einem Vortrag für die Bayerische Akademie der Wissenschaften in München 1877 (S. 3) unter anderem feststellen: "Hat doch die geognostische Wissenschaft längst aufgehört eine bloße Wissenschaft der Gelehrten und für die Gelehrten zu sein; sie ist bereits ein Gemeingut Vieler geworden, welche nach einer eingehenden Kenntniss der uns umgebenden Natur, insbesondere des Bodens, auf dem zu leben wir angewiesen sind, trachten ... Sie ist sogar eine Lieblingswissenschaft in Kreisen geworden, die es sonst mit strengerer Geistesarbeit nicht gerade ernst nehmen."

8. Die Faktoren der Erdkrustengestaltung bis Mitte 19. Jahrhundert

Hatte man die Sedimentgesteine in die richtige Chronologie gebracht, mußte es darum gehen, die zu ihrer Bildung führenden Ereignisse aufzuklären. Die Gesteinsbildung wurde einesteils zu recht auf Physik und vor allem Chemie zurückgeführt. Jedoch haben an Geologie interessierte Chemiker immer wieder ihrer Phantasie zu weiten Lauf vergönnt und Spekulationen vorgetragen, denen Geologen und Paläontologen so nicht folgen konnten.

Der Münchener Mineraloge und Chemiker JOHANN NEPOMUK VON FUCHS (GÜMBEL 19) forderte, daß der Chemiker in Fragen der Gesteinsentstehung und

auch der Gesteinsumbildung das letzte Wort haben müsse. Der Granit war nach der Ansicht dieses Chemikers aus einem amorphen und wässrig flüssigen Zustand der Erde entstanden. Beim Übergang der Gebirgsmassen vom amorphen in den kristallinen Zustand zögen sie sich zusammen und das führe zu Senkungen und Einstürzen. BERZELIUS jedoch wandte sich gegen diese Ansicht, von der GÜMBEL immerhin meinte, daß sie "der Chemie ihr Recht bei Beantwortung genetisch-geologischer Fragen erobert und bleibend gewahrt" habe. Ebenfalls in München wirkte KARL EMIL SCHAFHÄUTL (ROTHPLETZ), der für die englische Stahlindustrie wesentliche Verbesserungen brachte und der Geologie vorwarf (1845, Spalte 563): "Weit entfernt, daß die Geologie diese ihre eigentliche Stellung zu den experimentalen Naturwissenschaften anerkannte, hat sie jugendlich kühn ihr Haupt erhoben, und sich (sie die beschreibende) als Lehrerin der experimentirenden Chemie, der analytischen und synthetischen Wissenschaft abgeboten" und ist seit HUTTON einen falschen Weg gegangen. Erst die Chemie habe schließlich nachgewiesen, daß nicht jeder weiße krümelige Stein Kalk ist, sondern auch der Magnesium enthaltenden Dolomit sein kann. Das wäre richtig und mögen "sich deßhalb manche Geologen im Spiele ihrer Phantasie an Märchen von Eiszeiten und Erdachsen - Verrückungen ergötzen; mag eine solche Geologie von ihren Anhängern als das schönste wissenschaftliche Produkt unseres Jahrhunderts verkündet werden, - die wahre Wissenschaft hat keinen Theil an ihr; ..."

In Frankreich meinte im Anschluß an ähnliche Auffassungen von HUMPHREY DAVY und JOSEPH LOUIS GAY-LUSSAC der Chemiker und Geologe CHARLES GILES BRIDLE DAUBENY (A. THACKRAY 1971) in seinem Buche "Description of Active and Extinct Volcanoes" von 1826, daß Vulkantätigkeit zustandekommt, weil Wasser im Erdinneren mit freien Alkalimetallen und Erdalkalimetallen zusammenkommt. Aber es war nicht bewiesen, daß diese Metalle in dem vom Wasser erreichbaren Teil im Erdinneren und auch darüber hinaus überhaupt vorkommen. Es war also eine Hypothese, die man nicht beweisen und widerlegen konnte.

Eine einst höhere Temperatur wurde auch darauf zurückgeführt, daß beim Übergang der Erdoberfläche vom flüssigen in den festen Zustand sehr viel Wärme'stoff' entbunden wurde (K. v. STERNBERG 1820). Im einzelnen wurde manche Einsicht hinsichtlich der Mineralbildung gewonnen. FRIEDRICH HAUSMANN (W. FISCHER 1969), im braunschweigischen Bergdienst und ab 1811 Professor für Mineralogie und Technologie in Göttingen, fand 1810 und 1834, daß sich in Kupferhochofenschlacken Orthoklas bildet. Das war eine der ersten Beobachtungen über die Bildung von Mineralien in Schmelzflüssen.

Führend in der allerdings auch von etlichen Fehlurteilen bestimmten Anwendung von Physik und Chemie auf die Geologie wurde GUSTAV BISCHOF, Verfasser des dreibändigen Werkes "Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie"

(zweite Auflage 1863). Zu der Frage, ob es eine "chemische und physikalische Geologie" gäbe, könne er nur antworten, daß es nur eine chemische und physikalische Geologie gibt. Die Erde ist ein großes chemisches Laboratorium. Alles auf der Erde hat mit Chemie und Physik zu tun. Er klagte die Geologie der Ignoranz der Chemie an, aber ihm wurden auch zahlreiche Fehltritte vorgeworfen und von H. VOGELSANG (1863, S. 113), daß man noch immer "jene unwissende fanatische Partei" der Geologen suchen müsse, gegen die BISCHOF so polemisierte. Ähnlich warf FRIEDRICH MOHR in seinem Buch "Geschichte der Erde. Ein Lehrbuch der Geologie auf neuer Grundlage" von 1866 und in zweiter Auflage 1875 den Geologen wie auch dem Chemiker MITSCHERLICH vor, auf der Erde Vorgänge anzunehmen, welche die Chemie und Physik nicht kennt. MOHR lehnte aber vom chemischen Standpunkt aus auch die Möglichkeit einer Metamorphose der Gesteine ab. Die sollte es also nicht gegeben haben. Wie waren die Erscheinungen dann zu erklären? MOHR kritisierte auch die angeblich nicht nachahmbaren Experimente von HALL. Der Blick der **Chemiker konnte also nicht immer dem komplexen Geschehen auf und in der Erdkruste gerecht** werden. Hinsichtlich der Lösungen kannten die Chemiker im 19. Jh. fast ausschließlich die Vorgänge in wäßrigen Lösungen. Aber im Erdinneren waren ganz andere Lösungen zu vermuten, auch von jedem im jeden. In der ersten Hälfte des 20. Jh. wird der Standpunkt des Geologen zum physikalisch-chemischen Experiment zur Klärung geologischer Fragen etwa wiedergegeben durch H. HARRASSOWITZ, der 1931 (S. 492) meinte: "Das physikalisch-chemische Experiment wird uns sicher oft einen Hinweis auf das Schicksal einer Lagerstätte liefern können. Es muß aber immer wieder beachtet werden, daß die Druck, Temperatur - und Konzentrations - Bedingungen in und auf der Erdrinde gar nicht reproduzierbar sind. Geringe Beimengungen anderer Stoffe können katalytische Wirkung ausüben und im Laboratorium ist der zeitliche Lauf eines Naturgeschehens überhaupt nicht wiederzugeben."

9. Die Organismenwelt der Vergangenheit, Auffassungen bis etwa 1860

Zusammentragen von fossilen Resten

Gesteinsproben mit fossilen Resten sind oft große und sogar schwere Stücke und der Transport war einst manchen schwierig und der Transport teuer. Privatleute, die in ihrer Umgebung sammelten, kamen zu Sammlungen, an welcher der Paläontologe nicht vorbeigehen konnte. Es entstanden dann Sammlungen, welche oft nur die Fossilien einer, der nächstliegenden Formation enthielten, aber darin

vielfach recht vollständig waren. Der Mitbegründer der Paläobotanik KASPAR VON STERNBERG war Besitzer von Kohlebergwerken im Nordwesten Böhmens, wo er sein Besitztum Brezina hatte in der Kohle Pflanzenabdrücke fand. Er sammelt auf Exkursionen, Aber er besucht auch so viel als möglich Sammlungen, die eben oft privat sind oder die auf Privatinitiative für eine Universität oder öffentliche Sammlung zustrandekamen. Im Jahre 1824 besah er (1868, S. 127) die "ausgezeichnete Petrefaktensammlung" von VON SCHLOTHEIM in Gotha. Vom Jahre 1826 (1868, S. 141) berichtet STERNBERG von der Universitätssammlung mit Fossilien in Halle, mit Abdrücken etwa "aus der Gegend von Wettin und Lebegin, unter Anderem ein Lepidodendron aus dem Todtliegenden ..." Im Jahre 1827 (1868, S. 136/137) weilte STERNBERG auf einer Reise 1827 auch in "Baireuth, wo die Petrefactensammlung des Grafen Münster mich besonders ansprach", eine der "ausgezeichnetsten, welche dermalen bekannt sind. und" die Stücke sind "nach den Formationen in Suiten gereiht, wodurch allerdings die Uebersicht der Gattungen gestört, in geognostischer Hinsicht jedoch der Vortheil erreicht wird, dass man die Versteinerungen einer jeden Formation genauer kennen lernt." Die Formationstabelle war 1827 noch nicht die in den 1830-er-Jahren aufgestellte. Es war aber immer zu entscheiden, wollte man die **verschiedenen Gruppen für sich** kennen lernen **oder** die **Einordnung** der verschiedensten Fossilien **in die erdgeschichtliche Zeittafel**. Für die Erdgeschichtsforschung war die Einordnungen in die 'Formationen' wichtig. In Bamberg war der Direktor der Naturaliensammlung, H. LINDNER, ein ehemaliger Mönch des Klosters Banz, und hatte auf eigene Kosten eine Fossilsammlung aufgestellt, der Lias um Banz (S. 138). Gerade genesen reiste STERNBERG (1868, S. 147/148) 1829 zur Naturforscherversammlung in Heidelberg durch den deutschen Süden und besuchte er nicht nur selbst ihm genannte Aufschlüsse, sondern auch für die damalige Paläontologie nicht umgehbare Privatsammlungen. "Meinen Weg nahm ich dann über Mohnheim", heißt es da, "um Dr. Schnitzler's Sammlung aus den Juraschiefern von Solnhofen zu besehen," die durch "ihre vielen Fucoiden", also Tange, "merkwürdig wurde." In Göppingen wurde ein Doktor besucht, "um dessen merkwürdige Sammlung aus dem Lias bei Boll und dem Jurakalk zu sehen, und" mit Begleiter "machten eine Excursion auf den Staufenberg, wo wir bei dem Pfarrer eine recht artige Localsammlung der Versteinerungen jener Gegend vorfanden." In Stuttgart konnte STERNBERG bei Dr. JÄGER die "Versteinerungen des Keupersandsteins der Umgegend" sehen. In Karlsruhe sah STERNBERG "vorzüglich viele Pflanzenabdrücke aus Oeningen, welche unserer gegenwärtigen Flora angehören." 1833, STERNBERG (S. 161) war 73 Jahre alt, fuhr er im Zusammenhang mit der Naturforscherversammlung in Breslau unter anderem nach Waldenburg in Niederschlesien, wo es Pflanzen aus der Steinkohlen-Formation gab, die "Sammlungen von Pflanzenabdrücken des Bergamtes und jene des Markscheiders Boksche zu besehen. Hier war ich in meinem

Element, und sah mitunter manches Neue , oder bessere Exemplare als ich bisher gekannt; ..." Schritt für Schritt wurden also die Fossilien, für STERNBERG die von Pflanzen den nunmehr unterscheidbaren Formationen zugeordnet, wuchs die Kenntnis vom Wandel der 'vorzeitlichen' Pflanzenwelt..

Was vermitteln fossile Organismen?

Die fossilen Organismen dienten und dienen zum einen als Zeitmarken, als **Indikatoren für die Zeitstellung** einer Schicht. Aber die fossilen Organismen gaben auch **Aufschluß über die Entfaltung des Lebens** auf der Erde, selbst über **Lebensweise und Umweltbedingungen**. Nicht nur die Stratigraphen, die Vertreter der 'historischen Geologie' waren an den Fossilien interessiert. Es waren auch die Biologen verschiedener Fachdisziplinen, welche von Fossilien berechtigterweise Aufschlüsse über biologische Sachverhalte erwarteten (A. DE CANDOLLE 1834/1835). Letzteres sogar zunehmend.

Insofern gab es in der Paläontologie oft 2 Strömungen: 1. jene, welche die Bindung der Fossilforschung an die **Geologie** betonte und in den Fossilien vor allem die Zeitmarken, die Objekte der Stratigraphie sah, 2. die **biologisch** orientierte Fossilkunde (O. H. SCHINDEWOLF 1948).

Der Terminus '**Paläontologie**' an Stelle von **Petrefaktenkunde** kommt um 1821 durch A. BRONGNIART auf. Damals, als die frühen Fragen nach einem eventuellen Aussterben einstiger Organismen, eventueller Umbildung und andere schon recht griffige Antworten gefunden hatten.

Bei Fossilien sollte man sich klar werden, was von ihnen erhalten blieb. Bei Muscheln oder Schnecken etwa ist es oft nur die hart **gewordene Innenausfüllung**, innerhalb der Schale. Bei Ammoniten bilden sich die Innenstrukturen an den als Außengebilde erscheinenden Schalen ab.

Nicht alles, was nach einem Pflanzenfossil aussieht, muß ein solches sein. Es gibt auch anorganische Ausfällungen auf Schichten, welche Pflanzen ähnlich sind, Getreidekörnern fast gleichen. Es sind '**Pseudofossilien**'.



Abbildung 157: Ohne Muschelschale: Neithea?.

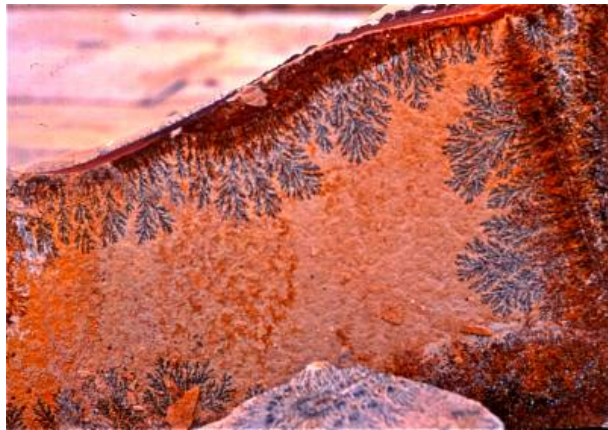


Abbildung 158: Pseudofossilien Malm Solnhofen.

Voraussetzungen (Prämissen) für die sachgerechte Auswertung der Fossilien

Richtige taxonomische Einordnung - Nomenklatur

Wichtig war, die Fossilien taxonomisch richtig einzuordnen, ihre Stellung im System der Tiere und Pflanzen festzustellen. Nur unter dieser Voraussetzung konnten berechnete Aussagen über die Entfaltung der Organismenwelt getroffen werden. Diese richtige Einordnung der Fossilien war in manchen Fällen schwierig, wovon bereits Beispiele gegeben wurden. Graf von STERNBERG berichtete 1820, daß bis in jüngste Zeit schilfartige Pflanzenfossilien als 'Arundo epygejos' beschrieben wurden, wirtelförmige Blätter als 'Equisetum palustre' oder 'Equisetum sylvaticum'. GREENOUGH schrieb (1821) von 'cactus' in den Kohlenbergwerken. Die ältesten Fische erschienen ihm nicht fremdartiger als die neuen. W. HOPKINS brachte 1853 (1854) weitere Beispiele für in späterem Lichte fehlerhafte Fossil-Einordnungen. Im dem Old Red Sandstone Englands, also im Devon, wollten manche nach dem Bericht von W. HOPKINS (1854) eiechsenähnliche Wesen (Lacertians) erkennen. LOGAN in Kanada wollte Reptilien-Fußspuren sogar im Silur entdeckt haben, hat sie aber einige Zeit danach einem Articulaten zugeordnet. L. AGASSIZ bedauerte 1854 (S. 321), daß manche Forscher fossile Muscheln sogar aus dem Carbon fälschlich als die rezente Unio beschrieben wurde und manche Zechstein- und Lias- Fische als 'Esox' (Hecht) und 'Cyprinus' (Karpfen) erschienen.

Auch die taxonomische Einordnung größerer Gruppen wurde im 19. Jh. korrigiert, was auch für die Beurteilung des Erstauftretens der großen Gruppen Bedeutung besitzen konnte. So rechnete LAMARCK die Crinoiden zu den Polypen, standen die Trilobiten teilweise bei den Chitonen, die Bryozoen wurden von den Polypen zu den Mollusken geschoben, die Brachiopoden mußten erst einmal von den Mollusken abgetrennt werden.

Oft war umstritten, wie bei den fossilen Lebewesen **Arten abgegrenzt** werden. Das Kriterium der Paarung, der Fortpflanzung der Individuen einer Art miteinander, konnte nicht herangezogen werden. So waren die Grenzen zwischen Art (Spezies) oder nur intraspezifisches Taxon oft verwaschen. Es gab auch manchen sehr differenzierenden Paläontologen gegenüber den Vorwurf der 'Pulverisierung' der Arten, also der Aufstellung möglichst vieler Arten bei ziemlicher Ähnlichkeit gewisser Fossilien. Das wurde vorgebracht gegen VON KOENEN (POMPECKJ 1915). Für die Stratigraphie mußte wohl entscheidend sein, ob die Formen für die Schichtgliederung klar genug zu unterscheiden waren.

In der Wissenschaft darf man Unterschiede der Bequemlichkeit halber nicht übersehen

wollen. **Was es an Unterschieden an Naturkörpern gibt**, auch winzige Unterschiede, **muß festgestellt werden**. Auch, wenn das für die Leitfossil-Methode vielleicht manchmal nicht so gravierend ist als vielleicht für die Evolutionsbiologie. Daß man alle fossilen Arten und Variationen beschreiben müsse und nur mit möglichst vollständigen Daten sichere Erkenntnisse gewonnen werden können, erschien etwa L. AGASSIZ 1854 notwendig. Klagen über zu viele unterschiedene Spezies fand AGASSIZ (1854, S. 320) ebenso lächerlich, wie wenn die Astronomen über "zu viele Sterne" klagten

Die meisten Fossilien, auch offensichtlich ausgestorbene, ließen sich **zunehmend besser in die bestehenden Gruppen einordnen**, ob Reptilien, Brachiopoden, Crinoiden und andere. Dann war es möglich, für die fossilen Arten die **binäre Nomenklatur** LINNÉs anzuwenden. J. F. BLUMENBACH benutzte für etliche fossile Säugetier-Arten, die ausgestorben sind, aber zu Gattungen mit noch rezenten Arten gehören, den Gattungsnamen der rezenten Arten. So gab es bei ihm also Namen wie *Elephas primigenius*, *Mammot ohioticum*, *Rhinoceros antiquatis*, *Hyaena fossilis*, *Ursus spelaeus* (O. H. SCHINDEWOLF 1948). Namen wie *Elephas*, *Rhinoceros*, *Hyaena*, *Ursus* findet man auch als Gattungsnamen für lebende Arten. E. F. VON SCHLOTHEIM wandte die binäre Nomenklatur in der 'Petrefactenkunde' (1820 - 1823) dann umfassend an.

Nur wenige Formen spotteten zunächst oder gar bis heute einer sicheren Einordnung. So kann man sich nur angenähert eine Vorstellung von den lebenden Graptolithen machen. Mit binären Namen wurden die unterscheidbaren Graptolithen-Formen aber längst ebenso bedacht.

Vollständigkeit oder Unvollständigkeit der Fossilüberlieferung - des 'fossil record'

Sah man die Fossilüberlieferung als einigermaßen vollständig an beziehungsweise konnte der Unterschied zwischen der Gesamtheit der einst vorhandenen Arten gegenüber der Fossilüberlieferung einigermaßen abgeschätzt werden, so konnten sehr viel sicherer Schlußfolgerungen über die Entwicklung der Organismenwelt gezogen werden als bei der Annahme nicht ermittelbarer Lücken. 'Vollständigkeit' meint die weitgehende Erhaltung wenigstens von einigen Individuen der wichtigen Arten, auch wenn Millionen oder Milliarden nicht die geringste Spur hinterließen. Eine Mehrzahl von Paläontologen rechnete zunehmend damit, daß die Fossilüberlieferung etwa die Organismenwelt von einst ohne zu große Lücken wiedergibt.

LYELL und etliche Paläontologen rechneten im 19. Jh. **mit großer Unvoll-**

ständigkeit der Fossilüberlieferung. Vieles war unbekannt. Damit erschienen dann Katastrophen oder auch nur Faunen- und Floren-Sprünge vorgetäuscht, waren nicht als Widerspiegelung realer Vorgänge zu sehen, sondern als Folge zu großer Lücken in der Überlieferung. Zwischen unterschiedlichen Faunen und Floren waren die anzunehmenden Zwischenglieder einfach verschwunden.

Die verschiedenen Fossilgruppen sind gewiß unterschiedlich gut erhalten geblieben. Lebewesen mit Hartteilen, ob nun ausgebildet als Außen- oder Innenskelette, gar als feste Schale, konnten gewiß häufiger Reste hinterlassen als Tiere nur aus Weichteilen. Weil es offensichtlich zunächst nur weiche Tiere gab, sollten nach einer verbreiteten Ansicht in den vorkambrischen Schichten kaum Reste von Lebewesen gefunden werden. Es muß von vornherein angenommen werden, daß **es vom Lebensraum abhängt, wie leicht ein Organismus in irgendeiner Form als Fossil erhalten bleibt**. Lebewesen im Litoralbereich oder in nassen Senkungsräumen des Festlandes wurden sicherlich öfter in fossilen Zustand gebracht als rein festländische Arten. Vögel blieben sicherlich in erster Linie im Lagunenbereich erhalten, wie etliche Urvogel im Solnhofener Schiefer am Rande eines Jura Meeres. Im 20. Jahrhundert hat etwa H. HAMSHAW THOMAS debattiert (1936), daß manche Lebensräume, manche 'Fazies', eher erhalten blieben als andere. Daß die zu erwartenden Frühformen der Angiospermen so spärlich bekannt wurden, sollte daran liegen, daß sie wohl zuerst in den feuchten Ästuaren aufgetreten waren. Auch trockene Standorte lieferten wohl weniger Fossilien. Die als Leitfossilien dienenden Arten mochten also durchaus vor allem in bestimmten Lebensbereichen aufgetreten sein.

Es wurden auch **Experimente** angestellt, um die **unterschiedliche** Möglichkeit der **Fossilierung** verschiedener Gruppen festzustellen (H. R. GÖPPERT 1836). GÖPPERT erhitzte lebende Farnwedel zwischen Tonplatten und erhielt den fossilen Pflanzen ähnliche Produkte. In England ließ LINDLEY Exemplare von 173 Pflanzen-Arten verschiedener Gattungen über 2 Jahre lang in Wasser faulen und fand, daß sich den Steinkohlenpflanzen verwandte Arten am besten erhielten. GÖPPERT (1837) experimentierte auch mit 'versteinernden' Flüssigkeiten. Er untersuchte Eichenstümpfe im Boden von Breslau, wo sich Steinabdrücke von Hohlkörpern der ausgefaulten Stümpfe gebildet hatten (1841).

Langes Liegen mußte nicht gewesen sein. Fossilien konnten manchmal wohl rasch eingebettet werden, bei örtlichen Katastrophen. Graf von STERNBERG beschrieb (1820), daß im Pariser Museum ein fossiler Raubfisch einen halb verschlungenen anderen Fisch im Maule hält. Er wurde also beim Fressen vom Tode erfaßt.

Erfassung zahlreicher weiterer Fossilien

Um möglichst viel von dem Reichtum fossiler Arten zu erschließen, war auch

die Mithilfe von Bergwerks- und Steinbruchsbesitzern, aber auch von Amateuren nötig. Etwa HEINRICH ROBERT GOEPPERT (H. CONWENTZ 1885) in Breslau rief zur Einsendung 'vegetabilischer Petrefakten' auf.

Während die kleineren Fossilien, die Schalen beziehungsweise Schalenausfüllungen der Weichtiere und Brachiopoden, oft als gesamtes Tier erschienen, waren von höheren Tieren oft nur Reste übrig und zudem die erhaltenen Knochen und Zähne der Wirbeltiere oft an einem Fundplatz mehr oder weniger zerstreut. Um aus den Teilen wieder ein einigermaßen vollständiges Tier zusammenzusetzen, mußten Kenntnisse der Anatomie vorhanden sein. Anatomie und Paläontologie verband CUVIER. Er fand auch Regeln, nach denen die Fossilrekonstruktion geschehen mußte. Erschlossen wurden die artenreichen und vor der Entwicklung der Mikropaläontologie besonders wichtigen wirbellosen Gruppen wie die Ammoniten und anderen Weichtiere, die Brachiopoden, die Trilobiten. Gerade zu ihnen gehören jene Leitfossilien, welche nicht nur die Aufstellung der 'Formationen', sondern auch der Abteilungen, ja einzelner ausgezeichneten Schichten und Horizonte ermöglichten.

Mit der wachsenden Fossilkenntnis entstand das Bedürfnis nach einer **Zusammenstellung** aller Sippen, besonders der Arten (O. H. SCHINDEWOLF 1948). In Deutschland begann im Jahre 1826 A. GOLDFUSS unter Mitwirkung von GEORG Graf ZU MÜNSTER mit dem Werke "Petrefacta Germaniae" (1826 bis 1844), das bis zu 3 großen Foliobänden mit über 200 Tafeln gedieh (O. H. SCHINDEWOLF 1948). HEINRICH GEORG BRONN veröffentlichte von 1835 bis 1837 die "Lethaea Geognostica oder Abbildungen und Beschreibungen der für die Gebirgs - Formationen bezeichnendsten Versteinerungen". Der Breslauer Botaniker H. R. GOEPPERT veröffentlichte 1841 die "Genera plantarum fossilium" (W. GOTHAN 1948). Unter Mitarbeit von GOEPPERT und von H. VON MEYER stellte wiederum BRONN den "Index palaeontologicus" (1848 / 1849) zusammen. Er enthielt eine Übersicht der damals bekannten Fossilien sowie Angaben zu ihrer Literatur und Synonymik. Eine Fossilgesamtdarstellung versuchte fernerhin C. G. GIEBEL in seiner nicht vollendeten "Fauna der Vorwelt" (1847 - 1852). Andere zusammenfassende Werke beschränkten sich auf die Fossilien bestimmter Länder, bestimmter Abschnitte der Erdgeschichte oder auch auf einzelne Gruppen fossiler Lebewesen, waren **Monographien**. F. A. QUENSTEDTs "Petrefactenkunde Deutschlands", seit 1846, wuchs auf 7 Bände. In Frankreich verfaßte A. D'ORBIGNY seine unvollendete "Paléontologie française" (1840 - 1855) und seinen "Prodrome de Paléontologie stratigraphique..." (1850 - 1852) (O. H. SCHINDEWOLF 1948). Ein einzelne fossile Gruppe behandelte GOEPPERT 1850 in seiner "Monographie der fossilen Koniferen". Auf eine Fazies einer begrenzten Periode war GOEPPERTs "Bernsteinflora" von 1880 beschränkt. Der zuerst in Würzburg

und dann in Leipzig tätige Botanikordinarius AUGUST SCHENK veröffentlichte 1867 seine "Flora der Grenzsichten des Rhät und Lias in Franken" und 1871 seine "Wealdenflora". Von E. WEISS erschien 1869 - 72 "Die fossile Flora der jüngsten Steinkohlenformation und des Rotliegenden im Saar - Rhein - Gebiet" (W. GOTHAN 1948).

Bedeutende Funde von Tier-Fossilien im 19. Jahrhundert

Zu den Sensationen in der Paläontologie des 19. Jh. gehören die hauptsächlich zu den Reptilien gehörenden **Saurier**. Namentlich durch ihre Größe auffallende Formen erregten Aufsehen. Einzelne Saurier-Funde, oft mißdeutet, wurden schon vor 1800 getätigt. JOHANN JACOB BAIER von der Universität Altdorf bildete 1708 aus dem Lias gefundene Wirbel von Ichthyosauriern ab und hielt sie für die Wirbel größerer Fische. SCHEUCHZER hielt sie trotz ihrer Größe für Menschenwirbel (M. ULRICHS et al. 1994). Aus der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts stammt ein fossiles **Krokodil** von Boll im nördlichen Vorland der Schwäbischen Alb, später von CUVIER als "Gavial de Boll", von GEORG FRIEDRICH JÄGER 1828 als "Crocodilus bollensis" beschrieben (M. ULRICHS et al. 1994). COSIMO COLLINI, ein früherer Sekretär von VOLTAIRE und Direktor des Pfälzischen Naturalienkabinetts in Mannheim, erhielt (P. HARTIG 1859, W. LANGSTON Jr. 1981, F. A. QUENSTEDT 1852) 1784 einen Abdruck eines kleinen Pterosauriers, eines **Flugsauriers**, aus den 'Schiefern' von 'Eichstadt'/Eichstätt. COLLINI sah darin ein amphibisches Säugetier, SÖMMERING, der das Original 1810 in der Münchener Sammlung wiederfand, stellte es in die Nachbarschaft der Fledermäuse zu den Säugetieren. CUVIER erklärte es als "reptile volant" und bezeichnete es einige Jahre später als '*Pterodactylus*'. Bald sind gerade von dieser Gattung weitere Vertreter gefunden worden.

Waren also immer einmal auch größere Knochen von größeren Reptilien gefunden worden und hatten etwa für das Bildhauerwerk des Drachens in Klagenfurt Pate gestanden, so wurden namentlich in den 20er Jahren des 19. Jh. wurde bedeutsame Saurierfunde getätigt und erstand die **Welt der ausgestorbenen** teilweise großen Reptilien, der **Saurier**. Seitdem wurde sie zu einer der auf Realität zurückgehenden Phantasiewelten, die schon die Kinderzimmer belebt und Buchillustrationen für jedes Alter liefert. Und dazu in neueren Zeiten noch die "Saurierparks" mit den Nachbildungen in Lebensgröße hervorbrachte. Leicht wird dabei verkannt, daß es nicht nur Reptilien in Übergröße gab.

Aus zunächst unverbundenen Resten wurde 1821 die Gattung *Plesiosaurus* aufgestellt, von der bis 1824 auch ein ganzes Skelett gefunden wurde und damit die noch bestehenden Zweifel beseitigte (W. D. CONYBEARE 1824).

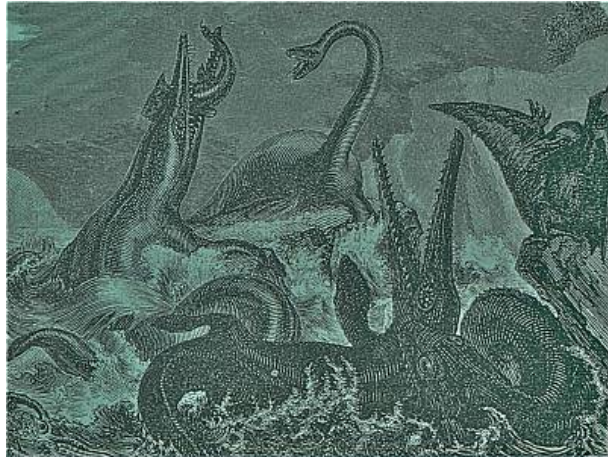


Abbildung 159: Saurier-Phantasie. 1855.



Abbildung 160: London Naturkundemuseum.

An der südenglischen Küste war an den Saurierfunden stark eine zuerst einfache junge Frau beteiligt, MARY ANN ANNING (C. TICKELL 1999), die Tochter eines Kunstmalers. Stückweise, in Gestalt zuerst von den Leguanen (Iguana) ähnlichen Zähnen, war 1825 das *Iguanodon* bekannt geworden, im Tilgate Forest, durch GIDEON MANTELL (1825). ANNING und ihre Bruder JOSEPH (C. TICKELL 1999) gruben den berühmten Ichthyosaurier-Schädel aus, den MARY dann verkaufte. ANNING mußte ihren Lebensunterhalt durch den Verkauf ihrer Funde bestreiten. Von ANNING gefunden wurden die Reste von 4 *Ichthyosaurus*, 2 *Plesiosaurus*, 1 *Pterodactylus*, den fossilen Fisch *Squaloraja*, dazu Ammoniten, Seegurken und andere marine Fossilien. Nannten die einen diese erfolgreiche Frau eine 'handmaid of scientific man', so las DE LA BECHE nach ANNINGS Tod mit 48 Jahren am 3. März 1847 in der Geological Society einen sie würdigenden Nachruf.

1841 faßte Englands großer Vergleichender Anatom RICHARD OWEN diese von allen rezenten Formen verschiedenen Tiere zusammen unter dem Namen **Dinosauria**, übersetzt 'Schreckliche Echsen'/Reptilien' (CH. SCHUCHERT 1938, S. 15).

CHARLES DARWIN grub 1833 auf der "Beagle"-Reise bei einem Landausflug in Argentinien **ausgestorbene große Säugetiere** von Arten aus, die heute nur noch in kleineren Vertretern vorkommen, aber die fossilen großen wie die kleinen von heute nur in Südamerika, so **Riesenfaultiere** wie die der Gattung *Megatherium*.

Diese Großsäugetiere gehörten dem Tertiär an. Aber was waren ihre schon zu den Säugetieren zu rechnenden Vorläufer und wie alt waren diese? Im Jahre 1764 war in England im Mesozoikum ein Kiefer gefunden worden, den CUVIER 1824 zu den Säugetieren stellte. 1871 nannte OWEN die Art, welche den Kiefer geliefert hatte, *Amphilestes broderipii* (CH. SCHUCHERT 1938, S. 50). Mit kleinen, eher verborgen lebenden Formen traten die Säugetiere ins Dämmerlicht, im Mesozoikum, in dem zum Jura gehörenden Purbeck, noch fern ihre Entwicklung nach dem Ende der Kreide-Zeit..

Der führende kanadische Geologe und namentlich auch Paläontologe Sir JOHN WILLIAM DAWSON (S. SHEETS-PYENSON 2004) fand 1861 das Skelett-Fragment vom **damals** ältesten bekannten Reptil oder Frosch-Lurch, dem *Dendrerpeton acadianum*, im Carbon von Nova Scotia in Ost-Kanada, wobei von anderen Resten es OWEN es 1853 benannt hatte (s. Wikipedia). GEORG BAUR, der vor allem in Nordamerika forschte und wirkte und auch die Galapagos-Inseln besuchte, beschrieb 1887 die **damals** älteste bekannte Schildkröte, die '**Urschildkröte**' *Proganochelys quenstedti* BAUR 1887 aus der Obertrias (Norium), vor etwa



Abbildung 161: Riesenfaultier. London.

228 - 208,5 Mill. Jahren. Unterdessen wurden ältere Formen gefunden. Zweifelhaft blieben die von MARSH 1887 als *Eobatrachus* beschriebenen Knöchelchen einer vielleicht Kröte der Jura-Zeit. Ganz neu gefunden, 20. Jh., wurde der 70 Millionen Jahre alte, also der Oberkreide angehörende 40 cm lange und etwa 4 kg schwere **Riesenfrosch** *Beelzebufo hottoni/ampinga*, von Madagaskar, der sogar junge Dinosaurier vezehrt haben kann (Wikipedia).

Die **fossilen Fische** waren eine Zeit lang die **am besten erfaßte und dargestellte** fossile Wirbeltiergruppe, dank den eingehenden Studien von LOUIS AGASSIZ (H. BALMER 1974, E. KUHN-SCHNYDER 1973). Der auch in der Glazialforschung bedeutende AGASSIZ wurde geboren am 28. Mai 1807 als Pfarrerssohn im Dorfe Môtier am Murtensee. "Nur eine Wiese trennt das Haus vom flachen Ufer des Sees mit seinen vielen Fischen" (H. BALMER 1974, S. 2). Wassertiere und namentlich Fische begeisterten AGASSIZ schon in der Kindheit und er hielt sie in einem von frischem Wasser durchströmten Becken im Garten. LOUIS AGASSIZ besuchte 1817 bis 1821 das Collège in Biel, war für die Kaufmannslehre vorgesehen, aber interessierte sich nicht dafür, sondern für die Naturgeschichte. In den Jahren 1822 bis 1824 besuchte er die Akademie in Lausanne, 1824 bis 1826 das medizinisch-chirurgische Institut in Zürich, eine Vorläufereinrichtung der 1833 gegründeten Hochschule. Aber auch die Medizin trat weit hinter seinen naturwissenschaftlichen Interessen zurück, die er etwa bei dem Lehrer SCHINZ befriedigen konnte. Im Jahre 1826 ging er an die Universität Heidelberg, wo ihn der

Anatom FRIEDRICH TIEDEMANN anzog und wo er den späteren bedeutenden Botaniker ALEXANDER BRAUN als Freund gewann. Beim Weiterstudium in München wurde er mit dem Botaniker MARTIUS bekannt, der mit dem bald nach der Rückkehr verstorbenen Zoologen SPIX Brasilien bereist hatte. MARTIUS gab die im Amazonasstrom gesammelten Fische dem jungen AGASSIZ zur Beschreibung und Abbildung. Nachdem das Werk über die Fische des Amazonas 1829 erschienen war, wandte sich AGASSIZ den fossilen Fischen zu, unterstützt von ALEXANDER VON HUMBOLDT. Er konnte durch finanzielle Hilfe den auch in Fischen erfahrenen CUVIER in Paris besuchen. AGASSIZ ordnete die fossilen Fische in die geologischen Schichten ein und fand, daß sich in der Erdgeschichte eine zunehmende Herausbildung zu den neueren Gruppen nachweisen ließ. Er erklärte das nicht mit Evolution. AGASSIZ fand eine begrenzte Anstellung am neuen Gymnasium in Neuchâtel. Aber vor allem hat AGASSIZ in den Jahren 1833 bis 1843 in Lieferungen das auf 5 Quartbände Text und 394 Foliotafeln anwachsende Werk "Recherches sur les poissons fossiles" geschaffen, in dem 1700 Arten berücksichtigt wurden. Begonnen hatte AGASSIZ dieses Werk also im Alter von 26 Jahren. Mit noch nicht 30 Jahren galt er als einer der großartigsten Forscher Europas. Besonderes Interesse fanden bei AGASSIZ die Fische des "Old Red" Sandstein, also im Devon des nordwestlichen Europa. Dann kamen Gruppen von Wirbellosen dazu (s. u.). In den 1830er-Jahren wandte sich AGASSIZ vor allem Gletscherstudien zu (s. dort). ALEXANDER VON HUMBOLDT konnte dem verschuldeten AGASSIZ beim preußischen König Reisegeld nach Amerika verschaffen, AGASSIZ reiste 1846 in die USA und blieb dort, bald als der Zoologe, der an der Harvard-Universität die erste Generation zukünftiger US - amerikanischer Zoologen ausbildete, 1865 für 16 Monate Brasilien bereiste und 1871 / 1872 auf einem Vermessungsdampfer Südamerika umfuhr, dabei das immer großartigere Museum für vergleichende Anatomie an der Harvarduniversität im US-amerikanischen Cambridge gründete. Während seines USA-Aufenthaltes war 1848 seine erste Frau in Europa verstorben. AGASSIZ holte die Kinder nach und heiratete 1850 die tatkräftige ELIZABETH CARY aus Boston, die auch eine Biographie des am 12. Dezember 1873 gestorbenen Gatten LOUIS AGASSIZ verfaßte (E. CARY-AGASSIZ 1886).

Bei den Fischen stellte L. AGASSIZ als besondere Abteilung, von den Knochenfischen durchaus verschiedenen, die **Ganoiden** auf (G. STEINMANN 1928).

Wirbellose

Wichtigste Leitformen für die Stratigraphie, vor allem die Feinstratigraphie, wurden zunehmend und blieben die **Ammoniten**. Was gefunden wird, sind meistens die erstarrten Ausfüllungen im Inneren der Schalen. Und zur Unterscheidung

der vielen Arten dienen die **Lobenlinien**, welche die Trennwände der Wohnkammern markieren. VON BUCH begann die Nomenklatur der Lobenelemente einzuführen. Für die Feinstratigraphie vieler Formationen ist die schon bei OPPEL hervorgehobene Kenntnis der oft nicht so leicht unterscheidbaren Ammoniten unabdingbar.

Der große Meister der fossilen Fische, AGASSIZ, stellte in ebenfalls großen Tafelwerken die fossilen **Echinodermata/Stachelhäuter** und **Muscheln** zusammen, auch mit Hilfe von SCHIMPER (R. LAUTERBORN 1934, S. 80).

Die merkwürdigen, an Schriftzeichen erinnernden **Graptolithen** konnten keiner gegenwärtig vorhandenen Tiergruppe sicher eingeordnet werden und sie wurden den Coelenterata nahegerückt. Ihre verschiedenen Formen waren jedoch vielfach zeitgebunden und konnten so zur Stratigraphie des Paläozoikum, namentlich des Altpaläozoikum, benutzt werden. Ein merkwürdiges, als eine Art helles Netz auf dunklem Schiefer erscheinendes Fossil war die 1857 von JAMES HALL aufgestellte Gattung **Dictyonema**. Ihre von HALL vorgeschlagene Einordnung bei den Graptolithen wurde von W. DAMES (1873) unterstützt.

DAWSON fand zu Anfang der 1850er-Jahre die damals älteste **Landschnecke** *Pupa vetusta*, und den damals ältesten bekannten **Tausendfüßler**, *Xylobius sigillariae*, also gelebt zu Zeiten der Sigillarien, Carbon.

Embryonale Stadien fand BARRANDE bei Trilobiten (B. HANSEN 1970).

Pflanzen-Fossilien - Von der Steinkohlenzeit bis zum Quartär

Mit dem zunehmenden **Steinkohlenabbau** wurden die Gefäßkryptogamen der Steinkohlenzeit weiter bekannt und etwa von GOEPPERT und WEISS untersucht. WEISS befaßte sich besonders mit den **Calamiten** und **Sigillarien** (Siegelbäume) (W. GOTHAN 1948). Die höchstentwickelten Gewächse der Steinkohlenwälder waren die zu den Gymnospermen zu stellenden **Cordaiten**, erforscht von GRAND'EURY und RENAULT, deren Arbeiten hierzu in den 70er Jahren des 19. Jh. erschienen (K. MÄGDEFRAU 1953, S. 145).

Schon um 1833 wurden den Blättern der Platane ähnliche Blattabdrücke in den zur **Kreidezeit** zu stellenden Sandsteinfelsen am Nordrand des Harzes bekannt, **Credneria** genannt (K. MÄGDEFRAU 1953, S. 296). Der namensgebende CREDNER war hier der Gießener Theologie-Professor KARL AUGUST CREDNER, Bruder des in der Geologie zuletzt in Halle tätigen berühmteren Geologen HEINRICH CREDNER, dem Vater von HERMANN CREDNER. Auch der Theologie-Professor war an Fossilien interessiert und hatte solche fossilen Blätter geliefert.



Abbildung 162: Hier fand man *Credneria*.

Blattabdrücke von *Credneria* und anderen Bäumen wurden später in Schichten der unteren Oberkreide, unterhalb der Meeresüberflutung im Cenomen, westlich von Dresden gesammelt, so in den 1880-er-Jahren (K. PIETZSCH 1962, S. 370), und dann vor allem nahe dem Tharandter Wald, bei **Niederschöna** (H.-D. BEEGER et al. 1965, S. 204). Solche Unterkreide-Blätter sind ein Pfahl im Fleische der modernen Theorie von der Kreide-Tertiär-Meteoriten-Katastrophe der zweiten Hälfte des 20. Jh., denn vor der Katastrophe gab es Angiospermen-Bäume und diese haben wenigstens teilweise offensichtlich überlebt. Blütenpflanzen-Bäume sind unterdessen auch in der Oberkreide vielerorts bekannt geworden.

Eine reiche Pflanzenwelt, viele zu den Nadelhölzern und auch den Angiospermen gehörende Bäume, offenbarte das **Tertiär**. Viele Tertiärpflanzen stimmten mit gegenwärtigen Gewächsen überein, sind aber oft weniger weit verbreitet.

Die Steinkohlenflora Schlesiens und auch Tertiärpflanzen untersuchte J. HEINRICH ROBERT GÖPPERT (H. CONWENTZ 1885, E. WUNSCHMANN 1904), der auch als einer der ersten Forscher sich seit 1837 der **tertiären Flora im Bernstein** zuwandte (H. R. GÖPPERT et al. 1883). Der Bernstein ist eingetrocknetes Harz, das aus bestimmten Bäumen offenbar besonders reichlich herausfloß, eventuell infolge einer Katastrophe, etwa eines Schädlingsbefalls. In einer ihm überlassenen Sammlung fand GÖPPERT im Bernstein 44 Pflanzenarten. Unter den im Bernstein eingeschlossenen und wegen der guten Erhaltung bestimmbareren Pflanzen fanden sich bis 1883 auch 20 Pilze beziehungsweise deren Myzelien



Abbildung 163: Alter Steinbruch Niederschöna.



Abbildung 164: Oberkreide Niederschöna.

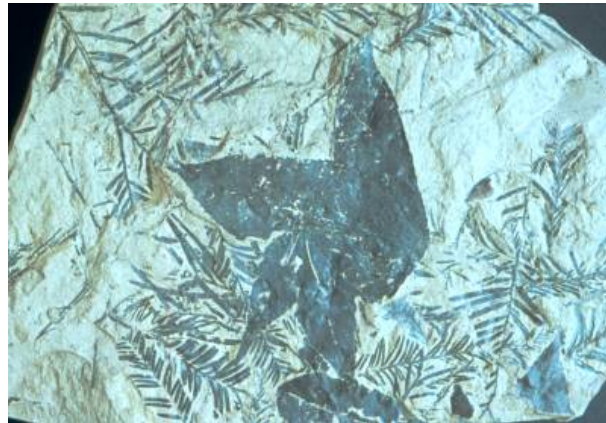


Abbildung 165: Tertiär-Flora.

im Holz, 12 Flechten, dazu Laub - und Lebermoose. Die Tertiärflora Frankreichs erforschte GASTON DE SAPORTA (F. STOCKMANN 1975), der auch die Blattnervatur als wichtiges Bestimmungsmerkmal fossiler Pflanzen verwandte.

Die großartigste Erschließung der Flora des **Tertiär** und auch der **Kreide** und anderer Perioden stammt von dem Schweizer OSWALD HEER (R. LAUTERBORN 1934, S. 136 ff.). Beheimatet im Kanton Glarus und zuerst vor allem Botaniker und dann auch Entomologe, wurde HEER 1834 Privatdozent für Botanik an der 1833 gegründeten Universität Zürich, wurde 1835 ao. Professor für Botanik und Entomologie, 1852 Ordinarius. Manche Wanderung führte ihn hinauf in die Berge. Zuerst erschien, in Großformat, HEERs 'Flora tertiaria Helvetica', dann die 'Flora fossilis Helvetica', in 4 Bänden und 237 Tafeln.

Zu den für die Erdgeschichtsforschung aufregendsten paläobotanischen Funden gehörte eine dem **Oberdevon** angehörende und also der Carbonflora vorangehende **Landflora**, die auf einem der abgelegenen Territorien der Erde, auf der **Bäreninsel**, in besonders zahlreichen Formen bekannt wurde.

Auf der 1596 entdeckten Bäreninsel hatten 1609 englische Walfänger Kohlenflöze entdeckt und hier sammelten **1868** NORDENSKIÖLD und A. J. MALMGREN zahlreiche Pflanzenreste aus dem **Oberdevon** (K. MÄGDEFRAU 1953, S. 101). Die stratigraphische Einordnung in das Ober-Devon wurde bestätigt durch von anderswo her bekannte tierische Fossilien. Die Bäreninsel liegt bei einer Breite von 74° und 30° N, damit etwas südlicher als die Hauptinseln von Spitzbergen. Interessant war diese relativ frühe Landflora als solche, aber aufregend war vor allem, daß eine solche Flora **so weit in der Arktis** bestanden hatte, hier, wo heute, nach periodenlanger Evolution, gerade 54 Gefäßpflanzen dem Boden angedrückt gedeihen und Bäume völlig fehlen (Wikipedia 2016). Höhere Pflanzen fossil in den Arktis,

später auch anderswo, so auf Ellesmereland, das wurde die Herausforderung für die **Fragen** nach **Klimawandel und Kontinentenverschiebung**. War gar mit einer lange **von Eiskappen freien Erde** auszugehen? Die Pflanzenfossilien wurden HEER übermittelt. HEER, welche die fossilen Pflanzenfunde von der Bäreninsel bearbeitete, schaffte mit 7 Bänden und 398 Tafeln von 1868 - 1883 die '**Flora fossilis arctica**'. Der Botaniker ADOLF ENGLER (zit. bei R. LATUERBORN 1934, S. 137) nannte sie die bis dahin bedeutendste pflanzenpaläontologische Publikation. Wie es nach den Untersuchungen schien, haben sich **vom Norden her die Gewächse** nach jenen Regionen **ausgebreitet**, die dann Nordamerika und Eurasien waren, denn ihre spätere Pflanzenwelt ist die des einstigen Nordens. Der recht gottgläubige HEER hat angesichts der Umbildungen in Gruppen von Bäumen wenigstens eine begrenzte Evolution anerkannt.

Mikropaläontologie

Daß sich auch mikroskopisch kleine, einzellige Lebewesen erhielten, und daß gerade diese ganze Felsmassen aufbauen und kleine Fossilien wegen ihrer Häufigkeit als Leitfossilien besonders wichtig sein können, erkannten zuerst CHRISTIAN GOTTFRIED EHRENBERG, auch D' ORBIGNY und der etwa das Tertiär nach Mikrofossilien gliedernde Österreicher AUGUST EMANUEL REUSS (K. STAESCHE 1948). Die auf den Kleinfossilien aufbauende Mikropaläontologie unterscheidet sich von der 'Makropaläontologie' durch die Dimension der Objekte. EHRENBERG sprach seinerzeit von 'Mikrogeologie' (M. PFANNENSTIEL 1970). Aus mikroskopischen Lebewesen aufgebaute Gesteine nannte EHRENBERG '**Biolithen**'. Im Jahre 1836 hatte EHRENBERG entdeckt, daß die Kieselgur bei Bilin in Nordböhmen aus den Kieselpanzern von Diatomeen (Kieselalgen) besteht. EHRENBERGs Erkenntnis vom Massenvorkommen mikroskopischer Lebewesen ließ J. HOOKER auf der Expedition von JAMES CLARK ROSS in die Antarktis die gefundenen antarktischen Diatomeenschlicke richtig deuten.

Zu den tierischen Einzellern zählen vor allem die oft häufigen und artenreichen **Foraminiferen**, die unter dem Mikroskop wie kleine Ammoniten aussehen und oft bei ihnen eingeordnet wurden. Jahrzehntelang studierte sie W. B. CARPENTER. Einen Durchmesser von bis 12 cm besitzen die ebenfalls zu den Foraminiferen zu zählenden **Nummuliten**, trotz ihrer relativen Größe aber eben Einzeller. Ihre vor allem dem Tertiär angehörenden Formen erschloß der frühere Militär ÉTIENNE-JULES-ADOLPHE DESMIER (oder DEXMIER) DE SAINT-SIMON, Victime d' ARCHIAC (A. BIREMBAUT 19). In einem mit JULES HAIME 1853 verfaßten Werk wurden 352 Arten und Varietäten der Nummuliten beschrieben. EHRENBERG entdeckte auch die **Coccolithen**, und fand erste **Dinoflagellaten**.

Vielzellige, aber immer noch kleine Tiere sind die den Kleinkrebsen angehörenden **Ostrakoden**, die neben langlebigen auch horizontgebundene Formen aufweisen, wovon Namen wie 'Beyrichienkalk', 'Cypridinenschiefer' zeugen (K. STAESCHE 1948). Fossile Mikroorganismen nehmen in der geologischen Erkundung des 20. Jh. wegen ihrer viel weiteren Verbreitung eine viel größere Stellung ein als makroskopische Fossilien.

Umstrittenes eventuell ganz frühes Leben: Eozoon

Umstritten blieb das **Eozoon**, eine zuerst von LOGAN (T. H. CLARK 1973) in präkambrischen Gesteinen Kanadas aufgefallene Bildung, die ihm und anderen als besonders frühe Lebensspur galt. Die ersten Proben dieses Befundes waren durch einen auch an Mineralogie interessierten Landarzt bei Burgess in Ontario gefunden worden, solche von besserer Erhaltung wurden gefunden am Ottawa River (C. L. FENTON et al. 1952). LYELL nannte sie einmal die größte geologische Entdeckung seiner Zeit. Ihre organische Natur verteidigte vor allem JOHN WILLIAM DAWSON, der auch, 1864, den Namen "***Eozoon canadense***", das 'kanadische Fröhntier', gab. Wie LOGAN stammte DAWSON, Kanadas zweiter großer Geologe, aus einer von Schottland stammenden Familie, war Sohn eines begüterten Schiffseigentümers in Picton in Nova Scotia, studierte auch in Edinburgh und wirkte an der McGill University in Montreal. DAWSON verbesserte auch die Dünnschliff-Technik für Fossilien, etwa fossile pflanzliche Strukturen unter dem Mikroskop zu untersuchen.

Später wurde Eozoon auch mit den kissenartigen **Stromatolithen** verknüpft, die sich in Kambrium und Ordovocium fanden und zu den Schwämmen gerechnet wurden, aber nunmehr namentlich mit Blau(grün)algen verknüpft werden und diese auch rezent mattenartige Lager bilden (H. FÜCHTEBAUER et al. 1988).

Auch wenn der Körper verschwindet: Lebensspuren können bleiben

Außer mit Körperstrukturen zusammenhängenden Resten blieben auch Spuren der Lebenstätigkeit erhalten. Ihrer Erforschung dient als Seitenzweig der Paläontologie die **Ichnologie**, ein um 1830 von BUCKLAND eingeführter Begriff (Wikipedia 2013). Nicht immer war es mit Sicherheit möglich, die Lebensspuren bestimmten fossilen Arten zuzuordnen. 'Spuren' konnte sehr Unterschiedliches bedeuten, von großen abgestorbenen Riffen bis zu **Kriechspuren**. Würmer und Schnecken

können bei ihrer Fortbewegung Spuren im Schlick oder auch feinem Sand hinterlassen und sie können von nachfolgendem Sediment zugedeckt und so konserviert werden. Bohrgänge von Würmern etwa können auch in die Tiefe reichen, was schnelles Einbetten des mehrere Zentimeter starken Sedimentes voraussetzt.

Riffe, (Tier)bauten

Im Verlaufe der Erdgeschichte sind Organismen verschiedener Gruppen von Lebewesen als **Erbauer von Riffen**, also hohen, sich auch vertikal weithin erstreckenden Gesteinsmauern im Meer namentlich aus Kalk oder Dolomit. Am Nordwest-Rand des heutigen Australien zieht sich fast 2.000 lang das 'Große Barriere-Riff' entlang (H. WOPFNER 1997, S. 9). Als Riffbauer sind in der Erdgeschichte aufgetreten neben den Korallen Stromatoporidae, Bryozoen, Schwämme, Algen. L. VON BUCH hat 1839 den Albtrauf in Schwaben als fossiles Riff gesehen. Aus den heutigen Korallenriffen haben namentlich CHARLES DARWIN 1839 und J. DANA 1849 auch für die Erdgeschichte wichtige Schlußfolgerungen gezogen. Wenigstens riffbauende rezente lebende Korallen leben nur in Wasser höherer Temperatur und in relativ niedriger Tiefe. Geht man mit gewisser Berechtigung davon aus, daß auch fossile riffbauende Korallen oder gar alle fossilen Riffbauer an wärmeres Wasser gebunden waren, sind fossile Riffe ein Anzeiger für tropische Gewässer, und besonders auch Dolomitisation wurde als Zeichen für warmes Wasser interpretiert (F. KERNER-MARILAUN 1934). Da die Korallen auch nur in einer begrenzten Tiefe unter der Wasseroberfläche leben, bauen sie bei langsamer Absenkung der Riffe nach oben, also auf den Bauten ihrer gestorbenen Vorfahren. Das verwies nach DARWIN auf einen sich absenkenden Ozeanboden. Allerdings ist nun auch bekannt, daß seit dem Ende der Eiszeit der Meeresspiegel um 100 - 150 m stieg, Ausdruck der glazialeustatischen Schwankungen des Meeresspiegels. Auch darauf haben die Korallen mit ihren Riffen reagiert und bauten deshalb aufwärts mit steigendem Meeresspiegel nach oben. Da die nunmehr gemessene Höhe von Korallenkalken in Atollen aber 300 - 400 m beträgt, muß die Absenkung des Meeresgrundes ebenso stattgefunden haben, seinerzeit DARWINs einzige Annahme für das Aufwärtsbauen der Korallen. Während DARWIN, DANA, und 1928 DAVIS dem sinkenden Untergrund die Hauptrolle im Emporbauen der Korallen zuweisen, sah R. A. DALY 1910 vor allem im steigenden Meeresspiegel den wichtigeren Faktor des Hochbauens (H. LOUIS 1979, S. 551).

In Ost-Thüringen am Nordrand des Thüringer Schiefergebirges im Orlagau um Pößneck hat der Geraer Gymnasiallehrer und Geologe KARL THEODOR LIEBE (O. WAGENBRETH 1985) 1852 / 1853 Riffe im Zechstein, als eine besondere Fazies des Zechstein gesehen. Als Erbauer dieser Riffe wurden **Bryozoen** ange-



Abbildung 166: Riff Zechst. b. Pößneck.



Abbildung 167: Zechsteinriff b. Pößneck.

nommen (T. LIEBE 1885).

Für die weitere Diskussion waren Untersuchungen des in vielen Bereichen der Geologie und Geographie hervortretenden FERDINAND VON RICHTHOFEN (E. von DRYGALSKI 1906, 1933, A. HETTNER 1906) (sein Leben s. Geomorphologie) an Riffen in **Südtirol** maßgebend. Im Jahre 1860, also kurz vor seiner Ausreise nach Asien, hatte VON RICHTHOFEN zwei mächtige dolomitische Ablagerungen aus der oberen Trias von Südtirol, den Mendoladolomit und den Schlerndolomit, als Riffe angesprochen, damals als Korallenriffe. Für die Riffnatur dieser Gebilde sprach die eigentümliche Ausbildungsweise dieser Ablagerungen, ihre isolierte, lokale Stellung, damit das Fehlen derartiger Gebilde an anderen Orten in Südtirol (F. v. RICHTHOFEN 1860, 1874, F. WAHNSCHAFTE 1905). "Vollständig isolierte Stöcke eines Kalkcarbonats", meinte von RICHTHOFEN 1860 (S. 296), "können



Abbildung 168: Riff Gamsenberg Pößn..

aber nur durch animalische Thätigkeit frei im Meere aufgebaut werden und wir werden durch diese Betrachtungsweise mit Nothwendigkeit auf die Annahme riffbauender Korallen geführt.“ Gegen die Rifftheorie schrieb vor allem der bayerische Geologe GÜMBEL, der das Ziel verfolgte, "die Alpengeologie von der ansteckenden Rifftheorie gründlich zu heilen". Einwände waren, daß in dem Mendola - und in dem Schlerndolomit Schichtung vorhanden war und andererseits ein Mangel an Fossilien bestand, jedenfalls kaum Korallenüberreste gefunden wurden. Diese Organismenarmut der angeblichen Riffkalke wurde am meisten hervorgehoben. E. v. MOJSISIVICS schrieb 1879 rückschauend (S. 494) sogar und wohl nicht ganz berechtigt: "Es ist eine in der Geschichte aller Wissenschaften häufig wiederkehrende Erscheinung, daß einzelne begabte Forscher, dem langwierigen inductiven Beweise prophetisch voraneilend, aus unzulänglichen Beobachtungsreihen Folgerungen ziehen, deren Richtigkeit erst durch nachfolgende Erhebungen und Entdeckungen festgestellt wird. Gegen die Kritiken aber ergriff von RICHTHOFEN 1874 noch einmal das Wort und brachte durchaus Argumente zugunsten der Riffauffassung. Der Schlerndolomit wirkte nicht so, als ob er als eine eigenständige Schicht einst über ganz Südtirol ausgebreitet war und diese Decke nachträglich bis auf wenige Reste zerstört wurde. Wie von RICHTHOFEN 1874 darlegte, grenzt sich der weiße kristalline Dolomit scharf gegen schwarze "Tuffabsätze" an der Seite ab. Es fehlt beigemengter Tuff im Dolomit. Die den Riffen angelagerten Tuffschichten enthalten jedoch häufig eine große Menge kleinerer und größerer runder Dolomitscheiben von der Form breiter Korallenstöcke. Der Tuffsand mit Dolomitsand ist vielfach in den Schichten vermengt. Die Dolomitriffe, so schlußfolgerte von RICHTHOFEN, entstanden durch riffbauende Korallen während der allmählichen Senkung des Meeresgrundes in diesem Gebiet. RICHTHOFEN hatte auf seiner mehrjährigen großen Reise 1861 an der Südküste von Java ein gehobenes Korallenriff, Udjong-Tji-Lautörön, teilweise untersuchen können und somit Beobachtungen an rezentem Materi-

al im Sinne des Aktualismus beigebracht. RICHTHOFEN gewann die Auffassung, daß gehobene rezente Riffe bald Schichtung annehmen, andererseits die Spuren von Korallen zunehmend undeutlich werden und das durch die Dolomitisierung, die Umwandlung der Riffkalke in Dolomit, verstärkt wird. Aus dem nunmehr der Verwitterung ausgesetzten Riff stammt der "Korallensand". Noch weiter gehoben war das Korallenriff von Maros östlich von Makassar auf der Insel Celebes (heute: Sulawesi). Bis ziemlich weit nach oben waren Spuren des an dem gehobenen Riff nagenden Meeres zu sehen und statt der Korallenstruktur zeichneten sich nur die Formen der Korallen auf den Bruchflächen. RICHTHOFEN (1874, S. 249) aber fand sich hier nach seiner Darlegung "hinsichtlich der äusseren Formen, ganz in die Dolomitgebirge von Süd-Tyrol versetzt". Für Südtirol legte EDMUND Edler von Mojsvár MOJSISOVICS (1839 - 1907) (E. v. MOJSISOVICS 1874, 1875; PRIESNER 1994) 1878 / 1879 weitere Belege für die Riffnatur der Dolomitstöcke vor. Es war anzunehmen, daß Riffe nicht über große Strecken durchgehen, sondern einzelne Stöcke sind, voneinander durch andersartige Ablagerungen geschieden. Gegen VON RICHTHOFENS Annahme von Riffen wurde eingewandt, daß es einst eine weitausgreifende gleichmäßige Dolomitschicht gegeben habe, was nicht dem Aufbau eines Riffes entspreche. VON MOJSISOVICS (1875) sah aber Unterbrechungen. VON MOJSISOVICS hatte weiterhin der Literatur über heutige Riffe, so bei DARWIN, AGASSIZ, DANA, entnommen, daß sich auch in ausgedehnten Strecken der 'modernen Korallenriff - Kalke' kaum organische Einschlüsse finden. Die Meereswellen brechen die Korallenäste ab, zerkleinern und pulverisieren die Riffe und endlich häufen sich Sand und Staub an, aus denen die Gehänge der Riffe bestehen. Dazu treten zahlreiche bohrende Tiere. Auch verwesen immer wieder Tiere in den oberen Riffteilen, es entsteht freie 'Kohlensäure' und diese löst die abgestorbenen Korallen - Skelette. Dann wird der Kalk wieder gefällt. Das Korallenskelett besteht zudem aus dem leicht löslichen Aragonit, nicht aus Calcit. Die Spuren der Organismen des Riffs verschwinden. Um eine Dolomitmasse als Riff anzuerkennen, mußte also nicht der Nachweis von deutlichen Rifforganismen erwartet werden.

Später wurde Kalkalgen ein hoher Anteil an dem Riffaufbau in Süd-Tirol zugestanden (F. FRECH 1905, K. MÄDGEFRAU 1953), ja wurden namentlich durch JULIUS PIA (1926) die Riffbildungen nahezu ausschließlich auf **Dasycladaceen** (Wirtelalgen) zurückgeführt.

WALTHER sah wie schon F. von RICHTHOFEN in dem massigen Dolomit der Frankenalb Korallenriffe, aber sie wurden dann als Schwammriffe gedeutet (P. DORN 1926), auch wenn keine gegenwärtige Schwammart Riffbauer ist.

Silurische Riffe wies T. C. CHAMBERLIN in Nord-Amerika nach (R. T. CHAMBERLIN 1932). Korallenriffe wurden noch ermittelt im Obersilur Gotlands, im



Abbildung 169: Malm-Riff, Dollnstein.

rheinischen Mitteldevon und älterem Oberdevon, im deutschen Jura und in der Danstufe Seelands (Dänemark) (F. KERNER - MARILAUN 1934).

Fossile Exkreme - Koprolithen

Exkreme, Kot, 'Faezes', vorzeitlicher Tiere entdeckte zuerst WILLIAM BUCKLAND (1824, 1829, 1831), der für die hart, ja Stein gewordenen Ausscheidungen den Namen 'Koprolith' = Kotstein, einführte (M. SCHWARZBACH 1957). Fundort war die im Sommer 1821 25 Meilen nordnordöstlich von York entdeckte Höhle von Kirkdale. Hier fanden sich zahlreiche Knochen von Hyänen, schätzungsweise von 200 bis 300 Individuen, dazu Knochen von Tigern, Bären, Wölfen. Um zu erkennen, daß Hyänenknochen vorlagen hat BUCKLAND an lebenden Hyänen in einer reisenden Menagerie in Oxford beobachtet, wie sie Knochen zermalmen und ihre Reste stimmten mit denen in der Kirkdale-Höhle überein (D. KNIGHT 1986, S. 42). Das war also bester Aktualismus und LYELL war sein Schüler BUCKLAND ging auf wissenschaftlichen Veranstaltungen auf alle 'Vier, alle seine Gliedmaßen auf den Boden nieder, wenn es galt vorzuführen wie sich Tiere bewegt hatten, deren Fußabdrücke er gefunden hatte (S. 47). BUCKLAND führte die Ablagerungen in der Höhle auf eine große Flut (Diluvium) zurück. In dieser Höhle mit ihren zahlreichen Skeletten fanden sich auch die Exkreme von vorzeitlichen Hyänen, "Graecum album". Von diesen Befunden ausgehend, fand er, daß die in

Lias - Ablagerungen bei Lyme Regis an der Südküste von England als Bezoar - Steine (Bezoar stones) bezeichneten zylindrischen Gebilde, benannt nach der als Heilmittel benutzten Gallenblase der Bezoarziege, Saurier - Exkremeente sein müssen. Sie wurden von BUCKLAND als 'Koprolithen' (Coprolithen, Coprolites) bezeichnet. Ihr Zusammenhang mit Sauriern wurden wahrscheinlich, weil Saurierknochen und Koprolithen gehäuft zusammen gefunden wurden. Es lagen solche Koprolithen auch gehäuft in der Adominalregion von Ichthyosaurier - Skeletten. Die Sauriersammlerin Miss ANNING an der Südküste Englands fand Koprolithen, nachdem sie darauf aufmerksam gemacht worden war, in fast jedem einigermaßen vollständigen Ichthyosaurierskelett zwischen den Rippen und nahe dem Becken. Unterschiede in den Koprolithen verwiesen darauf, daß sie von verschiedenen Arten stammten. Es fanden sich in England "Gebirgsschichten" von mehreren Meilen Ausdehnung und von ansehnlicher Mächtigkeit, in denen an etlichen Punkten bis zu einem Viertel der Masse aus Coprolithen bestand. Sie wurden gedeutet als tiefe Teile eines Ablagerungsgebietes, in den sich die Exkremeente sammelten.

Als das mehr aktuelle Gegenstück solcher Exkrementanhäufungen erschienen die **Guanolager** (P. 1831) auf Inseln vor der Westküste von Südamerika. Hier hatten sich über lange Zeiträume hin und bis in die Gegenwart fortgesetzt große Massen von Exkrementen dort brütender Seevögel abgelagert. Der Guano wurde als Dünger abgebaut, und zwar schon in vorspanischer Zeit von den Inkas. Der Abbau im 19. Jahrhundert., es wurden für die Zeit um 1830 120000 bis 130000 Zentner pro Jahr angegeben, überstieg zunehmend die Nachbildung und es drohte die Erschöpfung der Guanolager. Als Exkremeente wurden sie durch chemische Analysen von KLAPROTH, FOURCROY, VAUQUELIN bewiesen. BUCKLAND schlug für diesen Guano den Terminus "Ornithocoprus" vor. Die Chemiker WOLLASTON und PROUT wiesen den reichen Phosphatgehalt (Calciumphosphat) der Koprolithen nach, was sie an den Guano erinnerte.

Koprolithen wurden später noch in manchen Territorien gefunden, so auf Äckern im Rotliegenden von Mittelböhmen (R. HOFFMANN 1863).

Hinweise auf die Nahrung der Saurier, vor allem der im Meere

Koprolithen enthielten Hinweise, daß die Meeressaurier Cephalopoden / Tintenfische verzehrt hatten. In den Koprolithen erschien so etwas wie die dunkle Farbe, die 'Tinte', von 'Tintenfischen' und fanden sich ringförmige Hartteile der Nahrungstiere, die den Saurierdarm passiert hatten. Damit war also auch etwas von der Nahrung wenigstens mancher Saurier-Arten bekannt geworden und BUCKLAND

(1829, S. 235) erblickte Ähnlichkeit in der Rolle von Tieren in den verschiedenen Zeitalter, später würde man sagen in ihrer Ökologie: "...the Carnivora in each period of the world's history fulfilling their destined office, - to check excess in the progress of life and maintain the balance of creation". Das entsprach dem aktualistischen Denken.

Allgemeine Phänomene aus der Welt der Fossilien

Zeitgebundenheit der Fossilien

Die Beschränkung der meisten fossilen Tier - und Pflanzen- Arten auf bestimmte Schichten, oft auch innerhalb der Formationen, war die schon beschriebene Voraussetzung für die Entwicklung einer Stratigraphie der Sedimente und damit die Erschließung der 'Tagebuchblätter' der Erde. Mit Hilfe der Fossilien wurden unterschiedliche Epochen in der Erdgeschichte unterschieden, aber auch die Feingliederung bis in oft nur noch schwer unterscheidbare Lagen vorgenommen - wie oben vorgestellt.

Für die Abfolge der fossilen Pflanzen stellten BRONGNIART und ALPHONSE DE CANDOLLE 14 Epochen auf. BEINERT und H. R. GOEPPERT wiesen 1849 nach, daß in einem und demselben Steinkohlenbecken mit Hilfe fossiler Pflanzen die verschiedenen Teilabschnitte der Schichten des Carbon charakterisiert werden können (W. GOTHAN 1948).

Die 'Progression'

Unter 'Progression' wurde verstanden, daß sich die Organismen in der erdgeschichtlichen Zeitfolge mit Annäherung an die Gegenwart immer höher ausbilden, gemäß etwa L. CHOULANT (1843, S. 25): "Ein allgemeiner Blick auf die gesammte frühere Schöpfung organischer Wesen auf der Erde zeigt, daß auch hier ein Fortschritt von dem Unvollkommenen zu dem Vollkommenen, von dem Einfachern zu dem Zusammensetzten und Entfalteten statt fand". HANNS BRUNO GEINITZ formulierte gar 1846 (S. 6), "daß es Gesetz der Natur sei, nach grösserer Vollkommenheit zu streben". Bei VON SCHLOTHEIM findet sich der Hinweis, daß mit dem Heruntergehen in die Tiefe der Erdschichten die Fossilien gegenwärtigen Formen immer unähnlicher werden.

Bei den Anhängern der Katastrophentheorie, so bei dem schon behandelten CUVIER, sollte sich eine höher entwickelte Flora oder Fauna sprunghaft von einer

Katastrophe zur nächsten ausbilden und kein schrittweiser Übergang nachzuweisen sein. Die Debatten um die Progression bewegte einen Teil der Naturforscher in der Mitte des 19. Jh. stark und LOUIS AGASSIZ berichtete (1843, S. 3): "Eine grosse Aufgabe beschäftigt gegenwärtig das Studium der Naturgeschichte, und theilt die Ansichten derer, welche die vorhandenen Thatsachen beobachten, es ist die Untersuchung über den Ursprung der lebenden Wesen, und die Verknüpfung, welche zwischen ihnen in allen Veränderungsepochen, die die Erde erlebte, bestanden hat". Wichtig bei den Erörterungen war, daß aufeinanderfolgende Formationen durch eine größere Ähnlichkeit ausgezeichnet waren als entferntere. Beim Vorkommen derselben Spezies in 2 Formationen folgten diese aufeinander und waren nicht getrennt (A. DE CANDOLLE 1834 - 1835).

Für die Pflanzen unterschied KASPAR Graf von STERNBERG etwa 1825 in einem Briefe an GOETHE 5 Zonen (F. TH. BRATRANEK 1866, S. 147), das heißt zwei 'Stufen' mit in der ersten 3 'Ausdrücken' und 2 'Ausdrücken' in der zweiten Stufe. Die Monocotyledonen sollten beispielsweise vor den Dicotyledonen erschienen sein. Die unter dem Carbon liegenden Schichten, oft als 'Übergangsgebirge' bezeichnet, wiesen nach dem Kenntnisstand des 19. Jh. kaum Pflanzen auf, wenigstens keine Landpflanzen, sondern nur im Meere lebende 'Fucoiden' (H. R. GOEPPERT 1851), wobei es aber auch wenig erreichbare Landablagerungen aus diesen Zeiten gab. Die Progressions-Auffassung wurde mehr oder weniger geteilt von A. SEDGWICK, A. BRONGNIART, nach BRONNs Meinung auch von L. AGASSIZ (H. G. BRONN 1858). Gewiß erkannte auch HUGH MILLER an, daß in der Erdgeschichte die Fische vor den Reptilien auftraten. Aber innerhalb der großen Gruppen, etwa innerhalb der Fische, kann er keine Höherentwicklung feststellen und so kann man MILLER wohl nur sehr bedingt zu den Anhängern der Progressions-Vorstellung rechnen. Immerhin meinte er 1841, daß wohl auch der Mensch eines Tages vor einem besseren Wesen zurücktreten muß. Es wurde auch nach Kriterien gesucht, welche eine Höherentwicklung kennzeichnen. L. CHOULANT meinte 1843 (S. 25), daß die "gesammte frühere Schöpfung" "eine einfacher und großartiger gebildete, weniger ins Feine ausgearbeitete" war, trotz der oft riesenhaften Formen viel gleichförmiger im Bau. Trotz eines auch vorhandenen Artenreichtums, gäbe es weniger Gattungen, fehlte noch die "uns umgebende" Mannigfaltigkeit der Formen. "Die Formen der Pflanzen", sah CHOULANT (1843, S. 26), "haben sich noch nicht so weit als in unserer jetzigen Schöpfung von den symmetrischen, regelmäßig kreis- und linienförmigen Gestalten der anorganischen Welt, gleichsam von der Kristallform, losgemacht". BRONN brachte die besten Überlegungen zu den Kriterien, um Höheres von Vorgegangenem zu unterscheiden, Kriterien, welche noch bei der Aufstellung von Stammbäumen im 20. Jh. berücksichtigt wurden (A. REMANE 1952). BRONN sah diese (1858) in zunehmender Arbeitsteilung, Reduktion der Zahl homologer Organe, Konzentrierung des Körpers, Zentralisati-

on der homonymen Organe, Internierung (d. h. nach Innen - Verlegung) anfangs oberflächlich verteilter Organe. Als allgemeiner Trend erschien auch die Umgestaltung einer bloß pelagischen in eine 'vorherrschend terrestrische Bevölkerung' der Erde.

Diese Progression, diese 'Höherentwicklung', sollte für die Entstehung der Organismen nach H. G. BRONN (1858) das Entscheidende gewesen sein. Ihr war untergeordnet das 'Gesetz der Beziehung zu den äußeren Existenzbedingungen', das heißt die Anpassung an die Umwelt. So ähnlich, nach einem inneren Höherentwicklungsprinzip und einer Anpassung auf den gegebenen Niveaus, hatte auch der von BRONN ansonsten (so 1841, S. VII) abgelehnte LAMARCK die Evolution gesehen.

Ablehnung der Progression als vorgetäuscht wegen Überlieferungs-Lücken

Andere Autoren sahen die Progression nur vorgetäuscht, wegen der unvollständigen Überlieferung von Fossilien in den verschiedenen Perioden. Werte man alle Funde, auch einzelne aus, so träten auch in weit zurückliegenden Zeiten schon hoch ausgebildete Formen auf. GREENOUGH (1821) meinte, daß 'uns' die ältesten Fische nicht fremdartiger erscheinen als die neuen, ebenso wenig wie 'Cactus' in den Kohlebergwerken oder alte Krokodile. Wenn auch eine gewisse Fossilabfolge für England zuträfe, so könne sie nicht auf die gesamte Erde übertragen werden. Nach GREENOUGH fehlten noch Belemniten und Ammoniten in ganz Südamerika, was jedoch später korrigiert wurde. Für die Pflanzen wurde etwa darauf verwiesen, daß niedere Pflanzen, etwa Moose, nicht fossil bekannt waren und somit frühe Stufen in den frühen Zeiten nicht nachgewiesen waren (A. DE CANDOLLE 1834-1835). Bei den Bärlappgewächsen erschienen die gegenwärtigen Arten eher als einfacher, rückständiger als die einstigen Vertreter, etwa Lepidodendron im Carbon (HOOKER 1849).

Im ursprünglichen Aktualismus von LYELL aber wurde eine wirkliche Entwicklung der Organismenwelt nicht angenommen und sollten je nach den Umweltbedingungen jederzeit alle jemals vorhandenen Organismenformen wieder auftreten können. Die Stratigraphen, welche auch unabhängig von den Diskussionen über Katastrophismus und Aktualismus die 'Formationen' und auch Abschnitte innerhalb dieser 'Formationen' ausgliederten, interessierten sich über die Änderungen an den Grenzen der Epochen, denn Leitfossilien sollten die Abschnitte der Erdgeschichte erkennen lassen.

Auffassungen über die Besonderheiten der Perioden der Erdgeschichte (LOUIS AGASSIZ) und religiös geprägte Auffassungen zur 'Progression'

LOUIS AGASSIZ (1843) hielt zwar an der besonderen Organismenwelt jeder erdgeschichtlichen Periode fest, aber sah nicht allein und nicht immer eine einfache gerade Höherentwicklung von einer Periode zur nächsten. Gewiß gab es am Anfang der Erdgeschichte von den Wirbeltieren nur Fische, dann vor allem Reptilien und zuletzt namentlich Säugetiere (L. AGASSIZ 1849). Jedoch für wirbellose Tiere ließe sich nach L. AGASSIZ 1843 keine Stufenleiter aufbauen. Andererseits verwies AGASSIZ 1849 auf ausgestorbene Typen, welche gegenwärtig auf verschiedene Tierfamilien verteilte Merkmale vereint hätten. So vereinten nach AGASSIZ die Ichthyosaurier fischähnliche Wirbel, die delphinähnliche äußere Form, Spezialmerkmale der Krokodile und anderer Reptilien. Außerdem meinte AGASSIZ 1849 (S. 435), daß bei wirbellosen Tieren in manchen Fällen 'progressivere' auf einfachere Formen folgen, also etwa geradlinige Cephalopoden, die Orthocera, den gekrümmten (Lituiten) vorangingen. Bei den Crinoiden gab es festsitzende vor den freibeweglichen. Manche Formen nehmen später für bestimmte Gruppen kennzeichnende Merkmale vorweg. AGASSIZ nannte solche Formen (1849) 'Prophetic Types'. das Reptil Pterodactylus wies schon Vogelmerkmale auf, die Ichthyosaureier Eigenschaften der Wale.

Auf jeden Fall wären auch die Lebewesen der Vergangenheit ihrer Lebensweise und Umwelt angepaßt gewesen (L. AGASSIZ 1855, S. 10) und in gewisser Weise wären alle Tiere gleich vollkommen (S. 11). Es haben damit die Arten ihren mehr oder weniger ausgedehnten Wirkungskreis, ihre besondere 'eigenthümliche' Bestimmung im Haushalt der Natur, ist jede Spezies "den Zwecken ihrer Bestimmung und Erschaffung so vollkommen angepaßt, daß sie durchaus keine Möglichkeit der Verbesserung mehr zuläßt".

Daß sich die Perioden der Erdgeschichte durch eine eigenständige Organismenwelt auszeichneten und eine Aufeinanderfolge erscheint, führte AGASSIZ auf einen Gott zurück (1843, S. 14): "Der Begriff von einem höhern Wesen, das von der Schöpfung unabhängig, und schon von den ersten Zeiten an, deren Phasen festgesetzt hat, stellt sich von selbst dar".

Für den religiösen HUGH MILLER (M. J. S. RUDWICK 19) war die 'Progression' schon deshalb verdächtig, weil sie bei LAMARCK zur Annahme einer Transmutation der Organismen geführt hatte. So erscheint bei ihm zwar der Gedanke der Progression, wird aber auch immer wieder zurückgenommen. Die 4 großen Typen des Tierreichs waren, was zutrifft, stets in zahlreichen Formen vertreten. Gewiß,

gab es am Anfang einfachere Formen als später. So gab es Korallen zuerst in 4 - strahligen Arten, erst ab dem Ende des Paläozoikum auch in 6 - strahligen. Die Articulata treten zuerst in Gestalt der primitiven Trilobiten auf. Aber ihr Auftreten zeigt sogleich "that the unity of design which, amid endless diversity, pervades all nature!" Die Fische waren nach MILLER schon perfekt auf der Erde erschienen, klar von anderen Tiergruppen getrennt. Während der Erdgeschichte wurden sie eher degradiert, denn die frühesten Repräsentanten der Fische erschienen als die am meisten komplexen, teilweise mehr als jemals wieder 'waffenstarrend', wie es eben dem Gotte des Alten Testaments entsprach. Danach wurden aber doch die Reptilien die "lords and masters of this lower world" (H. MILLER 1857, S. 78). Und die Reihenfolge der Formen erscheint so, daß die Struktur des Menschen vorbereitet ist (1857, S. 211): "man is the end towards which all the animal creation has tended from the first appearance of the palaeozoic fishes". MILLER sieht in den Formen, welche dem Menschen vorangehen, teilweise sogar etwas wie eine Prophezeiung, eine Vorwegnahme des Menschen (S. 216): "The advent of man simply as such was the great event profigured during the old geological ages".

Die Umbildung der Organismenwelt sollte nach AGASSIZ und MILLER (1857) auf den verschiedenen Kontinenten auch ungleich rasch erfolgen. Amerika träge noch Züge des vergangenen Europa, wäre in Hinsicht auf die Flora die 'Alte Welt' und die heutige Flora Nord - Amerikas entspräche etwa der Tertiärflora von Oeningen am Bodensee in Europa. Auch so wurden einmal die großen Florenunterschiede zwischen den Kontinenten erklärt.

Ständiger Wandel in der fossilen Organismenwelt

Auch ohne Abstammungslehre wurde erkannt und als Zeugnis für die aktualistische Auffassung betrachtet, daß zu allen Zeiten neue Organismenarten erschienen und andere verschwanden. Mit zunehmend besserer Kenntnis des Neuauftretens und Verschwindens der Arten wurde deutlich, daß niemals alle Arten eines Zeitalters gleichzeitig die Erde betraten oder gleichzeitig erloschen. Nicht nur an Schichtengrenzen gab es also Wandel in der Organismenwelt. H. R. GÖPPERT meinte (1864 - 1865, S. 293), daß sich im Ganzen ergäbe, "dass neue Arten ohne allen genetischen Zusammenhang unter einander zu allen Zeiten unausgesetzt entstanden und vergangen sind, und dass zu keiner Zeit alle einstigen Pflanzenarten der Erdoberfläche gleichzeitig erschaffen wurden oder gleichzeitig vom Schauplatz verschwanden."

Auffassungen über die Ursache(n) für das Auftreten neuer Organismen in verschiedenen Perioden der Erdgeschichte - Annahme der Urzeugung

Für das Neuauftreten von Arten oder auch größeren Gruppen (Sippen, Taxa späterer Terminologie) von Organismen in der Erdgeschichte wurde bis zum Erscheinen von DARWINs Werk "On the Origin of Species..." 1859 selten die Evolution angenommen. Die Auffassung von einer realen Umbildung der Arten, der Evolution, existierte, bekannt durch LAMARCK. Die Evolution wurde aber von den meisten Paläontologen zurückgewiesen. FRIEDRICH AUGUST QUENSTEDT meinte etwa 1852 am Schluß seines "Handbuch der Petrefaktenkunde" (S. 755): "Die heutige Schöpfung schließt sich mit allen ihren Formen diesen untergegangenen so eng an, daß wir sie als das Resultat jener frühern Weltepochen zu betrachten haben. Als die jüngste übertrifft sie an Mannigfaltigkeit und Fülle die einzelnen ihr vorausgegangenen Formationen, aber auch sie ist wie alles Irdische noch im Werden begriffen... Freilich gehen unsere Forschungen noch nicht so tief, daß wir an lebenden Thieren und Pflanzen scharfe Beweise für Veränderung in historischer Zeit geben können..."

Viele Forscher rechneten mit einer plötzlichen Entstehung auch neuer, bisher noch nicht vorhandener Formen aus lebloser Materie, durch **Urzeugung**, **Generatio spontanea**, oder einst auch "Urerzeugung" genannt (H. B. GEINITZ 1846). So meinte H. B. DE SAUSSURE (1781, II. Theil, S. 326), daß das "das alte Weltmeer, in welchem die Berge gebildet worden" ursprünglich ohne Leben war, "und die Keime der lebenden Wesen haben sich in dem Innern seines Gewässers nur nach und nach entwickelt, ..." DE SAUSSURE verglich die Hervorbringung von Lebewesen im Urmeer mit der Entstehung von "Thierchen" in einer "anfangs" reinen, von lebenden Wesen leeren Infusion. Andere Forscher ließen die Ursache der Formen-neuentstehung offen. Etwa C. F. NAUMANN (1854, S. 27 ff.) sah in der Progression die Verwirklichung eines in der Natur angelegten Planes. H. G. BRONN meinte 1858 (S. 77), die Wissenschaft "...lässt uns gänzlich über die Kraft im Dunkeln, welche" die Organismen "hervorgebracht hat". Die heutigen Naturkräfte erklärten zwar die Gestaltung der Erdrinde, das heißt die anorganische Geschichte könne aktualistisch verfolgt werden. Aber neue 'Geschlechter' an Pflanzen und Tieren sehen wir nicht entstehen und deshalb fehle auch die Möglichkeit, das in früheren Zeiten zu erklären. Man könne zwar an den Weltschöpfer denken, aber in der Natur werde ansonsten "Alles durch allgemeine Kräfte geordnet und gebildet", "welche mit der Materie verbunden sind". Eine bestehende, aber noch unbekannte Kraft wäre anzunehmen. Die frühesten Geschöpfe hätten ihren Anfang in der 'Generatio aequivoca' genommen. Für einen Übergang einer Art, Sippe oder gar

Ordnung oder Klasse in eine andere spräche keine Erfahrung. Da schon in den frühesten Schichten Weichtiere, 'Kruster' usw. auftreten, wäre widerlegt, "dass die vollkommeneren Organismen durch sekuläre Umbildung aus den unvollkommeneren entstanden seyen..." Andererseits aber lasse die Aufeinanderfolge einen gewissen Plan erkennen, der die Vervollkommnung nach Organisationshöhe, Lebensweise und Funktionen bewirkt. Von Plan zeuge auch, daß der Mensch erst am Schluß erscheint, dann, wenn alles für ihn vorbereitet ist. Die Anpassungen zeigten auch, daß die organismenschaffende Kraft in Verbindung mit den die Erdrinde umbildenden Kräften stand.

Fehlende Zwischenformen als Zeugnis gegen die Deszendenztheorie

Die reale Umbildung der Formen mit einer Entwicklung zur Gegenwart hin, so wie es LAMARCK beschrieben hatte, wurde von den meisten Paläontologen abgelehnt auch mit dem Hinweis darauf, daß es

1. in zahlreichen Gruppen schon von Anfang an auch vollkommene Formen gibt, teilweise am Anfang vollkommenere als später,
2. vermittelnde Zwischenformen von einer Ausgangsgruppe zu einer späteren Gruppe fehlen.

Auf beispielsweise einst hoch entwickelte Fische verwiesen AGASSIZ, MILLER, H. B. GEINITZ (1846), die schon bei fossilen Pflanzen hohe und zusammengesetzte Organisation ohne Vorläufer, etwa bei Neuropteris, betonte H. R. GÖPPERT (1864 - 1865).

Die Debatten darüber, wie eine 'echte' Zwischenform' auszusehen habe, rissen bis in das 20. Jh. nicht ab. Nach A. DE CANDOLLE (1834-1835), MILLER (1857) keine verbindenden Formen bei den Trilobiten, und er meinte (S. 201): "All geologic history is full of the beginnings and the ends of species, - of their first and their last days; but it exhibits no genealogies of development". Alle Spezies sollten wohl einen eigenen und von den anderen unabhängigen Beginn aufweisen.

Wie ein Pfeil eben nur wenige Hundert Meter weit fliegt, so käme, schrieb 1841 HUGH MILLER (S. 41), auch die Umbildung von Lebewesen bald an Grenzen. Ordnet man die Menschen nach ihrer Größe, bekäme man nicht die Reihenfolge einer wirklichen Umbildung von anfänglich kleinen zu immer größeren Menschen. Die Fische erschienen zwar vor den Reptilien, aber innerhalb der Fische gäbe es in der Erdgeschichte keine Weiterentwicklung.

Größe vorzeitlicher Organismen

Da es zweifellos in der Vergangenheit recht große Lebewesen gab, wurde manchmal die Vorzeitlebewelt als eine solche von 'Riesen' geschildert. Hoch waren zweifellos manche Bäume der Steinkohlenzeit. Abnorm groß sind manche mesozoischen Reptilien. Auch im Känozoikum erreichen Dinotherium, Waldelefant, Mammut oder auch einige Raubtiere beachtliche Größe. Aber solche großen Formen waren einst ebenso eher die Ausnahme, wie auch in der Gegenwart nur wenige Gruppen sich durch Körpergröße auszeichnen. Manche der gegenwärtigen Meeres-tiere sind jedoch die größten Lebewesen in der Geschichte der Erde überhaupt, nämlich etliche Wale und auch manche in den Tiefen von Meeren lebende Tintenfische/Cephalopoden.

Das Aussterbens von Taxa

Wenige Probleme haben auch Laien so in den Bann geschlagen wie das 'Aussterben' nicht nur von einzelnen Arten, sondern ganz offensichtlich ebenso von großen Gruppen. Alle 'fossilen' Arten wurden manchmal leichthin und unter Verkenntung der durch alle Erdzeitalter überlebenden als "ausgestorbene" angesehen.

Aussterben wurde von den verschiedensten Forschern **auf unterschiedliche Faktoren zurückgeführt**.

Es wurden 1. irdische und 2. kosmische Faktoren erörtert.

Bei den irdischen Faktoren wurde auf die Umwelt, also auf Außenfaktoren der Organismen verwiesen und auf in den Organismen liegende, innere Ursachen. Es gab auch Hypothesen, welche verschiedene Faktoren kombinierten.

Eine auf innere Faktoren zurückgehende 'Lebensdauer' der Arten wurde erörtert, aber eher skeptisch beurteilt. Äußere Umstände sollten nach BRONN (1858) zum Aussterben geführt haben.

DARWIN hatte von der 'Beagle'-Reise große Säugetier-Knochenreste aus der Pampa von Argentinien nach England gesandt oder mitgebracht, und sie wurden hier bestimmt als die Reste viel größerer Verwandter heutiger Arten, von Gürteltieren, Faultieren, Lamas (A. DESMOND et al. 1994, S. 242). Klar war um 1850 (A. DESMOND et al. 1994, S. 250 u. a.): Vielfach wurden ausgestorbene Arten durch ähnliche neue ersetzt, also bestimmte Terrains eben durch analoge Formen besiedelt - ein auf Gesetzmäßigkeiten in der Lebenswelt verweisendes Phänomen, ohne Annahme realer Umbildung und auf den Schöpfer zurückgeführt. Aber die rezenten Gürteltiere Südamerikas hatten möglicherweise schon zu Zeiten der größeren

Formen bestanden und waren einfach unter den Gürteltieren übriggeblieben.

Frage war: Gab es hier Aussterben von Großtieren ohne Klimawandel? Völlig undenkbar erschien zu DARWINs Zeiten, was im 21. Jh. weithin anerkannt ist: Auch der einfache **Mensch**, immerhin in Besitze des weite Steppenbrände auslösbaren Feuers, **brachte Großtiere** in solchem Maße **um**, daß sie verschwanden (zur Literatur s. Y. N. HARARI 2015, S. 514/515).

Rasches Aussterben? - Widerspruch zur Evolution? - Diskontinuität oder Kontinuität in der Organismen-Evolution

Mit der Katastrophentheorie verknüpft waren plötzliche Faunen- und Florensprünge, also **Diskontinuität** in der Organismenabfolge. Auch nach dem Aufgeben der Katastrophentheorie im engeren Sinne hielten es bedeutende Geologen und Paläontologen bald für erwiesen, daß sowohl das Erdaltertum (Paläozoikum) wie das Erdmittelalter (Mesozoikum) mit einem **Massenaussterben** endeten, ja, daß die oberen Grenzen eben durch solchen Faunenwechsel in etlichen großen Gruppen festgelegt werden konnte. MURCHISON (1845) erkannte bei der Untersuchung des Übergangs vom Perm in die Trias, erforscht von ihm namentlich in Rußland, daß ein plötzlicher Faunenwechsel vorlag. Es verschwanden ziemlich plötzlich die bisherigen Cephalopoden, entfalteten sich im Mesozoikum erneut und verschwanden wiederum am Ende der Kreide. Während bei den Pflanzen wenigstens einige dem Carbon und dem Perm sich als gemeinsam erwiesen, fand MURCHISON keine Form, die mit der Trias gemeinsam war. Auch in Nordeuropa lagen die paläozoischen Schichten ohne Störung übereinander, und der Fossilwechsel wurde nicht von Störungen in der Sedimentaufeinanderfolge begleitet (R. I. MURCHISON 1849 b, S. 491). Die großen Änderungen in der Organismenwelt waren also nach der seinerzeitigen Auffassung offensichtlich nicht abhängig von 'physical revolutions' auf der Erdoberfläche. Was bewirkte den so ausgreifenden Wandel in der Organismenwelt? Etwa 95% aller Tiere verschwanden. Eine Temperaturerhöhung infolge der gewaltigen Laveausbrüche in Sibirien wird nunmehr fest angenommen (Internet 2018). Das Massenaussterben an der Perm-Trias-Grenze was das erste bekannte Massenaussterben, aber an der Kreide-Tertiär-Grenze sah man das später auch.

Mit der Evolutionstheorie von CHARLES DARWIN wurde die Umbildung der Organismen in der Erdgeschichte immer weniger bezweifelt. Nach DARWINs Vorstellung über Evolution sollte diese Umbildung aber **in kleinen Schritten** erfolgen, in **Kontinuität**. Eine gleichzeitige Umbildung in vielen oder gar allen Gruppen war nicht zu erwarten. Paläontologen zeigten dann ebenso vor allem

Arten-Übergänge auf zwischen den Formationen. Sie wurden sicherlich auch richtig nachgewiesen.

Die dennoch nachweisbaren bestehenden sprunghaften Veränderungen etwa zwischen dem Perm und der Trias oder auch von der Kreide zum Tertiär gerieten fast aus dem Blickfeld und mußten später wieder hervorgehoben werden. DARWINs Theorie schien jedem sprunghaften Wandel zu widersprechen und wurde deswegen fast verleugnet. Nach dem Massenaussterben schien die Evolution fast sprunghaft neue Formen zu bilden, aber es standen dann doch wiederum Jahrmillionen zur Verfügung, die reichten.

Zahlenvergleich fossiler und rezenter Organismenformen

Manchmal war angenommen worden, daß trotz allem Aussterben und aller Katastrophen in der Gegenwart mehr Organismenarten auf der Erde leben als in der Vergangenheit oder jedenfalls in den einzelnen Perioden der Erdgeschichte. AGASSIZ (1854) meinte, daß man aber nur geographisch vergleichbare Territorien auch hinsichtlich des Organismenbestandes vergleichen darf. Und dann würde die Zahl und Diversität der Arten in vergangenen Epochen nicht hinter der Zahl in der Gegenwart zurückbleiben. Manche fossile Fauna habe sogar eine größere Zahl von Species und eine größere Typen-Variabilität (L. AGASSIZ 1855). Die Zahl der fossilen Muschel'formen' im unteren Tertiär der Umgebung von Paris, mit 1200, war nach AGASSIZ (1854) etwa doppelt so groß wie die in einem Küstengebiet Europas. Auch auf den Seychellen war nach einem Katalog die Zahl der Muschelarten wesentlich geringer. Für Mauritius, Bourbon und Madgaskar wurden weniger als 300 Spezies angegeben, für das Rote Meer nach HEMPRICH, EHRENBERG und RÜPPEL etwa 400. Durchaus mit gegenwärtigen Vergleichszahlen bei den Krebsen können die fossilen Trilobiten bestehen und auch die gegenwärtig so besonders artenreichen Insekten haben zahlreiche fossile Vertreter geliefert. Die einst schon so große Formenvielfalt sah AGASSIZ ebenfalls als eine Widerlegung der Entwicklungstheorie.

Geographische Verbreitung fossiler Formen, fossiler Faunen und Floren

Um die einstigen Verhältnisse auf der Erdoberfläche insgesamt aufzuklären, reichte es nicht, nur irgendwo bestimmte Formen zu finden. Ebenso wichtig konnte es sein, die Verbreitung der fossilen Formen zu kennen. Die Verbreitung der Organismen kann zwar durch recht unterschiedliche Faktoren bestimmt werden und der maßgebende Faktor ist teilweise schon in der Gegenwart oft nicht leicht zu ermitteln. Aber immerhin hat die nachgewiesene Verbreitungsbegrenzung etwa Überlegungen zu

klimatischen Unterschieden in den verschiedenen Teilen der Erde nahegelegt.

K. VON STERNBERG etwa forderte, daß Fossilstücke unbedingt mit einer Fundortangabe zu versehen sind. Es wurde von schon bald erörtert, von STERNBERG 1820, ob und wann es biogeographisch unterschiedliche Zonen auf der Erde gab. Es wurde auch debattiert, ob die biogeographisch unterschiedlichen Gebiete analog den gegenwärtigen waren oder andersartig. Auch, wenn einst ganz andere Formen existierten, so galt eine Existenz unterschiedlicher Zonen bald als möglich (K. v. STERNBERG 1820) und wurde dann zunehmend bestätigt, so wie für die Gegenwart EDUARD FORBES die Tiergeographie der Meeresräume und die Gliederung nach tiergeographischen 'Provinzen' vorangebrachte (M. NEUMAYR 1883).

Schon in der ersten Hälfte des 19. Jh. wurde festgestellt, daß sich im **Paläozoikum weniger unterschiedliche Floren und Faunen als in der Gegenwart** unterscheiden lassen. Um 1835 waren Kohlenpflanzen aus Europa, Nordamerika, Australien ("Neu-Holland"), Indien bekannt und etwa der Pflanzenbestand von Nordamerika und Europa wies eine viel größere Ähnlichkeit, 'Uniformität', auf, als es für die gegenwärtige Flora gilt (A. DE CANDOLLE 1834-1835, HOOKER 1849). Die **Gemeinsamkeit** in den Floren sollte durch die Kontinente **verbindende Landbrücken** möglich gewesen sein. Die Gemeinsamkeiten oder Unterschiede in der Fauna und Flora verschiedener Regionen, ja der Kontinente, wurde ein die Tektonik unterstützendes Zeugnis von Landhebungen und Landsenkungen. Für die altpaläozoischen Faunen stellte BARRANDE 1856 heraus, daß sie in Böhmen, Frankreich, Spanien und Portugal einander sehr ähnlich sind, aber sich von der Tierwelt im nördlichen Europa deutlich unterscheiden (K. SDZUY 1958). POMPECKJ versuchte das 1896 zu widerlegen, jedoch FRECH bestätigte es insgesamt 1899. Nach späteren Untersuchungen betraf die mittelmakbrische biogeographische Differenzierung nur einzelne Gruppen von Trilobiten (K. SDZUY 1958). MURCHISON fand (1849, S. 481) große Übereinstimmung in den Fossilien des oberen Silur, namentlich bei den Trilobiten und den Korallen, in Skandinavien, England und Nordamerika. MURCHISON zog daraus für diese Erdgeschichtsperiode die Schlußfolgerung "of the wide diffusion of similar conditions in the early stages of the formation of the earth's surface." Für die Jura-Zeit nahm ALPHONSE DE CANDOLLE etwa 1834/1835 eine größere Verschiedenheit an den einzelnen Lokalitäten an.

So war es wichtig, als O. HEER die auf **Grönland** und anderswo **im Norden** zusammengetragene fossile Flora untersuchte und sich ergab, daß **in der Tertiärzeit hier Pflanzen** wuchsen, die nur **in einem warmen Klima** gewachsen sein konnten (A. HETTNER 1928, R. LAUTERBORN 1934), also sogar gegen den Norden hin ähnliche Formen wie anderswo gediehen. Die Gemeinsamkeiten oder Unterschiede in der Fauna und Flora verschiedener Regionen, ja der Kontinente, wurde

ein die Tektonik unterstützendes Zeugnis von Landhebungen und Landsenkungen, für die Annahme von Landbrücken. Südamerika eigenständige Tierwelt hatte sich getrennt vom Norden herausgebildet, aber durch die Schließung einer Landbrücke in Mittelamerika waren Arten aus dem Norden eingedrungen, so der Jaguar und andere Raubtiere. Die fanden in Südamerika teilweise fette Beute.

EDUARD SUESS (1888, S. meinte, daß es in größeren Meerestiefen wegen der dort ziemlich erdweit gleichen Bedingungen kaum faunistische Unterschiede gibt, und nur in den oberen Bereichen der Meere Klimazonen festgestellt werden können. Erdweite Verbreitung von Meeresfossilien wies nach SUESS auf ihr Vorkommen in der Tiefe.

Ökologie vorzeitlicher Organismen - Lebten sie immer, wo man sie eingebettet findet?

Zahlreiche Merkmale von Tieren und Pflanzen sind an bestimmte Umwelten gebunden. Fossilien mit solchen **Merkmalen** können dann **als Indikatoren für die Umweltbedingungen ihrer Lebenszeit** dienen und helfen, die Fazies ihrer Fundorte zu charakterisieren. In aktualistischer Weise wird dabei vorausgesetzt, daß in der erdgeschichtlichen Vergangenheit die Merkmale ebenso umweltgebunden waren wie in der Gegenwart. Aber es gibt auch Arten, ja auch ganze Gruppen wie die Graptolithen, die keine lebenden Vertreter hinterließen.

Wenn Organismen in einem Sediment einer bestimmten Fazies gefunden werden, ist zu beachten, daß sie auch **von anderswoher herbeitransportiert** werden konnten. In Küstengebieten können Landorganismen in Strandnähe umkommen und werden dann in Flachmeersedimenten eingebettet. Ganz unterschiedlich ist die Herkunft der fossil in den Kalken des Malm bei **Solnhofen** in Nordbayern eingebetteten Lebewesen, wo sich in den Malmkalken Urvögel, *Archaeopteryx*, fanden und ebenso Libellen und anderen Insekten. Aber diese Malmkalke sind auch ein reicher Fundort für Fische, Stachelhäuter, Meereswürmer. Was war hier? Küste? Augenscheinlich! Rezent wurden sibirische und westindische Treibhölzer gemeinsam an der Nordküste Islands angetroffen (F. KERNER-MARILAUN 1934), waren also weit durch die Meere transportiert worden und lagen dann fern ihrem Herkunftsgebiet. Hochseetiere oder deren Reste konnten ebenso in Strandnähe getrieben werden, wie es heute mit den Schulpn der *Sepia* geschieht. Und Vögel, selbst wenn sie vielleicht nicht gut flogen, konnten in Küstennähe geraten und stürzten dort hernieder.

Hinsichtlich der Umweltabhängigkeit der Vegetation gab es auch eher **phantastische Vorstellungen**. "Die Form der Pflanzen", meinte 1820 (S. 15) Graf von

STERNBERG, "wird durch die chemische Mischung der Bestandtheile des Erdbodens und der Luft, und durch die Verhältnisse der Verbindung mit Licht und Wärmestoff bedingt. ... es ist daher auch leicht denkbar, dass in verschiedenen Perioden, wo nothwendigerweise andere Mischungen und verschiedene Verbindungen statt haben mussten, auch andere Pflanzenformen vorhanden waren." Ja, wenn über die Zusammensetzung der "Luft" unabhängig etwas bekannt gewesen wäre!

Umstritten war der Standort der Sigillarien, deren breite Wurzeln aber auf Extrembedingungen wies, ob Schlamm oder Wüste, wohl von anderen Gewächsen gemiedene Substrate (HOOKER 1849).

Daß sich am gleichen Fundplatz Fossilien verschiedener Herkunft, auch solche von Meer und Süßwasser, durchmischen können, war etwa GREENOUGH (1821) bekannt.

Die ökologischen Anpassungen wurden von der Mehrheit der Naturforscher ab 1860 als Ergebnis der Deszendenz der Organismen betrachtet, wobei die ein großer Teil in der ungerichteten Variabilität und der Selektion unter den erblichen Variationen die Ursachen der Umbildung sah. Die Veränderungen der Umwelt sollten zuwege bringen, etwa durch veränderte Auslesebedingungen, daß neue Formen zustande kamen (H. POTONIÉ 1899).

Wurmnröhren sind Flachwasserbildungen und fossile solche Gebilde galten als Flachmeerzeugnis.

Die aufrechten Stämme hoher Pflanzen über Steinkohlenflözen

Kohleflöze sind oft unterbrochen durch Schichten mit Muscheln, etwa in den ober-schlesischen Flözen 1863 entdeckt durch F. ROEMER und als "marin" gedeutet, ebenso anderswo vorhanden (E. SUESS 1888, 2, S. 302, 306). Über dem Flöz gibt es als 'Wurzeln' der Gefäßkryptogamen anzusehende Gebilde, die "**Stigmarien**" genannt wurden. Und es gibt in dem Sandstein über dem Flöz aufrecht stehende Stämme, 3 - 4 m hoch. Man wollte darin einen Sumpfwald erkennen, ähnlich den heutigen aus ganz anderen Pflanzen bestehenden Mangrobenwaldungen an tropischen Meeresküsten. Die Stigmarien wie die aufrechten Stämme sprächen für ein Entstehen der Flöze an Ort und Stelle. Aber die aufrechten oder wenigstens schrägen Stämme sollten auch zeigen, daß der sie umhüllende Sandstein nicht allmählich abgelagert worden sein kann, sondern der Sand sie während der Lebenszeit der Gewächse in wohl rascher Ablagerung umhüllt haben muß, also we-



Abbildung 170: Stigmarie. Zwickau.

nigstens hier eine rasche Sedimentation geschah. Die Stämme konnten kaum lange Zeiten aufrecht oder gar lebend überstanden haben. Aber aus neuer Zeit gibt es an der Nordsee unter dem Meeresspiegel liegende Torfmoore, aus denen Baumstümpfe aufragen, also Moor Holz konservierte (S. 306). Der einst führende Beschreiber der Steinkohlenpflanzen GRAND' EURY bemerkte, daß die Stämme in einer bestimmten Höhe wie abgeschnitten sind. Das und anderes ließ ihn die **Allochthonie** der Steinkohlenflöze annehmen, die Entstehung aus von anderswoher zusammengeschwemmten Stämmen (E. SUESS 1888, S. 307). Wenn auch umstritten wurden die Lagerungsverhältnisse der Steinkohलगewächse benutzt, um ein Bild von Ablagerungsvorgängen zu erhalten.

Evolutionstheorie, Paläontologie und Geologie

Durch die Veröffentlichung des Buches "On the Origin of Species..." von CHARLES DARWIN 1859 / 1860 wurde die Evolution, die Umbildung der Organismen, zu einer vielfach anerkannten Theorie, auch, wenn die Faktoren der Evolution von den verschiedenen Forschern oft unterschiedlich gesehen wurden. Die Annahme der Evolution bedeutete vom Standpunkt der Paläontologie die "Umdeutung des erdgeschichtlichen in einen lebens- und stammesgeschichtlichen Zusammenhang der zeitlich einander ablösenden Lebewesen" (O. H. SCHINDEWOLF 1948). Chronologie und Biostratigraphie erhielten nachträglich eine theoretische Begründung.

Neben dem Konsens über die Umbildung der Organismenformen grundsätzlich, gab es jedoch nicht nur die eine, die DARWINsche Evolutionstheorie, sondern wurden eine ganze Reihe von Theorien und Hypothesen über die Kausalität der

Evolution ausgearbeitet.

Zwischen Evolutionstheorie und Erdgeschichtsforschung/Geologie bestanden und bestehen wichtige Wechselwirkungen und Beziehungen:

Alles oder auch viel vernichtende **Katastrophen**, welcher Art auch immer, auch bei erdweiter Totalvergletscherung, hätten eine langsame, **schrittweise Evolution**, wie sie offensichtlich stattfand, **ausgeschlossen**.

Die Erdgeschichtsforschung lieferte der Evolutionstheorie nötige **Zeitvorstellungen**, aber nicht immer richtige, und die Evolutionstheorie hatte die geologischen Zeitvorstellungen zu korrigieren.

Die Geologie lieferte das **Prinzip des Aktualismus**, das auch bei der Deutung der Arten-Umbildung angewandt wurde, durch DARWIN auf jeden Fall.

Von der Geologie festgestellte **physische Veränderungen auf der Erde**, etwa Gebirgsbildungen, konnten erklären, warum **neue Formen** sich zu bestimmten Zeiten durchsetzten.

Umgekehrt brachten **neue Organismenformen andersartige Bedingungen** auf der Erdkruste, erklären geologische Erscheinungen.

Die Abfolge der Fossilien in der Erdgeschichte, der "fossil record", fand mit der Evolution eine mögliche **Erklärung**.

Dabei war zu erwarten, daß wenigstens zahlreiche Fossilien ihren Merkmalen nach als Vorfahren späterer Organismenformen in Frage kommen konnten oder solchen wenigstens nahestanden – was durchaus zutrifft. Beispielsweise die Samenfarne müssen dabei nicht die unmittelbaren Vorfahren bestimmter Blütenpflanzen sein, aber sie paßten in den Weg von höheren Gefäßkryptogamen, also Farnen etwa, zu den Gymnospermen und den Angiospermen. Ausgesprochene Zwischenformen blieben jedoch selten oder wurden nicht als die geforderten Zwischenglieder anerkannt. Schließlich mußte jede lebensfähige Form Anpassungsmerkmale haben und mußte von solchen aus auch eine Umbildung in anders spezialisierte Formen möglich sein.

Die Begründung der **Evolutionstheorie hat also das Bild von Zusammenhängen in der Erdgeschichte stark bereichert**.

Als epochemachend, als die Erdgeschichtsforschung gewaltig stimulierend, bezeichnete DARWINs Buch etwa ARCHIBALD GEIKIE (s. 1924), denn es zeige den

Geologen (S. 71 / 72) "a new method of interpreting the crust of the earth and showed them that what they had presumed to be fairly continuous and complete record, was full of gaps, even when these could not be detected by any visible stratigraphical breaks."

Gerade manche Paläontologen **lehnten** die Evolutionstheorie **ab**, auch noch im 20. Jahrhundert. Im 19. Jahrhundert. blieb etwa BARRANDE, der große Erforscher der altpaläozoischen Organismenwelt Mittelböhmens, auf dem katastrophistischen Standpunkt CUVIERs.

Einer der ersten die **Deszendenztheorie anerkennenden** führenden Paläontologen war der in Basel wirkende LUDWIG RÜTIMEYER (E. WÜST 1927).

Der fossile Mensch

Einst, in den Zeiten der "Diluvianer", wurden manche großen Tierknochen als Menschenknochen angesehen, als Reste von Sintflutopfern. Für die meisten Anhänger der Katastrophentheorie gab es keinen "fossilen" Menschen, was damals hieß, keinen der vor der letzten Katastrophe lebte. Auch die letzte Katastrophe konnte dann für viele nicht die biblische Sintflut sein.

Das von J. J. SCHEUCHZER beschriebene und aus der Sintflut herrührende scheinbare Menschenskelett hatte der in der vergleichenden Anatomie viel weiter geschulte CUVIER als die Reste eines Riesensalamanders erkannt. CUVIER selbst meinte (dtsch. 1830, S. 125): "Allein ich will daraus nicht folgern, dass vor dieser Epoche die Menschen noch gar nicht vorhanden gewesen seyen. Sie können einige beschränkte Gegenden bewohnt haben, von wo aus sie die Erde nach jenen furchtbaren Ereignissen wieder bevölkerten."

Wurde die Erdgeschichte aktualistisch betrachtet, dann mußte der Mensch irgendwie in die sich allmählich umbildende Welt hineingetreten sein. Das bedeutete, daß er auch mit ausgestorbenen Tieren zusammenleben konnte. Getätigte Funde über das **Zusammenleben von Mensch und ausgestorbenen Säugetieren** fanden also große Aufmerksamkeit, auch vor und unabhängig von der Evolutionstheorie im Sinne von DARWIN.

Schon in der ersten Hälfte des 19. Jh. wurden vorzeitliche Menschenreste oder menschliche Spuren gefunden und beachtet (K. D. ADAM 1972/1973, M. PFANNENSTIEL 1972 / 73). Fundplätze dafür waren zunächst **Höhlen**, dann ältere, über dem heutigen Niveau liegende **Flußablagerungen** (P. SHORR 1935). In einer Gipschlote bei Bad Köstritz nördlich von Gera barg VON SCHLOTHEIM alte Menschenknochen. In etlichen Höhlen fanden sich menschliche Artefakte mit

den Knochen 'diluvialer', also verschwundener Säugetiere. Nicht mehr vorhandene Säugetiere und Menschen lebten also einst zusammen, obwohl die diluvialen Säuger in der letzten Katastrophe umgekommen sein sollen. Solches Zusammenvorkommen fanden 1828 PAUL JOURNAL und JULES DE CHRISTOL in der Höhle von Bize bei Carcassone. JACQUES BOUCHER DE PERTHES erschloß die Artefakte und Reste in alten Flußschottern, denen der Somme. Dieser Zolldirektor in Abbeville hatte 1828 in der Nähe seiner Heimatstadt einen ersten schönen Faustkeil gefunden. Den Arbeitern in den Sandgruben versprochene Belohnungen ließen diese allerdings auch Fälschungen anfertigen und diese legten sie den Wissenschaftlern vor - bei den niedrigen Löhnen der Arbeiter ein kaum unverständliches Verhalten. In Belgien untersuchte 42 Höhlen an den Hängen der Meuse / Maas) unweit Liège (Lüttich) der Arzt PHILIPPE-CHARLES SCHMERLING (G. UBAGHS 1975), wo er um 1830 manches Zusammenvorkommen von Menschenresten und diluvialen Tieren fand. SCHMERLING kam zur Paläontologie, als er das Kind eines armen Steinbrucharbeiters, den er als Arzt besuchte, mit merkwürdigen Knochen spielen sah. Er fand 1830 auch 2 verschiedene fossile Menschenschädel, die von Engis. Im Jahre 1833 besuchte ihn LYELL und wurde von seinen Befunden beeindruckt. Ablehnend blieb DE BEAUMONT. Um 1869 wurde in Württemberg an der Schussenquelle bei Schussenried eine eiszeitliche Jägerstation durch OSKAR FRAAS erschlossen (K. D. ADAM 1972 / 73).

Erst mit dem Neandertaler-Schädel 1856 wurde für viele wahrscheinlich, daß der **Vorzeitmensch biologisch vom Jetztmenschen unterschieden** ist. Der Verfertiger der Primitivgeräte war ja nicht von den Geräten her auszumachen. Der andersartige Vorzeitmensch, gar Vorstufe in einer Evolution zum Jetztmenschn, wurde etwa von VIRCHOW lange bestritten.

Eine besondere Überraschung war, als **künstlerische Darstellungen** diluvialer Tiere durch offensichtlich vorzeitliche Menschen gefunden wurden. Im Jahre 1864 hob als Erstfund dieser Art EDOUARD ARMAND LARTET die Gravur eines Mammuts auf einem Knochen bei La Madeleine im Vézèretal ans Licht. Die 1879 gefundenen Höhlenmalereien von **Altamira** wurden zunächst nicht als vorzeitlich geglaubt und ihr Erschließer MARCELINO DE SAUTUOLA fand keine Anerkennung. Das änderte sich, als um 1900 in den Höhlen von Font le Gaume und Combarelles im Vézèretal ähnliche Wandmalereien entdeckt wurden.

10. Vorstellungen zur allgemeinen Erdentwicklung vor und neben DARWIN

Aus den Zeugnissen aus der organischen und der anorganischen Welt wurde auch in der ersten Hälfte des 19. Jh. versucht, ein Gesamtbild des Wandels auf der Erdoberfläche zu entwerfen. Solche Gesamtbilder wurden immer wieder versucht und die neueren werden später behandelt.

Festzustellen war, unter welchen Bedingungen sich bestimmte Gesteine gebildet hatten und unter welchen Umweltbedingungen bestimmte Lebewesen existieren konnten. Daraus ergaben sich etwa auch Aussagen über das Klima.

In England beziehungsweise Schottland sah HUGH MILLER den roten 'Old Red Sandstone' 1841 als Schutt aus einem Gebirge, der sich am Meeresboden anhäufte. Die Fischreste im Old Red Sandstone verwiesen auf ein reich belebtes Meer, die vielen Fischanhäufungen in bestimmten Schichten legten eine Katatrophe nahe.

LOUIS AGASSIZ meinte etwa 1841 (s. 1843), daß es einstmals sehr viel mehr Gewässer gegeben habe, daß sich die verschiedenen Gebirge allmählich emporhoben, damit eine immer größere Vielseitigkeit des Festlandes zustandekam und die vor dem Auftreten des Menschen erfolgte letzte große Erschütterung der Erde weitere Vielseitigkeit schuf. Ebenso dachte L. CHOULANT (1843) einst die gesamte Erde meerbedeckt. Dann erst erhoben sich aus dem Meer einzelne Inseln, sank das zunächst herrschende Tropenklima und trat mit der Abkühlung eine neue Pflanzenwelt in Erscheinung.

Veränderungen während der Erdgeschichte sollte auch die **Atmosphäre** erlitten haben, ein seit dem 18. Jahrhundert bis in die Gegenwart erfolgreich vertretener Gedanke. Einst solle, etwa nach DE BEAUMONT, die Atmosphäre **dichter** gewesen sein. Das würde nach AUGUST JOSEPH CORDA bezeugt werden durch das stärkere innere Respirationssystem der fossilen Pflanzen im Vergleich mit den gegenwärtigen.

Die Temperaturverminderung infolge der allmählichen Erdabkühlung wurde immer wieder bemüht, Umbildungen zu begründen. CARL FRIEDRICH NAUMANN schrieb 1850 im ersten Bande seines 'Lehrbuch der Geognosie' (S. 812 / 813): "Da nun aber seit jenem ersten Auftreten einer Thier - und Pflanzenwelt nicht nur die Temperatur einer fortwährenden sehr langsamen Verminderung unterlag, sondern auch die Vertheilung von Wasser und Land, vielleicht auch die chemische Zusammensetzung des Meerwassers und der atmosphärischen Luft wiederholten Veränderungen unterworfen waren, und da solche Veränderungen in den Grundbedingungen des organischen Lebens gleichmässige Umgestaltungen der organischen

Natur selbst zur Folge haben mussten, so können wir erwarten, dass die Thier- und Pflanzenwelt von den ältesten Zeiten bis auf den heutigen Tag verschiedene Stadien der Entwicklung durchlaufen hat...”

Von großem Einfluß sollte der vermutlich einst **höhere Gehalt an Kohlendioxid** gewesen sein, eine Auffassung, die mit besserer Begründung auch später wieder aufgegriffen wird. So habe der Kohlendioxidgehalt nach BRONN (1858) einst die Entwicklung der Lebewesen behindert, bis durch seine Senkung und die Temperaturabnahme neue Lebewesen entstehen konnten.

Eine Rekonstruktion der aus den Gesteinen, vor allem aus den Sedimenten und ihren Einschlüssen ablesbaren Geschichte bot 1860 FERDINAND Freiherr von RICHTHOFEN als Fazit seiner Kartierungsarbeiten in Süd-Tirol in den Alpen. Vor dem Trias mußte das Gebiet für lange Zeit Festland gewesen sein. Es fehlten Ablagerungen aus den vorangehenden Formationen. Dann erfolgte eine langsame Senkung in der älteren Triaszeit. Plötzlich erscheint die regelmäßige Ablagerung der älteren Trias unterbrochen. Die Verbreitung der Sedimente ist geringer als vorher, es erscheinen 'Zerreissungen und Verwerfungen der älteren Schichtensysteme'. Danach senkt sich das Gebiet erneut. Jetzt kommt es auch zu dem Wachstum der Korallenriffe, die von RICHTHOFEN in großen Kalkklötzen sieht, die aber andere Geologen zunächst bezweifeln. Es folgt eine zweite Hebung.

Von Mitteleuropa aus die großen Züge der Erdgeschichte zu rekonstruieren erschien MELCHIOR NEUMAYR 1883 gewagt. Manche Ablagerungen Mitteleuropas erschienen als 'abnorm', als einmalig, in der Welt ohne fazielle Parallele. Das galt für den deutschen außeralpinen Muschelkalk und den Zechstein beziehungsweise den ihm parallelen englischen Magnesian Limestone. In diesen Perioden wurde Mitteleuropa und angrenzende Gebiete von einem flachen Meere überflutet, das mit offenem Weltmeer aber nur in begrenzter Verbindung stand und wo also etwa im Zechstein sich die Salzlager abschieden und sich das so erdweit fast einmalige Wattenmeer bildete.

Geologen, welche nach den großen Zusammenhängen suchten, so EDUARD SUESS, verbanden die Erdentwicklung auch mit zu vermuteten Vorgängen auf anderen Himmelskörpern. Die Geologie erforschte die Geschehnisse auf der Erdoberfläche. Aber es war zu erwarten, daß auch andere Himmelskörper ihre Entwicklungsvorgänge auf ihrer Oberfläche - und natürlich auch in ihrem Inneren - aufweisen. **Die Geologie** war dann ein **Sonderfall** einer noch zu begründenden Wissenschaft **über die Entwicklungsvorgänge auf Himmelskörpern**, namentlich jenen **mit erstarrender oder schon erstarrter** Kruste. SUESS (1875, S. 160) erinnerte an von TACCHINI berichtete Beobachtungen, daß auf der Sonnenscheibe unregelmäßige Felder entstehen und auch wieder verschwinden und daß

nach Ansicht von ZÖLLNER und anderen auch auf veränderlichen Sternen dunkle Schlackenfelder sich bilden. So wäre auch die Lithosphäre der Erde erstarrt.

11. Die Entdeckung der Eiszeiten - junge und ältere

Eiszeitlandschaften und das Eiszeitalter - entscheidende Bereicherung des Bildes von der Erdgeschichte

Die "Entdeckung" der Eiszeiten bereicherte das Bild von der Erdgeschichte um ein ganz neues Moment. Die Anerkennung einst weiter Vergletscherungen berührte Grundfragen geologischen Denkens und auch der biologischen Evolution. Daß es überhaupt eine "Eiszeit" gab war nach seinerzeitigen Vorstellungen eine in der Erdgeschichte neuartige, vorher in der Erdentwicklungen nicht aufgetretene Erscheinung. Die Annahme eines "**Eiszeitalters**" mochte der **Hypothese von der zunehmenden Erdabkühlung entsprechen**. Wesentlich schwieriger war dann zu erklären, **warum die Vergletscherung wieder zurückging**. Und neben der Geologie waren es die Geomorphologie, die Landschaftskunde, die von der Erkenntnis der einst großen Vergletscherung viele Erklärungen von Land- und Landschaftsformen erhielt. Geologie, Biologie und Geomorphologie berührten sich in vielem. Wenn man statt von "Eiszeit" öfters lieber von "**Kaltzeit**" spricht, dann weil die **Temperaturabsenkung** auch viele Gebiete **außerhalb der Eis-Bedeckung** betraf. Statt der Gletscher unmittelbar wirkte sich hier die erniedrigte Temperatur aus, wenn auch nicht über alle Breiten. **Gletscher**, ob in den niederen Breiten oder in den Hochgebirgen **schwanken in ihrer Ausdehnung**, und das über längere Zeiträume sogar stark (A. PENCK 1903, S. 10). Es entsteht dann die Frage: **Ab welcher Gletscher-Ausdehnung** kann man von einer '**Eiszeit**' sprechen? Von ihrem 'Anfang' und von ihrem 'Ende'? Im heutigen Grönland oder gar in der Antarktis ist heute noch 'Eiszeit'. Wenigstens in Grönland hat die Vereisung im Spätmittelalter wieder zugenommen und mußten die Wikinger weichen oder starben aus. Historiker sprechen wegen der offensichtlichen Auswirkungen auf das Leben der Menschen auch in Mitteleuropa gar von einer "**Kleinen Eiszeit**". 'Eiszeiten' gelten wegen ihrer Hinterlassenschaften als leichter festzustellen als Warmzeiten, auf die Evaporiten also aus Meeresverdunstung entstandene Gesteine wie Gips verweisen können (M. G. RUTTEN 1962, S. 121),

Von manchen Geologen, lange Zeit etwa von LYELL, wurde die Existenz einer 'Eiszeit' im Sinne von ausgedehnten Inlandeis bezweifelt, weil sie eher katastrophistisch und nicht aktualistisch sei. Gewiß hat HANS CLOOS recht, wenn er in seinem Buch "Gespräch mit der Erde" (1959, S. 38) zu denken gibt: "Wie gut,

daß man dies heutige Eis zum Vergleich hat! Wie ständen wir da, wenn es zufällig gerade heute kein Eis gäbe, kein Inland- und Polareis, vielleicht nicht einmal Gletscher, ..." CLOOS bezweifelt, daß dann irgendein Menschenhirn sich hätte solche Bedingungen ausdenken könne, wie sie während Eiszeiten in weiten Teilen auf der Erde bestanden.

Die direkte Vergletscherung wirkte unterschiedlich je nach überfahrenem Gestein. Gletscher bewirken wie alle Massentransporte 1. eine "**Wegnahme von Material** oder Erosion im weitesten Sinne", also "Verfrachtung" (A. PENCK 1903, S. 3) und 2. "**Wiederablagerung**". Bei dem Fließen der Gletscher 3. wirken die unten eingeschmolzenen Materialien auf den Untergrund wie auf sich selbst **schleifend**, schaffen Gekritze und dazu immer "neues Schleifmehl" (S. 3), Die **Schleifwirkungen** galten als besonders wichtige Gletscherzeugen.

Die anstehenden Gesteine in Skandinavien wurden geglättet und geschliffen, so wie es aber ein **kleinerer Hochgebirgsgletscher** in geringerem Maße auch heute noch zuwegebringt. CLOOS beschrieb die zu seiner Zeit im 20. Jh. längst erkannten Folgen der einstigen Vergletscherung Skandinaviens in seinem Buch "Gespräch mit der Erde" (S. 113) sehr eindrucksvoll: "Was ist es, das da draußen an den polternden Wagen" der Eisenbahn "weich und lautlos vorüberfließt: Runde Hügel aus blankem Stein, Felsbuckel mit steilen Wänden und gekrümmten Rücken, zahllos wie eine Herde großer Schafe im Wald; von Flechten ein wenig ergraut, aber glatt wie geschliffen, hier und da glänzend poliert.

Es ist die vielgerühmte glaziale Landschaft des Nordens. Die Gletscherdecke der Eiszeit ist darübergegangen, hat den Felsuntergrund gepflügt und gehobelt und wie mit Glaspapier abgerieben, hat ihre Kiesfracht zwischen die Hügel geworfen und ist weggeschmolzen, als es ihr zu warm wurde."

Und in einem etwas ungenau-blumigen Satz: "... mit jeder Tagereise nach Norden" kam man "dem Eise und der Eiszeit um tausend Erdgeschichtsjahre näher ..." (H. CLOOS 1951, S. 126).

Die vorrückenden Gletscher, die lagerten in anderen Regionen, in weiten Teilen des nördlicheren Mitteleuropa und im Alpenvorland, **gewaltige Lockermassen** ab. Lockermassen, die man mit Zeugnissen einer Sintflut in Verbindung bringen konnte. Sie schienen keine stratigraphische Gliederung zu erlauben, so wie die schönen festen Schichtgesteine in Schwaben oder Thüringen. Die Geologen hielten sich von der Beschäftigung mit diesen doch gewaltigen Lockermassen lieber fern. Die Termini '**diluvial**' und '**Diluvium**' für Flutablagerungen waren zu dieser Zeit in Verwendung.

Der Mineraloge K. C. LEONHARD schrieb 1856 (S. 7 / 8) von einer Reise im



Abbildung 171: Eisüberformt Norwegen.



Abbildung 172: Findlings-Stadtmauer Templin.

Wagen von Dresden nach Berlin: "Ohne die zahlreichen zerstreuten Felsmassen und grossen Steine, welche in diesem stillen, so leeren Landstrich ... ein ihnen gänzlich fremder Boden trägt, ohne diese "nordischen Gäste" würde der Gedanken-Strom zerrinnen auf dem Haideland mit knappem Grase und dünner Bevölkerung ...

Sämtliche Städte der Mark sind damit gepflastert, viele alte Kirchen und Thürme daraus erbaut. In frühen Jahren schon dienten sie zu Altären, zu Opfersteinen, für andere Gott-ehrende Gebräuche, auch zu Grab- und Helden - Denkmalen. ..." Aber wie sollten sie an Ort und Stelle gekommen sein, durch eine Flut?

Abtragung und Massenablagerung - in und vor den Gletschergebieten erscheinen sie in großem Maße. Und weit im **Vorland** wirkte gemäß aller Feststellung die **kalte Witterung**, der häufige Frost, auch der Wechsel von Frost und Auftauen.



Abbildung 173: Backstein + Findlinge, Goldberg.



Abbildung 174: Findlingsmauer, b. Schönberg.

Aber man muß zur Gletscherwirkung ins Vorland vorsichtig denken: Im heutigen Patagonien fliegen Papageien nahe den Gletscherrändern.

Die Deutung der Dinge, das, was einst LEONHARD ohne Eiszeitwissen und mit dem Wissen von 1950 CLOOS schilderten, hat Jahrzehnte gedauert.

Die Deutung der gletscherbedingten Erscheinungen ehemals als Ergebnis reißender Strömung zu sehen war nach A. PENCKs Ansicht (1882) auch dadurch bedingt, daß man zunächst nur wenige Gletscherphänomene beschrieb, und darunter nicht einmal die wesentlichsten (A. PENCK 1882). Nach der Beachtung der auffallenden 'erratischen Blöcke', auch des kleineren angehäuften Materials sowie der geschliffenen und geschrämmten Felsoberflächen kamen erst später auch die Moränen ins Gesichtsfeld der Forscher und erst damit wurde die Existenz von Gletschern wahrscheinlicher.

Gletscher waren vielen europäischen Geologen zunächst eher ferne Gebilde gewesen. An heutigen Gletschern in den Alpen beobachtete und beschrieb im späten 18. Jahrhundert der Alpengeologe HORACE BENEDICT DE SAUSSURE (s. 1781, II. Theil, S. 222), daß sie an ihrem "äussersten Ende" und an den Seiten, "längs ihren Ufern", große Massen von Sand und Trümmern anhäufen. Die Steine längs und vor den Gletschern wurden nach DE SAUSSURE beim Herabrollen von den Bergen sowie durch den Druck des fortrückenden Eises und das Abreiben gegen den Gletschergrund und die Wände gerundet. Vom Alpenvorland in Süd-Bayern schrieb 1854 (S. 101) der Münchener Universitätsbotaniker OTTO SENDTNER in durchaus aktualistischem Vergleich mit heutigem Materialtransport durch Flüsse nach Wolkenbrüchen: "Gleiche Vorgänge begleiteten die ausgedehnten Fluthungen der sogenannten Diluvialzeit, welche unser Oberland bsi zu einer Höhe von 1700 bedeckten ... " und von diesen einstigen Flutungen "rühren die bei uns von der Donau bis in die Peissenbergerzone sich erstreckenden Diluvialkieslager her; ... "

Erratische Blöcke, 'Findlinge', in Norddeutschland und im Vorland und den gegenüberliegenden Gebirge der Alpen

Ausbreitung spezifischer Gesteine in Finnland

Noch lange ehe an eine Gletscherausbreitung gedacht wurde, hat 1739/1740 'Hofjunker' DANIEL TILAS verfolgt, wie bei Abo die Rapakiwi genannte "Steinart" in leicht zerfallenden zerreibbaren Stücken sich über ein größeres Gebiet ausbreitet und TILAS sucht den Herkunftsort zu finden. Diese Rapakiwi-Stücke sollen "Auswürfe" sein, die "nahe ney ihrer" anstehenden "Bergart" , also dem Herkunftsort, "dichter" liegen "als wenn sie gesäet wären", "weiter entfernt aber immer

dünnere" (S. 236). So könne man bei erzhaltigem Gestein das Erzlager suchen.

Große Blöcke - Anregung zum Nachdenken

Die 'erratischen Blöcke', die Findlinge, das heißt Gesteinsblöcke von teilweise imponierender Größe, waren sowohl in **Norddeutschland wie in den Vorländern der Alpen bis hinauf zum Jura** Gebilde, die auf irgendein vergangenes Ereignis von Andersartigkeit, gar von großer Stärke hinwiesen. Daß diese Blöcke, früher noch nicht so großer Menge wie später irgendwie genutzt, immer wieder zum Nachdenken anregten, zeigt, wie ein Naturphänomen denkende Menschen bewegt, auch, wenn die Erklärung zunächst nicht eindeutig gelingt. Die Eigenarten dieser Blöcke, ihre Lage, ihre Oberfläche, ihre Gesteinsähnlichkeit und anderes wurden immer wieder beachtet. Die Feststellung der Eigenarten war auch theoriegeleitet, führte zu sehen, was man erwartete, hing von den geologischen Erkenntnissen anderswo ab.

Beachtung der großen Felsblöcke im Norden

Im Jahre 1794 schrieb der schon als LAMARCK-Übersetzer vorgestellt KARL FRIEDRICH WREDE über einige Phänomene im Zusammenhang mit den Blöcken im **nördlichen Mitteleuropa**, von dem schon als Vorläufer des Aktualismus die Rede war. WREDE bemerkt, daß sich die Geschiebe und die Versteinerungen wenigstens in den südbaltischen Ländern nicht in 'einerlei Erdschicht', sondern in verschiedenen Schichten befinden. WREDE fand auch, daß alle Geschiebe in einerundderselben Streichrichtung liegen. In größeren Tiefen erschienen sie ihm abgerundeter als oben. Da die Geschiebe zunehmend zerstört würden, wären sie nicht in ihren heutigen Erdschichten gebildet worden. Weder Vulkane noch Erdbeben, letzteres nach WREDE das 'beliebte Instrument aller After-Geologen' (S. 36), könnten ihre Herkunft erklären. WREDE dachte einesteils an Fluten, nicht an außergewöhnliche, die von Süden nach Norden flossen und entstanden, als die südlichen Gebirge noch höher als derzeit waren. Aber die großen Granitblöcke sollten durch Eis transportiert worden sein. Von der Roßtrappe bei Thale wären bis 200 Zentner schwere Granitblöcke losgerissen und vom Eise verfrachtet worden. WREDE liefert hierzu auch Berechnungen.

ADOLPH ERMANN (1833) hatte 1828 eine Reise von Berlin über St. Petersburg nach Sibirien angetreten, die ihn von Kamtschatka aus noch auf eine Schiffsreise um die ganze Erde führen sollte. Schon in Nord-Deutschland und dann im heutigen Estland beachtete er die Granitblöcke, die ihm in Nord-Deutschland mehr



Abbildung 175: Findlinge Dobbin.

zertrümmert und vielgestaltiger erschienen, in Livland einheitlicher. Sie sollten die **Reste eines zerstörten Gebirges** sein. ALEXANDRE BRONGNIART beschrieb die erratischen Blöcke **Schwedens** 1828 und ging **auch auf Oser** (Osar) ein, langgestreckte lockere Hügel aus jüngeren Ablagerungen (R. I. MURCHISON 1846).

Die "Ortsfremdheit" von Gesteins-Blöcken - die Frage ihres Ferntransports

Entscheidend war die Erkenntnis, daß diese Blöcke generell von anderem Gestein sind als das der näheren Umgebung. Ihre deutlich werdende "**Ortsfremdheit**" war die größte Herausforderung. Ortsfremdheit wies auf Skandinavien.

Irgendein **Ausbreitungs-, ja Transportmittel** mußte gegeben sein. Daß Gesteine durch fließendes Wasser verfrachtet werden, war für kleinere Gesteinsbrocken in Flüssen durchaus bekannt geworden, so in den Alpen. Es war nun eben offen, bis zu welcher Größe Gesteinsblöcke durch fließendes Wasser, durch eine Flut vielleicht größeren Ausmaßes, transportiert werden konnten. Diese ortsfremden Blöcke führten schließlich zu Gedanken über einst größere Gletscherausdehnung. Aber bis in die 70er Jahre des 19. Jh. haben die meisten Geologen angenommen, daß selbst die großen ortsfremden Gesteinsblöcke durch gewaltige Wasserfluten im Sinne von flüssigem Wasser, nicht dem gefrorenen Wasser 'Eis', das Transportmittel war.



Abbildung 176: Findling. Lobber Ort.

Die "Ortsfremdheit" der Blöcke - im Alpengebiet

Wie in der norddeutschen Tiefebene beeindruckten auch im Vorland der **Alpen** und namentlich auch im Jura Gebirge in der westlichen Schweiz die Blöcke. Hier wurde besonders ihre Fremdherkunft offenkundig. Die Blöcke waren **offenbar von den Hochalpen weggetragen** worden. Nach DELAMETHERIE (1797, II, S. 226) traf man auf den Höhen des Jura Blöcke vom Montblanc. Zwischen den Granitfelsen der Alpen und den Kalkbergen des Jura liegen jedoch "tiefe Täler" und durch diese hinweg mußten die Blöcke getragen worden sein. Im europäischen Flachland wurde andererseits an einigen Stellen deutlich, daß solche ortsfremden Blöcke vor allem an den "Abendseiten" der Gebirge, also an ihren Nordseiten ruhten. Das galt an den Waldaihöhen im nördlichen Rußland wie auch in der Umgebung von Moskau und St. Petersburg. Im Jahre 1816 interessierte sich der Kgl. Preußische Kriegs- und Domänenrat FRIEDRICH MEYER (1818) für die großen Gesteinsblöcke an dem den Alpen zugewandten Südhang des Jura-Gebirges. Die Gesteinsblöcke fanden sich zu einem großen Teil in einer bestimmten Höhe und im wesentlichen gegenüber den von der Zentralkette der Alpen herabführenden Haupttälern. Das Gestein der Blöcke stimmte mit Gesteinen der Alpenkette überein, bestand also etwa aus demselben Granit, wie der vom Montblanc-Massiv her bekannt war. Auf alpenabgewandten Jurahängen fehlten solche Blöcke. Da diese Blöcke nicht abgerundet sind, hätte normales fließendes Wasser sie nicht an ihre Standorte am Jura transportieren können. Gegenüber dem Gedanken, daß diese Gesteinsblöcke durch eine Explosion zerstreut worden sind, bemerkte MEYER richtig, daß sie dann ganz anders hätten zerstreut werden müssen. MEYER rechnete mit einer großen Flut über die Alpen hinweg. Große Blöcke finden sich auch ansonsten in Alpentälern. Gletschertransportiert?



Abbildung 177: Gletschertransportiert? Zermatt.



Abbildung 178: Gletscherüberfahren. Tatra.

Felsen vor zurückgezogenen Gletschern weisen oft Schleifspuren auf.

Ortsfremdheit auch im Norden

Wie sehr die Ortsfremdheit der Gesteinsblöcke das Denken der Forscher bewegten und keine befriedigende Lösung gelang, läßt GOETHE in seinem 'Faust' einmal den Mephisto sagen (zitiert etwa bei O. WILCKENS 1909):

”Noch starrt das Land von fremden Zentnermassen;

Wer gibt Erklärung solcher Schleudermacht?

Der Philosoph, er weiß es nicht zu fassen,

Da liegt der Fels, man muß ihn liegen lassen,



Abbildung 179: Findling Markgrafenstein.

Zu schanden haben wir uns schon gedacht. - ”

GOETHE war ansonsten einer der frühen Anhänger der Eiszeitauffassung.

Wiederum in **Norddeutschland** verwies F. HAUSMANN auf die Nord-Südrichtung, in welcher die erratischen Blöcke offensichtlich transportiert worden waren und bewies, ein Kenner der Gesteine, namentlich 1827 ihre **skandinavische Herkunft** (W. FISCHER 1969). Einzelne aus dem Untergrund aufragende ältere **anstehende Gesteine** (F. HOFFMANN 1928, S. 119) gab es gewiß auch in Norddeutschland, so der in der Umgebung von Berlin der Sperenberg, der Muschelkalk von Rüdersdorf, Kreide bei der Müritz, aber sie reichten nicht aus, bei den erratischen Blöcken an ”die Reste eines an Ort und Stelle zerfallenen älteren ’Gebirges’ zu denken, aber ”desto willkommener muss uns unstreitig eine jede Kunde von anstehenden Massen fester Gesteine seyn”, die also F. HOFFMANN 1828 (S. 109) noch nicht aufgegeben hatte.

Schleifspuren auf anstehenden Felsen in Schweden: SEFSTRÖM

NILS GABRIEL SEFSTRÖM (1836), ab 1820 Lehrer an der neuen Bergbauschule in Falun, 1831 Zweitentdecker des metallischen Elementes Vanadium, erregte Aufmerksamkeit durch seine vor 1836 durchgeführte Untersuchung der **Schleifspuren** an **Felsen in Schweden**, die ”er ... über einen so grossen Theil von Schweden verfolgt hat” (VON BUCH 1838/1885, S. 510), wo die Oberfläche des Urgebirges ”gereinigt” war (SEFSTRÖM 1836). Es war dies eine aufwendige, viel Geländebegehung erfordernde Arbeit, wie sie vielleicht mit der Feststellung der Einregelung abertausender Mineralien im Riesengebirge durch CLOOS im 20. Jh



Abbildung 180: Gletscherfront/Großglockner 1997.

durchgeführt wurde. Bei SEFSTRÖM erschien auffällig: Auf vielen Felsen liefen die Schleifspuren in der Richtung von NNO nach SSW. Und was wußte man nun? SEFSTRÖM führte die Schleifspuren auf eine Wasserflut zurück, einen 'Strom' von längerer Dauer, älter als die Zeit der Verbreitung der großen erratischen Blöcke. Auch 'Äser' und Riesentöpfe hat er beobachtet. Immerhin war man auf ein Phänomen aufmerksam gemacht worden, das weiteren Nachdenkens wert erscheinen mußte. Und SEFSTRÖM wünschte, daß auch in anderen Ländern nach diesem Phänomen gefahndet würde.

Frühe Gedanken über einst größere Gletscherausdehnung in den Alpen und ihr Vorrücken ins Vorland - erste Eiszeit-Vorstellungen

Die Glazialhypothese oder Glazialtheorie begann mit der Auffassung, daß die Alpengletscher einst weiter als in der Gegenwart in die Täler hineinreichten. Lokale Ursachen, so eine einst größere Höhe der Berge, erschienen als Ursache denkmöglich. Solche weitere Ausdehnung der Gletscher bedeutete jedoch nur eine begrenzte Verstärkung dessen, was heute noch an Gletschervorkommen zu beobachten war.

Weiter gingen dann Geologen, die aus einschlägigen Zeugnissen **auch Gletscher für Gebiete** ableiteten, in denen solche **heute fehlen**, etwa in Mittelgebirgen. Damit wurde eine doch einst umfassendere Vergletscherung der Erde abgeleitet.

Eine in der Vergangenheit weitere Gletscher-Ausdehnung wurde zunächst in den **Alpen** abgeleitet. Vieles über die **Wirkung von Gletschern** wurden im **Alpenraum** erkannt und entscheidene Begriff hier geprägt. Die **Eiszeit-Vorstellung** hatte **im Alpenraum einen Vorsprung** jedenfalls vor dem übrigen Mitteleuropa.

Die heute auf dem den Alpen gegenüberliegenden Jura-Gebirge liegenden großen

erratischen Blöcke alpiner Gesteine sollten durch einst bis dahin reichende Gletscher transportiert worden sein. Das vertrat IGNAZ VENETZ (H. BALMER 1970). Geboren am 21. März 1788 in Visperterminen in der Familie eines Gewerbetreibenden, erhielt der begabte IGNAZ VENETZ eine Ausbildung auf dem Jesuitenkollegium in Brig, aber mit dem Einmarsch der Franzosen fesselten ihn deren Kriegsingenieure und er wurde schließlich Walliser Kantonsingenieur. Er wirkte für Maßnahmen bei Täler bedrohenden und Wassermassen aufstauenden Gletschern und beim Ausbau von Tälern unter Berücksichtigung des Schutzes vor Hochwasser. VENETZ bekam also Erfahrungen über Gletscher und vor ihren heutigen unteren Enden liegende Zeugnisse. Im Jahre 1817 wurde auf der 3. Tagung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Zürich 1817 wurde über das Vorrücken von Gletschern gesprochen und gerade von VENETZ war seit 1816 auch der Transport von Gesteinsblöcken auf und in Gletschern erwähnt worden. Auch sich zurückziehende Gletscher wurden festgestellt. Im Frühjahr 1829 behauptete VENETZ, daß einst das ganze Wallis von einem Gletscher erfüllt war, der sich über den Genfer See bis zum Juragebirge erstreckte. Eine zweite Schrift von VENETZ erschien nach seinem Tode 1861. Gestorben war VENETZ am 20. April 1859 in Sitten, nachdem er sich offenbar durch Planungsarbeiten in sumpfigem Gelände eine Lungenentzündung zugezogen hatte.

Zunächst hat JEAN DE CHARPENTIER (H. BALMER 1969) die Auffassung von VENETZ über die einst weitere Gletscher-Verbreitung abgelehnt, wurde aber von VENETZ bekehrt und der Bekehrte, ging in seinen Vorstellungen sogar noch etwas weiter als VENETZ. JEAN DE CHARPENTIER war der Sohn des in den 70er Jahren des 18. Jh. Sachsen bereisenden JOHANN FRIEDRICH WILHELM VON CHARPENTIER, der an der Bergakademie Freiberg gelehrt hatte. Der spätere Schweizer JEAN DE CHARPENTIER wurde demgemäß in Freiberg/Sachsen geboren, am 7. Dezember 1786. Er konnte bald Interesse an Bergwerken gewinnen, besuchte das Gymnasium in Schulpforta, studierte an der Freiburger Bergakademie und lernte dann weiter bei seinem Bruder TOUSSAINT DE CHARPENTIER in schlesischen Kohlenbergwerken. Mit 22 Jahren ging JEAN DE CHARPENTIER in ein Kupferbergwerk in den südwestlichen Pyrenäen auf französische Seite und bereiste große Teile dieses Gebirges. Durch Vermittlung eines ehemaligen Mitschülers wurde ihm 1813 in dem von Bern unabhängig gewordenem Waadt die Leitung des Salzbergwerkes in Bex an der Rhone übertragen. JEAN DE CHARPENTIER konnte das Vorkommen besser ausnutzen und blieb im Orte Devens bei Bex 42 Jahre lang bis zu seinem Lebensende am 12. September 1855. Wie VENETZ und teilweise mit ihm zusammen leitete er Flußbauten. Daß der Transport der großen erratischen Blöcke durch Gletscher erfolgt sein konnte, erfuhr JEAN DE CHARPENTIER 1815 als Meinung eines Bauern, PEROTIN (PERRAUDIN). Im Frühling 1829 erklärte ihm VENETZ seine Ansicht, daß einst das gesamte

Wallis von Gletschern bedeckt war. Im Jahre 1834 trug CHARPENTIER vor der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Luzern die Meinung vor, daß der Rhonegletscher einmal bis zum Mittelland reichte. CHARPENTIER hat systematisch Exkursionen unternommen, um die äußerste Linie der erratischen Blöcke aus den Alpen in einer geographischen Karte von der Schweiz einzutragen. Hauptwerk CHARPENTIERs zu seinen Ansichten war 1841 "Essai sur les glaciers et sur le terrain erratique du bassin du Rhône".

Zu den Freunden von CHARPENTIER gehörte auch der eigensinnige KARL FRIEDRICH SCHIMPER (R. LAUTERBORN 1934, S. 80/81), der im Winter 1835/1836 in München Vorträge gehalten hatte über den Wechsel von "Wetsommern und Weltwintern" hielt und bald die Meinung von einer erdweiten Eiszeit vertrat. 1836 Teilnehmer an der Schweizer Naturforscherversammlung in Solothurn durchwanderte SCHIMPER dann den Jura und den Schwarzwald und war dann bei CHARPENTIER in Bex. Im Dezember 1836 ging SCHIMPER zu AGASSIZ in Neuenburg/Neuchâtel. In der Zeit bis Mai 1837, als er von AGASSIZ wegging, suchte SCHIMPER Gletscherspuren im Alpenvorland, war also nicht nur der weltferne Phantast. Auf "einsamen Wanderungen" fand er Gletscherschliffe im Jurakalk "am 10. Dezember bei Landeron, unweit Neufville am Bieler See" (R. LAUTERBORN 1934, S. 81).

Und zu den weiteren guten Bekannten J. DE CHARPENTIERs und ebenfalls zu den Anhängern von früher ausgedehnter Vergletscherung gehörte auch CHARLES ADOLPH VON MORLOT (v. GÜMBEL 1885). Er stammte aus einer Berner Patrizierfamilie, studierte besonders unter STUDER an der Universität Bern, studierte in Paris und an der Bergakademie Freiberg. In Freiberg war er besonders mit B. VON COTTA verbunden. COTTA empfahl ihn auch nach Österreich, als dort eine geologische Landesaufnahme in Angriff genommen werden sollte. VON MORLOT beteiligte sich an der geologischen Kartierung in den Alpen, war 1851 bis 1854 Professor in Lausanne, wandte sich dann aber der Vorgeschichte zu und durchwanderte zu vorgeschichtlichen Studien die Schweiz, Deutschland und forschte besonders in Dänemark. Am 10. Februar 1867 "überraschte den reich begabten, aber durch eigenthümliche Lebensgewohnheiten absonderliche Mann der Tod" (v. GÜMBEL 1885) in Bern.

Von der Erkenntnis der Alpen- und Voralpen-Vergletscherung aus wurden wichtige Begriffe eingeführt: 1842 der Begriff "**Grundmoräne**" / "moraine profonde" durch CHARLES MARTIN (R. LAUTERBORN 1934, S. 87). Viel später, 1873, immerhin noch 2 Jahre vor der Anerkennung des Inlandeises für Mitteleuropa, gebrauchte EDUARD DESOR den Ausdruck '**Moränenlandschaft**' für die von Moränen geprägten Gebiete nördlich und südlich der Alpen (S. 129).

Ortsfremde Geschiebe in Skandinavien und im nördlichen Mitteleuropa - Überlegungen nach etwa 1840

Auf die vielen erratischen Blöcke und den 'Detritus' machte dann auch MURCHISON (1849 b) in Schweden und dem Baltikum aufmerksam. Aber gerade MURCHISON verwarf (1846) die Annahme, daß Gletscher diese Ablagerungen und Erscheinungen hervorgebracht haben und sah ebenfalls die Wirkung von Wasserfluten.

Wiederum in **Mitteleuropa** veröffentlichte ERNST FRIEDRICH GLOCKER 1854 seine Untersuchungen über die 'nordischen Geschiebe der Oderebene um Breslau' und ließ seinen Blick auch weiter über Schlesien schweifen. GLOCKER war an der Universität Breslau 1818 Dozent, 1824 Extraordinarius, 1832 Ordinarius der Mineralogie geworden und wirkte auch am Breslauer Magdalenen-Gymnasium. Seit 1854 lebte GLOCKER näher an Mitteldeutschland in Halle / Saale, Görlitz und anderswo. Daß die **Geschiebe** in Schlesien nur von Norden gekommen waren, erschien GLOCKER offensichtlich. Südlich des Riesengebirges, etwa in Böhmen, fehlten sie. Als Transportmittel nahm er eine im Süden an den Sudeten gebrochene Flut an, eventuell eine Beförderung auf Eisschollen im Sinne der Drifttheorie. GLOCKER betonte, daß die Geschiebe unterschiedlichster Art durcheinanderliegen und zog daraus die Schlußfolgerung, "dass die Gesteine ...lange Zeit in einem gewaltigen Gewässer herumgewälzt worden und dann untereinander abgesetzt worden sind" (S. 418).

In den 60er Jahren des 19. Jh. gab es schon eine umfangreiche **Geschiebeforschung** und wurden in Breslau, Berlin (F. ROEMER 1862, 1885) und Kiel (A. PENCK 1879) materialreiche **Geschiebesammlungen** angelegt. Eine reiche Geschiebesammlung hinterließ in Berlin der Seminarlehrer KARLFRIEDRICH KLÖDEN. Im Rahmen der 'Drift'-Theorie war die Ermittlung der Geschiebeherkunft schließlich ebenso wichtig wie sie später für die Eiszeitforschung mit der Annahme der Riesengletscher wurde. F. ROEMER in Breslau beschrieb 1862 die fremden Sedimentärgeschiebe in der norddeutschen Ebene und konnte die Herkunft vieler auf Grund ihres Fossilgehaltes wahrscheinlich machen. Man liest bei ihm, der 1862 (S. 576) und später Anhänger der Drifttheorie war, wie bei einem späteren Quartärgeologen: "Ist einmal das Ursprungsgebiet der verschiedenen Arten von sedimentären Diluvial-Geschieben festgestellt, und ist gleichzeitig ihr engerer oder weiterer Verbreitungsbezirk in der norddeutschen Ebene begrenzt worden, es ist damit ein wichtiges Material für die Beurtheilung des erratischen Phänomens überhaupt gewonnen - und namentlich erzielt sich für die Bestimmung der genauen Richtung, in welcher die Fortbewegung der Massen von Norden gegen Süden statt gefunden hat, ein festes Anhalten". "Die Mehrzahl dieser Sedimentärgeschiebe

in der norddeutschen Ebene", schrieb er, "stimmte mit bekannten Ablagerungen der skandinavischen Halbinsel und der russischen Ostsee-Provinzen so vollständig" überein, "dass ihr Ursprung unbedenklich aus jenen Gegenden abgeleitet werden" durfte (S. 575). Untersilurische Kalke gab es eben auf den schwedischen Inseln Oeland, auf Gotland und in den russischen Ostseeprovinzen, so viele geologische Kenntnis war vorhanden. Von dorthier wurde die Herkunft von Blöcken mit Fossilien des Untersilur in der norddeutschen Ebene angenommen. Die 'diluvialen' Kreidegeschieben wiesen auf die dänischen Inseln und norddeutsche Kreidevorkommen. ROEMER vollendete das in einem umfangreiche großformatigen Werk über die diluvialen nordischen Sedimentärgesteine, also vor allem die Fossilien enthaltenden. Der schwedische Geologe J. G. O. LINNARSSON (1873) fand auf seiner Reise im Sommer 1872, daß die silurischen Geschiebe im norddeutschen 'Diluvium' zum allergrößten Teil aus dem Gebiete der heutigen Ostsee stammen, wo sie noch etwa auf Öland, Gotland und Ösel anstehen. Ein nicht unbedeutender Teil der Ostsee, meinte J. G. O. LINNARSSON (1873, S. 677) sollte durch "Wegschwemmung silurischer Ablagerungen entstanden sein". In Greifswald trugen DEECKE und COHEN unter Einbeziehung von Bornholm mit seinem felsigen Untergrund eine Sammlung von anstehendem Gestein aus Skandinavien zusammen (G. KATZUNG et al. 2004, S. 3, H. WEHRLI 1956, S. 497), mehr als 2.000 Proben, die 'Nordische Sammlung', um Gestein aus dem Norden mit den Blöcken in Pommern vergleichen zu können. Es gab auch eine 'Gesellschaft für Geschiebekunde'.

Auch **Botaniker** sahen eine **einstige** andere, vor allem auch **kältere Periode** und versuchten davon ausgehend Phänomene der Vegetation zu erklären. Der schwedische Botaniker FRIES (Abhandlung an HORNSCHUCH 1848, S. 86) sah auf den Rollsteinen einer vergangenen Zeit die **Waldmoore** aufliegen und unterschied in diesen 'bestimmt geschiedene Lager', in denen von unten nach oben "Zitteresche" / *Populus tremula* - also Zitterpappel, Föhre / *Pinus sylvestris*, Eiche / *Quercus robur*, Erle / *Alnus incana* "vorherrschender Waldbaum" gewesen sind und "jetzt" die Buche / *Fagus sylvaticus* "immer weiter nördlich" vordringt. Das ist also schon so etwas wie eine 'nacheiszeitliche Waldgeschichte'. 1860 sprach Breslaus führender Botaniker, FERDINAND COHN, einer der ersten jüdischen Professoren, wie die heutige Pflanzenwelt in Schlesien einwanderte oder sich anders verbreitete nach der "Diluvialperiode", in welcher das damalige Meer auch den "Fuss unserer schlesischen Gebirge" bespülte. Kälteliebende Pflanzen zogen auf die Gebirgshöhen, die es ja auch in Schlesien gab, andere Pflanzen wanderten mit der Erwärmung ein. Noch ist der Wanderungsprozeß nicht abgeschlossen und die Einwanderer treten zu Pflanzenvereinen zusammen dort, bis wohin sie eben bisher kamen.

Landschaftsformen, welche später als Ergebnis von Gletscherausbreitung gesehen wurden, beschrieb als einer ersten Forscher der Alpengeologie DE SAUS-

SURE und von ihm stammen die Ausdrücke "Moräne" und "Sérac" (M. PFANNENSTIEL 1940). Aber DE SAUSSURE führte diese Formen nicht auf Gletscher zurück.

Die manchen unmögliche Hypothese von einer nahezu erdweiten Vergletscherung: SCHIMPER, AGASSIZ

Eine der übertriebenen, ja verrückt wirkenden Hypothesen in der Erdgeschichtsforschung wurde von dem vernachlässigten, als gedankenreich genial gesehenen KARL FRIEDRICH SCHIMPER entwickelt und von dem LOUIS AGASSIZ 1837, 1838 der wissenschaftlichen Welt verkündet: die von einer einst **erdweiten Vergletscherung**. AGASSIZ trug das vor, in nach Berichten nicht sehr klarer Weise, am 24. Juli 1837 auf der Versammlung der Schweizer Naturforscher in Neuenburg/Neuchâtel (R. LAUTERBORN 1934, S. 84/85). AGASSIZ wurde öfters beschuldigt, fremde Ideen zu übernehmen und als eigene auszugeben, aber eine auch in den Wissenschaften organisatorische Wirksamkeit kamen ihm auf jeden Fall zu. SCHIMPER, der damals unter anderem vor allem Botaniker war, hatte 1837 gar die sperrige Ode "Die Eiszeit" verfaßt und diese und nicht eine wissenschaftliche Arbeit kam zum Druck. Er führte den Begriff "**Eiszeit**" ein. Da gab es also ein '**Eiszeitalter**' lange vor der späteren begründeteren Auffassung von einem Eiszeitalter, wie es PENCK brachte. Aber **die Idee**, die Hypothese **von einer Eiszeit** war also geboren. Von den Polen her sollte gemäß der Ansicht von SCHIMPER und AGASSIZ Eis die Erde weithin überzogen haben. Das Weltklima mußte dann viel kälter als in anderen Perioden gewesen sein. Ein Wechsel von "Belebens- und Verödungszeiten, von Welt Sommern und Weltwintern" (zit. b. R. LAUTERBORN 1934, S. 81) war auch angenommen worden. Erst **während dieser letzten erdweiten Vereisung** wären die **Alpen emporgestiegen**, hätten sich aus dem Eismantel heraus emporgehoben, der auch die aufsteigenden Alpen nun in schräger Lage noch weithin bedeckte. In SCHIMPERs Ode (zit. b. R. LAUTERBORN 1934, S. 83) heißt es:

"Tief aus dem Grund brach Alpengebirge hervor,

Brach durch die Eiswucht, ..."

Nach Meinung jetzt von AGASSIZ wären bei diesem Alpenaufstieg die auf dem Eis der Alpen liegenden Felsblöcke gerutscht und wären damit in das Schweizer Mittelland und bis auf die Höhen des Jura gelangt (R. LAUTERBORN 1934, S. 85). Die **Gletscher an heutigen hohen Bergen** der Alpen, etwa der Jungfrau, wären die **Reste des** beim Aufstieg durchbrochenen und mitgehobenen **Eismantels**. Um das in SCHIMPERs 'Ode' zu lesen, wobei mit der 'Jungfrau' der Berg

gemeint ist:

”Ureises Spätrest, älter als Alpen sind!

...

Hoch ragt die Jungfrau, welche der Kindheit noch

Stolz eingedenk stets weiße Gewänder trägt,

...”

CHARPENTIER war aber der Ansicht, die **Alpen** schon **vor** der Kälteperiode sich **herausgehoben** haben und dann erst eisverhüllt wurden (R. LAUTERBORN 1934, S. 85, Anm. 1))

Im Jahre 1838 hatte AGASSIZ an BUCKLAND geschrieben: ”daß das Eis bei jeder vollständigen Erklärung der großen Umwälzungen, welche die Erdoberfläche von Europa erfuhr, zu Hilfe genommen werden muß” (E. AGASSIZ-CARY 1886). In seinen ”Études sur les Glaciers” schrieb AGASSIZ: ”Die Oberfläche von Europa, welche früher mit einer tropischen Vegetation geschmückt und von Truppen großer Elephanten, unförmlicher Nilpferde und riesenhafter Raubthiere bevölkert war, wurde plötzlich von einem großen Eismantel verhüllt, der gleichmäßig Höhen und Ebenen, Seen und Meere bedeckte” (s. E. AGASSIZ-CARY 1886).

Wenn AGASSIZ nicht etwa in der Paläontologie schon recht brauchbare, fakten-bezogene Forschung geleistet hätte, wäre er vielleicht in manchen Wissenschaftskreisen kaum noch für ernst genommen worden. AGASSIZ hat ja später die Naturforschung in den Vereinigten Staaten von Nordamerika entscheidend stimuliert. Immerhin konnten mit erdweiter Vergletscherung alle oder wenigstens viele Geröll- und Gesteinsschutt-Ablagerungen als von Gletschern abgelagert angenommen werden (H. SCHMITTHENNER 1956). Der Gedanke einer Eiszeit fand durch AGASSIZ gewiß Aufmerksamkeit. Oder wollte AGASSIZ vor allem selbst Aufmerksamkeit?

Auf jeden Fall mußte der Phantasie eine weitere sachlichere, eingrenzendere Forschung folgen, und so kam es wie bei allen Übertreibungen in der Wissenschaft auch. Und AGASSIZ war von begründeteren Erfahrungen auch ausgegangen. Im Sommer 1836 war JEAN DE CHARPENTIER von dem noch jungen LOUIS AGASSIZ (H. BALMER 1974) besucht worden, der sich bisher vor allem als Erforscher der fossilen Fische einen Namen gemacht hatte. AGASSIZ nahm die Auffassung von der einst weiteren Ausdehnung der Gletscher an. Im Herbst 1837 besuchte er die Felsschliffe des Jura, 1838 die Gletscher am Montblanc. Auf einer Exkursion konnte auch der führende Schweizer Geologe BERNHARD STUDER 1839 für die Glazialtheorie gewonnen werden. Vor allem die Endmoränen sprachen

nach AGASSIZ für Entstehung durch Gletscher, denn durch Wasserfluten wäre ihre Bildung wenig verstehbar.

AGASSIZ war immerhin klar, daß es für seine Vorstellungen nötig war, die Eigenschaften und das Verhalten von heutigen Gletschern an Ort und Stelle zu erforschen und dazu kamen damals nur Alpengletscher in Frage. Mit 5 Gefährten hat AGASSIZ (1841) im **Sommer 1840** erstmals einen **heutigen Gletscher** eingehender untersucht, Unter den Gefährten waren EDUARD DESOR, ARNOLD H. GUYOT, BERNHARD STUDER. Mit solcher Untersuchung wurde an die Eiszeit-Frage in **aktualistischem** Sinne herangegangen. Auf dem **Aaregletscher** hatte schon HUGI eine kleine Hütte genutzt. Nun konnte auf A. VON HUMBOLDTs Vorschlag mit Mitteln des preußischen Königs FRIEDRICH WILHELM IV, dem Neuenburg noch gehörte, ein größeres Unternehmen kommen (u. a. R. LAUTERBORN 1934, S. 89 ff.). Es wurde unter einem Felsblock eine kleine Behausung, das "Hotel des Neuchâtelois", eingerichtet. Hier lebte man für Wochen. "Fünf Sommer hindurch, von 1840 - 1844" weilte dort AGASSIZ oft wochenlang, wobei an Stelle der Hütte ein bequemer Zelt zum Aufenthalt diente. Von dort her wurden Beobachtungen und Messungen auf dem Gletscher unternommen. Auch die umgebende Bergregion wurde besucht. Auf dem Gletscher wurde untersucht die Bewegung des Eises in den verschiedenen Teilen des Gletschers, indem Stangen in die Eisoberfläche gesteckt wurden, deren Verlagerung auch in den folgenden Jahren festgestellt wurde. Untersucht wurden die Eisdicke, die Temperaturverhältnisse, die Wasserzirkulation im Gletscher, im Eis lebende rote Algen und anderes. Im Herbst 1840 reiste AGASSIZ nach der Teilnahme an der Versammlung der britischen Naturforscher in Glasgow mit WILLIAM BUCKLAND in Schottland und fand hier viele Gletscherzeugnisse. Die von DARWIN beschriebenen Terrassen eines Tales, des Glen Roy, sah er als Ufer eines durch Gletscher aufgestauten Sees. Als Zeugnisse der Gletschertätigkeit nannte AGASSIZ 1841 alte Moränen, auf Felsen inmitten von Gletschern auflagernde Steinblöcke, Felsschliffe, Karrenfelder, Wasserlöcher und die Findlinge. Neben den auf die Gletscherausbreitung zurückgeführten Findlingen sah AGASSIZ (1841, S. 16), daß "die sogenannten Waschflächen des Jura ...denselben Ursachen ihr Dasein verdanken, wie die Felsenschliffe der Alpenthäler, nämlich dem Eise".

Seine eigenwillige Ansicht schien AGASSIZ' bewiesen zu haben, indem er mit dem ihm zusammen reisenden CHARLES FREDERIC HARTT auf der Thayer-Expedition 1865 / 1866 Ablagerungen und andere Zeugnisse in **Brasilien** als Gletscherhinterlassenschaft deutete (W. R. BRICE 2001). AGASSIZ war seit 1846 in den USA und wurde einer der Begründer der Naturwissenschaften in den USA. HARTT hat sich später von der Annahme einer Vergletscherung Brasiliens distanziert, AGASSIZ zuletzt darüber geschwiegen. O. FRAAS deutete 1867 den

Trockenschutt im Sinai als Moränen (H. SCHMITTHENNER 1956).

Von der **Annahme einst weiter ausgedehnter Lokalgletscher** bis zur Annahme einer allgemeinen **erdweiten Eiszeit** war gewiß ein weiter Sprung, und aus den einstmals größeren Lokalgletschern war nicht unbedingt die erweiterte Auffassung der erdweiten "Eiszeit" zu begründen (s. a. A. PENCK 1882). AGASSIZ' Spekulation über eine erdweite Vergletscherung fand bald berechtigte Kritik. JEAN DE CHARPENTIER fragte etwa, warum ausgerechnet gegenüber dem großen Rhonetal die Felsblöcke ihren höchsten Punkt auf dem gegenüberliegenden Jura finden. Aus kleineren vergletscherten Tälern konnte das Eis offenbar den Jura nicht erreichen und ihnen gegenüber fehlen Felsblöcke auf dem Jura. CHARPENTIER wollte nicht über eine Vereisung der Schweiz hinausgehen, die nicht in den sich ausbreitenden Gletschern der Alpentäler ihren Ursprung hatte.

Die eigenwillige Hypothese von AGASSIZ und die "Eiszeit"-Phrase von SCHIMPER haben immerhin dazu geführt, daß man **Gletscher-Zeugnisse** an allen möglichen Stellen sah, **einen Blick dafür bekam**, etwa im englischen Lake District (D. OLDROYD 1999) Allerdings sah man Gletscherzeugnisse auch dort, wo das später wieder aufgegeben wurde.

Felsblöcke von Eisschollen-Transport: die Drift-Theorie LYELLS

Eine im Sinne der aktualistischen Auffassung durchaus vernünftige Ansicht über den Transport großer Gesteinsblöcke bot LYELLS '**Drifttheorie**'. Man kann sie als Reaktion auf die wieder katastrophistische Hypothese von AGASSIZ sehen (D. OLDROYD 1999). Wo sich ortsfremde Gesteinsblöcke befinden sollte einst Meere gewesen sein. Auf diesem einstigen Meere über Mitteleuropa und anderen Teilen Europas schwammen nach LYELLS Vorstellung große Eisschollen sowie Eisberge.

Auf diese Eisberge waren beim Abbruch die großen Blöcke von fernen Küsten geraten. Schmolzen die Eisberge und Eisschollen, so sanken die auf ihnen transportierten Felsblöcke zum Meeresgrund. Dieser Meeresgrund wurde später gehoben, ein Vorgang der große Teile Europas betroffen haben mußte. Dann lagen die abgesunkenen großen Blöcke auf dem gehobenen flachen Land. LYELL hatte in Nordamerika an größeren Strömen festgestellt, daß etwa im Frühjahr auf schwimmenden Eisschollen in der Tat Gesteinsblöcke mitgeführt wurden und bei deren Schmelzen in das Flußbett oder an die Ufer sanken. Daraus auf einen ähnlichen Vorgang in einem so weiten Gebiet wie der späteren norddeutschen Tiefebene zu schließen, war vielleicht etwas zu weit von der aktualistischen Betrachtung wegführend. Nirgendwo in den angeblichen Meeresablagerungen der norddeutschen Lockermas-

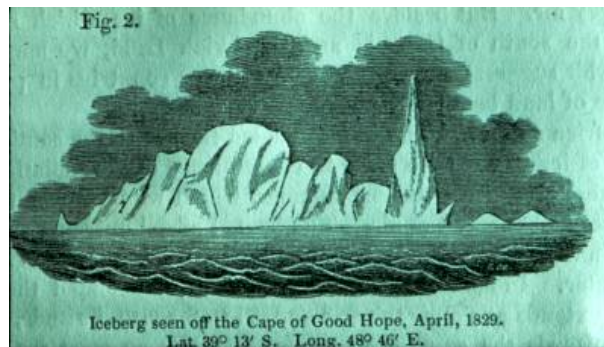


Abbildung 181: LYELL Drifttheorie.

sen mit ihren Geschieben fanden sich auch Meerestiere. Meeresbodensenkungen und -hebungen waren in LYELLs Aktualismus andererseits schließlich eine zentrale Annahme. Wenn also Mitteleuropa noch einmal von einem Meer bedeckt war, dann war das ein für die Erdgeschichte eher normales als an-aktualistisch exceptionelles Ereignis. Und zu LYELLs Zeiten kamen Eisberge auf dem Atlantik bis zu 40° n. Br. nach Süden. Der anzunehmende Klimawandel hin zu einer Kälte, die Eisberge weiter nach Süden treiben ließ, hielt sich in Grenzen, sprengte nicht die aktualistische Vorstellung. Die theoretischen Zusätze für die Erklärung der Ablagerung der ortsfremden Blöcke bis in das Herz Europas hielt sich in in aktualistisch vertretbaren Möglichkeiten (CHR. HAMLIN 1982). Es wurde bei FORBES auch angenommen, daß die Blöcke bringenden Eisschollen auf einem kalten Meere, einem 'Eismeere', flottierten, also durchaus 'Eiszeit' war, ohne wirkliche Gletscher bis nach Mitteleuropa. Von irgendwo mußten die Eisschollen ja herkommen, und dort war Gletscherland, wie Grönland heute.

Die Drifttheorie wurde wenigstens bis in die Mitte der 70er Jahre des 19. Jahrhunderts von bedeutenden Geologen vertreten, so von in Sachsen H. CREDNER (1871, 1872). Bei ihm heißt es in einem Vortrag über das Meer über der norddeutschen Tiefebene so schön und wissend selbstgewiß (1871, S. 14): "Auf ihm tummelten sich zahllose Eisberge, welche den Gebirgen Skandinaviens, damals noch eine von Gletschern hoch bedeckte Insel, entstammten und mit Schuttmassen aus deren Innerem beladen waren. Nordische Strömungen bemächtigten sich ihrer und trieben sie an die flache Küste des damaligen Europas, wo sie strandeten, schmolzen und die Steinlasten, welche sie über's Meer getragen als Denkmäler ihrer weiten Fahrten hinterließen."

Der Terminus "drift"/"Drift" wird in Nordamerika für alle Gletscherablagerungen verwendet (A. P. COLEMAN 1926, S. 4), erscheint auch bei A. GEIKIE als "Glacial Drift" für den Transport der Blöcke durch Landeis.

Stärkere Veränderungen des Weltklimas und damit verknüpfte Eiszeiten diskutierte JAMES CROLL. Damit wurde die Eiszeitauffassung ein Teil der Auffassungen von weiten klimatischen Veränderungen. Gegen die weltweite Eiszeit und mit der Vorstellung verbundene Übertreibungen etwa bei AGASSIZ verstärkten auch die Skepsis, zumal der strenge LYELLsche Aktualismus die Geologen beherrschte.

Weitere Annäherung an eine begründete Auffassung einst größerer Vergletscherungen

Auch heute gibt es riesige vergletscherte Gebiete: Antarktis, Grönland

Daß riesige, allerdings für nicht unbedingt als zusammenhängend gesehene Landgebiete eisbedeckt sind, wurde im Süden deutlich für die **Antarktis**. Hier hatte sich 1841 Sir JAMES CLARKE ROSS mit seinen Schiffen 'Erebus' und 'Terror' der 50 Meter hohen und etwa 750 Km langen Eiswand der dann auch ihm benannten Rossbarriere genähert. Im Norden wurde kurz nach der Mitte des 19. Jh. allgemeiner bewußt, daß **ein Territorium wie** der größte Teil von **Grönland**, von **Inlandeis bedeckt** sein kann, beschrieben etwa von HINRICH JOHANNES RINK (R. BROWN 1871), dem langjährigen danischen Königlichen Inspektor in Süd-Grönland. RINK besuchte an etlichen Stellen die Außenlinie des Inlandeises und stieg, wie vor ihm und bald danach einige andere, für etliche Stunden bei Jakobshavn im Mai 1851 auf das Eis. Er hielt Grönland allerdings für einen Archipel, dessen einzelne Inseln von dem Eis gemeinsam überdeckt sind. Etwa 1884 faßte RINK (S. 43) zusammen, daß man für Grönland jetzt annehmen dürfe, "daß der Rand des Binneneises in seiner ganzen Ausdehnung von Süden nach Norden als zusammenhängend nachgewiesen ist." Ein "Seitenstück" zu dieser Eisausdehnung wäre "auf der nördlichen Halbkugel wohl nur in der Vorzeit der europäischen Glazialzeit zu suchen", also wurde die ganze Größe des Grönlandeises erst nach der Anerkennung der Vergletscherung großer Teile Europas in der Glazialperiode voll anerkannt.

Gletscherspuren in weiten heute gletscherfreien Regionen

Für die sachliche Erdgeschichteforschung wichtig waren Feststellungen über **Gletscher in heute gletscherfreien Gebieten**.

Einen sachlichen, aber von den Geologen anderswo wohl zu wenig ernst genommenen **zoologischen Beitrag** zur Diskussion um eine Eiszeit trug 1839 der Zoologe

SVEN LOVÉN in der schwedischen Akademie der Wissenschaften vor (F. WAHNSCHAFTE 1901). Hoch über dem heutigen Meeresspiegel hatte er in Bohusland Muschelbänke untersucht und ihre Zusammensetzung aus gegenwärtig nur in der Arktis vorkommenden Muschelarten festgestellt, was ein Zoologe wie LOVÉN finden konnte, der sowohl die Muscheln an den heutigen südlichen Küsten Schwedens wie die in arktischen Gewässern kannte. Es war die Schlußfolgerung zu ziehen, daß ehemals ein Eismeer die Küste auch des südlichen Skandinavien bespülte. Milderes Klima ließ das Polarland im südlichen Schweden wieder verschwinden. Später, 1861, berichtete LOVÉN über sonst auch im arktischen Bereich vorkommende Krebsarten in schwedischen Binnenseen, so dem großen Wetter-See und dem ebenfalls großen Wener-See, Krebsarten, die als "**Relikte**" einer früheren kälteren Klimaperiode anzusehen waren. Am Firth of Clyde in Schottland fand JAMES SMITH (A. GEIKIE 1924) Bänke von Muschelarten wie jene im heutigen Nordnorwegen weit über dem heutigen Meeresspiegel, die aus noch relativ junger Zeit stammen mußten.

Schliffe und Glättungen auf Felsen fern heutigen Gletschern wurden schon vor allgemeiner Anerkennung der Eiszeit"lehre" in **Sachsen** beachtet, um 1848 auf den Porphyrkuppen der Hohburger Berge nördlich der Stadt Wurzen, östlich von Leipzig (C. F. NAUMANN 1848). Es war der mit 207 m NN Höhe angegebene **Kleine Berg bei Hohburg**, in der 'Hohburger Schweiz', dessen dichter Laubwald in dem von außen sanft geschwungenen Hügel die im Inneren zum Teil vorhandenen Steilabstürze der Quarzpophyr-Klippen kaum ahnen läßt. Nahe dem Gipfel liegt jene Felspartie, an welcher der sie mit C. F. NAUMANN besuchende Schweizer MORLOT Gletscherspuren zu erkennen meinte. Heute jedenfalls waldfrei sind sie, schon wegen der relativen Höhe, die mit eindrucksvollsten, als Geotop geschützten Vergletscherungsspuren in Sachsen, Über eine solche hochragende Klippe ist der Gletscher, wohl der Saale-Eiszeit, hinweggeglitten, wobei vielleicht eine allgemeine nacheiszeitliche Landhebung das heutige Höhenbild vielleicht mitbestimmt hat. NAUMANN sagte 1847 in der öffentlichen Sitzung der Kgl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften über von ihm mehrfach besuchte Klippen in den Hohburger Bergen, daß es kaum etwas gibt, das wegen der "Grossartigkeit ihres Maasstabes" und der "Gesetzmäßigkeit ihres Vorkommens und durch die räthselhafte Natur ihrer Ursache unsere Bewunderung und unser Interesse in höherem Grade zu erregen vermögen, als jene Abschleifung und Politur, jene Ausfurchung und Rit-zung, welche der Felsgrund der nördlichen Ländermassen sowohl in der östlichen als in der westlichen Hemisphäre so häufig das erkennen läßt, wo er frei und unbedeckt zu Tage austritt und nicht durch spätere Verwitterung bewegt worden ist." Das erscheint in dem von NAUMANN besuchten Norwegen, Schottland, den Alpen und von der 'rätselhaften Natur' kommt NAUMANN zu der Schlußfolgerung (1848, S. 409), "dass gletscherähnliche Eismassen allein sämmlichen Bedingungen



Abbildung 182: 'Porphyrberge Hohburg. LYELL war da.

zu entsprechen scheinen, welche zur Hervorbringung des Hohburger Phänomens erforderlich waren" und (S. 410) "... wären auch für unsere Gegenden auf die Anerkennung einer Eisperiode gewiesen, trotz dem, dass so manche Gründe gegen diese von Schimper und Agassiz aufgestellte Idee ausgesprochen worden sind." Zur Zeit der Abschleifung müßten die Hohburger Berge schon die heutige Gestalt besessen haben. Abweichend erscheinen NAUMANN die 'firnisähnlichen Überzüge' (S. 410).

NAUMANN meinte 1848 (S. 392): "Es giebt wohl nur wenige Erscheinungen auf unserem Planeten, welche durch die Grossartigkeit ihres Maasstabes, durch die Gesetzmässigkeit ihres Vorkommens und durch die räthselhafte Natur ihrer Ursache unsere Bewunderung und unser Interesse in höherem Grade zu erregen vermöchten, als jene Abschleifung und Politur, jene Ausfurchung und Ritzung, welche der Felsgrund der nördlichen Ländermassen sowohl in der östlichen als in der westlichen Hemisphäre so häufig da erkennen lässt, wo er frei und unbedeckt zu Tage austritt, und nicht durch spätere Verwitterung benagt worden ist." NAUMANN neigte ebenfalls dazu, dafür Gletscherwirkung anzuerkennen, ohne sich jedoch völlig an diese Ansicht zu binden.

Der englische Geologe Sir ANDREW RAMSAY (T. G. B. 1896) verwies 1847 im Gefolge seiner dortigen Kartierung auf **Gletscherzeugnisse in Nord-Wales** und deutete **Seen** als durch Gletscher entstanden. RAMSAY (D. OLDROYD 2004), einer der weiteren führenden britischen Geologen, hatte früh seinen Vater, einen Chemie-Fabrikanten in Glasgow verloren und mußte in einem Büro arbeiten. Geologie betrieb er in der Freizeit, hatte dabei aber intensiv die schottische Insel Arran untersucht. Im Vorfeld des Kongresses der britischen Naturforscher in Glasgow im Herbst 1840 fertigte er ein geologisches Modell der Insel Arran an, daß Anerkennung fand. Die ihm anvertraute Exkursion auf die Insel Arran, die ihn mit der



Abbildung 183: Porphyrkuppe Kleiner Berg, Hohburg.



Abbildung 184: Dieser Hügel 'Kleiner Berg' bei Hohburg war gletscherüberzogen.



Abbildung 185: Hohburg, Kleiner Berg, Gletscherschliffe.



Abbildung 186: Gletscherschliffe, Kleiner Berg.



Abbildung 187: Für MORLOT, Kleiner Berg.

Spitzen der britischen Geologen in Kontakt bringen mußte, verschlief er leider. Es traten aber Naturforscher für seine Rettung ein und er konnte seine Schrift über die Geologie der Insel Arran 1841 veröffentlichen. Er wurde über Kartierung und dann auch theoretische Schriften weithin bekannt. Sehr nahe einer weiten Gletscherausdehnung rings um die Alpen und andererseits überhaupt kam RAMSAY mit einer **1862** veröffentlichten Schrift über die **Entstehung von Seen in der Schweiz** und auch in dem derzeit völlig gletscherfreien Schwarzwald durch einstige Gletscher-Ausschürfung. Die großen Blöcke von Montey, im Rhonetal und die besonders zu Überlegungen auffordernden am Südhang des Jura-Gebirges sah er zunächst herantransportiert durch Eisberge, als das niedrige Land um die Alpen angeblich unter dem Meeresspiegel gelegen habe. Dorthinein mündeten die Alpentäler, in deren oberen Teilen Gletscher lagen. Nach weiterer zweimaliger Reise in die Schweiz sah er "good reason to change" seine "opinion" (S. 185) und erkannte die großen Moränen der sich einst weit hinabbewegten Gletscher, im Süden wie im Norden. Unter Führung von DESOR wurde er von der großen Gletscherausdehnung überzeugt. Eine Flut hätte das Land anders bedecken müssen. Die großen Schweizer Seen entstanden nicht in bei der Alpen-Faltung entstandenen Becken und auch Wasser konnte sie nicht formen, sondern höchstens mit Sediment füllen oder etwas ausräumen (S. 189/190, 193). Gletscher formten auch die Seen in Schottland (S. 202). Je weiter man in Europa und Nordamerika nach Norden kommt, desto seenreicher wird das Land, nach dorthin, wo Gletscher offensichtlich herkamen (Fußnote S. 201) und sich auch am längsten hielten. **Urteile über die Formung der Landoberfläche** sind oft sehr schwer zu begründen und

das wird von Laien und selbst Fachleuten oft verkannt. RAMSAY hatte 1862 eine Abhandlung geliefert, die wie wenige "excited ... interest or more controversy", geschätzt als bedeutender Beitrag zur Physiographie der Erde (T. G. H. 1896, S. 238). Und es war der große MURCHISON, der energisch widersprach, in seiner Jahres-Address in der Geographical Society und eine Antwort von RAMSAY 1864 herausforderte. MURCHISONs Meinung war (S. 395), daß die Faltungen, die Antiklinalen und die tieferen Synklinalen über die Seebildung entschieden. RAMSAY setzte dem entgegen, daß bei Beachtung der Falten an den beiden Seiten eines Sees keineswegs dafür sprechen, daß ein See in einer von der Alpenbildung herrührenden Senke liegen muß (S. 395). Wie sich auch in Wales zeigte, wurden Täler lange nach den letzten Gebirgsbewegungen gebildet. RAMSAY sah also die große Wirkung exogener Faktoren, und hierbei auch der Gletscher. MURCHISON bezweifelte auch, daß Gletscher eine aushöhlende Wirkung, "excavating power", haben (S. 301). Die **Wirkung von Gletschern** auf ihre Unterlage und die Materialanhäufung durch Gletscher mußten also **im einzelnen** deutlich sein, um über Großvergletscherungen zu einem Urteil zu kommen.

CHARLES DARWIN (in: P.H-BARRETT 1977, S. 218 ff.) diskutierte 1848 die Beobachtung, daß "**Erratic Boulders**" auch **von einer tieferen auf eine höhere Ebene** transportiert wurden, damit also der Transport nicht auf fließendes Wasser zurückzuführen war. Aber, wie DE LA BECHE zu bedenken gab, sie auch nicht verwitterte Überbleibsel einer höheren ansonsten restlos abgetragenen Schicht sein könnten.

Für **Schweden** wurden mehr und mehr Moränen anerkannt. Eine führende Stelle in der Gletscherforschung überhaupt und der für Schweden insbesondere gewann TORELL, der dann später auch die Inlandeisvergletscherung von Norddeutschland für viele Geologen bewies. OTTO MARTIN TORELL (F. WAHNSCHAFTE 1901) war als Sohn eines Arztes am 5. Juni 1828 in dem kleinen Küstenstädtchen Varberg am Kattegat geboren worden. Er studierte zuerst Medizin, in Lund, wandte sich dann aber den Naturwissenschaften und darin vor allem auch der Zoologie zu. Von Bedeutung wurde seine Bekanntschaft mit LOVÉN, der die frühere kälteliebende Muschelfauna in Südschweden erkannt hatte. Eigentlich zur Wiederherstellung seiner angegriffenen Gesundheit reiste der 28-jährige TORELL im Jahre 1856 in die Schweiz. Hier begann er sich für die Gletscher und ihre Ablagerungen zu interessieren. So untersuchte er das Mer de glace bei Chamonix. Er kam auch zum Vergleich der Schweizer Gletscherablagerungen mit ihm bekannten Bildungen in Schweden. Er berichtete später (zitiert bei F. WAHNSCHAFTE 1901, S. 70): "... wurde ich so sehr von der Gleichheit zwischen dem Gletscherphänomen und den umstrittenen Verhältnissen im Norden überzeugt, dass ich deren Identität nicht mehr bezweifeln konnte." War Schweden einmal vergletschert gewesen, so war anzunehmen,

daß dann Moränen an den verschiedensten Stellen und zu Tausenden gefunden werden. Unabhängig von TORELL hatte H. VON POST eine Bildung beschrieben, die als Moräne angesprochen werden konnte. Um über Gletscherablagerungen mehr zu erfahren, unternahm TORELL 1857 eine Studienreise nach Island. Nach der Rückkehr fand er noch unbekannt mit dem Aufsatz von VON POST einen "alten Gletschergarten" im südwestlichen Schweden zwischen Göteborg und Varberg. Im Jahre 1858 besuchte TORELL den großen Gletscher Svartisen im nördlichen Norwegen, studierte die in dessen Bereich gelegenen Moränen und reiste in demselben Jahr nach Spitzbergen. Die dafür genutzte Jacht "Frithjof" hatte er auf eigene Kosten ausgerüstet. Begleitet wurde TORELL von ADOLF ERIK NORDENSKIÖLD, der später in den Jahren 1878 / 1879 auf dem Schiffe "Vega" erstmals von West nach Ost an der Nordküste Sibiriens entlangfuhr, also die Nordostpassage bezwang. TORELL selbst dehnte in den nächsten Jahren seine Forschungen am Rande vergletschter Gebiete aus, da ihm bewußt war, daß nur nach eingehender Kenntnis der Phänomene in mit Sicherheit vergletschert gewesenen Gebieten die Überreste in lange Zeit wieder gletscherfreien Regionen richtig beurteilt werden können. Im Jahre 1859 reiste TORELL von Kopenhagen aus auf einem Schiffe der Königlich Grönländischen Handelsgesellschaft nach der Küste von Grönland. Er konnte sogar das Inlandeis besteigen und sah die plateauartige Ausdehnung des Eisschildes nach dem Inneren hin. Im Jahre 1860 wurde TORELL Adjunkt für Zoologie an der Universität Lund und auch Intendant des dortigen zoologischen Museums. Den Gipfel seiner arktischen Reisen erreichte TORELL 1861, als er eine reich ausgestattete Expedition nach Spitzbergen leitete, an der wiederum auch A. E. NORDENSKIÖLD teilnahm. In Lund erhielt TORELL 1866 eine Professur für Zoologie und Geologie. Wenige Jahre später, 1869, trat TORELL in Stockholm an die Spitze der geologischen Landesuntersuchung von Schweden. Seine am meisten hervorgehobene Leistung ist dann der Nachweis der Bedeckung auch Norddeutschlands durch Inlandeis, wozu er noch mehrfach in Deutschland reiste. TORELL starb am 11. September 1900 nach einem Schlaganfall in seinem Wohnort Charlottenberg bei Stockholm.

Schottland und auch England einst eisbedeckt: die Brüder GEIKIE

Nach dem Abklingen der in der Mitte des 19. Jh. geführten ausgreifenden Debatten wurden einstige ausgedehntere Vergletscherungen auch für derzeit gletscherfreie **Bergländer** von mäßiger Höhe in mittleren Breiten angenommen, für Schottland wie das englische Lake District (D. OLDROYD 1999). Für Schottland hat das etwa ARCHIBALD GEIKIE (J. CHALLINOR 1972) 1863 (s. 1924, S. 96) getan.

Zu Beginn der 60er Jahre sammelte ARCHIBALD GEIKIE die Zeugnisse, daß der Lehm (boulder - clay) in Schottland durch Landeis und nicht durch driftende Eisberge abgelagert wurde. Im Jahre 1865 bereiste er das arktische Norwegen und sah hier junge Hinterlassenschaften der Gletscher, während er bisher nur die länger zurückliegenden Eiswirkungen und Eisablagerungen beobachtet hatte. A. GEIKIE hatte an Eis verfolgt, wie an dessen Unterseite eingebackene scharfe Steine den Untergrund kratzen, also Schrammen hervorbringen.

Zur erstmaligen Kartierung der Lockermassen in Schottland, die den älteren Felsengrund bedeckten und die für die Landwirtschaft wichtig waren, wurden 1861 zwei Geologen, JOHN YOUNG und ARCHIBALD GEIKIEs 4 Jahre älterer Bruder JAMES GEIKIE (J. CHALLINOR 1972, CHR. HAMLIN 1982) beim schottischen Geological Survey eingestellt. JAMES GEIKIE wurde die führende britische Autorität über das Eiszeitalter und veröffentlichte 1874 nach 7 vorangehenden Artikeln sein großes Werk "**The Great Ice Age**", das 1877 in einer 2. und 1894 in einer stark veränderten 3. Auflage erschien. JAMES GEIKIE war am 23. August 1839 in Edinburgh geboren worden und studierte an der Universität Edinburgh, während er gleichzeitig in einer Druckerei arbeitete. Im Jahre 1861 ging er zum Geological Survey, wo er unter die Fittiche seines Bruders kam. Gestorben ist JAMES GEIKIE am 1. März 1915.

Angeregt wurde JAMES GEIKIE von JAMES CROLL. Dieser, seit 1867 Kollege im Geological Survey of Scotland, stützte sich, 1864, auf astronomische und physikalische Vorgaben, auf festzustellende periodische Veränderungen in der Erdbahn, die bei entsprechenden Bedingungen hinsichtlich Gebirgen und Land-See-Verteilung zu großen Vergletscherungen führten. JAMES GEIKIE suchte nun die Gletscherzeugen nachzuweisen, so wie von physikalischen Vorstellungen nicht so überzeugten, der Deduktion abweisend gegenüberstehenden Geologen das wollten. Schottland galt auch als seinerzeit höher emporgehoben. Außerdem gab es Meeresnähe. es wurden auch mehr Gletscher und Eisberge auf dem Meer kombiniert.

Wechsel in der Eisbedeckung

JAMES GEIKIE wies dabei, seit 1871 geäußert, auch **Intervalle in der Eisbedeckung**, klimatisch milde **Interglazialperioden**, nach. Selbst Flußpferde / *Hippopotamus*, hatten, nachweislich an Knochenfunden in Höhlen, in solchen Perioden in England gelebt. Die Sommer waren da warm genug, und milde Winter sollten für die Interglazialzeiten zuständig sein. Wie weit wichen die Gletscher in den Warmzeiten zurück?

Gerade diese Ansicht von mehreren durch **Warmzeiten** unterbrochenen Gletschervorstößen wurde noch öfter bezweifelt, waren auch in LYELLs Drifttheorie nicht vorgesehen, wurden aber vom europäischen Kontinent her bald gestützt von ALBRECHT PENCK und EDUARD BRÜCKNER.

Nicht beachtet und nicht recht gedeutet war ein 1861 gefundenes Torflager unter später als Grundmoräne bezeichnetem Material an der Düna, später als Interglazial eingeordnet (P. SIEGFRIED 1940, S. 494).

Unüberzeugt vom großen Eiszeitalter bei Anerkennung begrenzter Gletscherausbreitung, 1870er-Jahre

Gegen die Ansichten von VENETZ, CHARPENTIER, AGASSIZ und anderer Geologen von ehemaliger größerer Eisbedeckung standen außer LYELL für etliche Zeit namentlich MURCHISON, VON BUCH, E. DE BEAUMONT, STUDER und FORCHHAMMER (F. WAHNSCHAFTE 1901).

Hauptmann H. STARK lenkte die Aufmerksamkeit zuerst auf wohlerhaltene Moränen in der bayerischen Hochebene (H. ZITTEL 1874). Wie man kurz vor der Anerkennung der Vergletscherung auch großer Teile Deutschlands 1875, nämlich drei Jahre vorher, 1872 (s. auch 1871), die Eisbedeckung in Europa sah, kann zusammenfassend aus HERMANN CREDNERS "Elemente der Geologie" abgelesen werden. Es war durchaus die Rede von "Eiszeit", der Zeit, in der "die nördliche kalte Zone in südlichere Breiten reichte" (S. 498). Eisbedeckt sollten gewesen sein Skandinavien, weitgehend die gesamte Schweiz, viele auch niedere Gebirge. An der Nordseite der Alpen sollten aus 6 Tälern "Hauptgletscher" in die Ebene gertreten sein und haben sich dort ausgebreitet. Der Arve - , Rhône - , Aar - , Reuss - und Linth - Gletscher füllten das weite Tal zwischen den Alpen und dem Jura-Gebirge mit seinen bis 1300 Metern Höhe. Der Rheingletscher erstreckte sich bis nach St. Gallen, Zürich, Thurgau, füllten den Bodensee und reichten bis nach Bayern und Schwaben, bis zur Donau. Im Süden der Alpen wurde eine Gletscherbedeckung bis zum Po anerkannt. Mächtige Gletscher sollten auch die Pyrenäen besessen haben. Und Schottland, Wales und das südliche Irland lagen unter hohen Gletschern. Nach den einstigen Übertreibungen war etwa auch bei EDUARD DESOR 1873 klar, daß die Alpengletscher einst **weit ins Vorland** stießen und er sprach, vor der schweizerischen Naturforscher-Versammlung in Schaffhausen am 20. August 1873, über 'Moränen-Landschaften' namentlich südlich der Alpen, **zwischen dem Hochgebirge und der Po-Ebene** und so auch im südlichen Bayern. Voralpen-Landschaften wurden 1873 also beschrieben wie Norddeutschland erst etwas später. Ähnliche "Erscheinungen", Moränenlandschaften, sollte es geben in

der **Auvergne**, den **Vogesen**, dem **Jura**, ja "können wir aus unseren eigenen Beobachtungen den Nachweis liefern, dass selbst im Jura die erratischen Gebilde noch mancherorts die ursprüngliche Moränenform beibehalten haben" (E. DESOR 1873, S. 131). 1872 waren bei **Luzern** auch jene geschliffenen Felsoberflächen mit darauf liegenden erratischen Blöcken gefunden worden, die nun durch ein Zeltdach überdeckt als 'Gletschergarten Luzern' zu einem Museumsobjekt wurden (B. KELLER et al. 1985). Für **Süddeutschland** wurde fernerhin der Begriff 'Eiszeit' 1874 von H. ZITTEL benutzt, der 1874 bei Schäftlarn südlich von München (s. a. H. SPREITZER 1951) einen Gletscherschliff erkannt hatte, nachdem schon vorher an anderen, heute unvergletscherten Stellen der Alpen Schriffe beschrieben waren.

Es war also gerade das nördliche Mitteleuropa, also Norddeutschland hauptsächlich, für das die Drifttheorie damals noch gelten sollte.

In den **USA** stellte GROVE KARL GILBERT 1870 erstmals klar End - und Seitenmoränen für die Saint Jo und Saint Marys Rivers fest (W. C. MENDENHALL 1919).

Anerkennung der Bedeckung von Norddeutschland durch Inlandeis - 1875 - Glazialtheorie im engeren Sinn

Weite Gletscherausdehnung in Großbritannien wie in den Alpen und anderen höheren Gebirgen waren um 1875 also weithin anerkannt. Und die Gletscherausdehnung mußte auch mit einer **Kaltzeit** zu tun haben. Aber noch wagte die Phantasie nicht, auch Norddeutschland unter dicke Gletscher zu denken. Und erst damit kam es zu der nunmehr geläufigen Eiszeit-Vorstellung. Für Norddeutschland ist die Erkenntnis von der Inlandeisbedeckung und damit der wohl aufsehenerregendste **Durchbruch in der Glazialtheorie** auf den **3. November 1875** zu setzen (P. WOLDSTEDT 1948). Der aus Schweden zur Sitzung der Deutschen geologischen Gesellschaft nach Berlin angereiste TORELL (F. WAHNSCHAFTE 1901) sah, begleitet von den Geologen BERENDT und ORTH, auf dem **Muschelkalk bei Rüdersdorf** bei Berlin solche **Schrammen**, wie sie Gletscher in ihm bekannten Gegenden an Gletscherrändern hinterlassen. Daß TORELL zum Nachweis von Gletscherspuren nach Rüdersdorf reiste, geht auf den schwedischen Gelehrten SEFSTRÖM zurück, der 1836 hier auf der Oberfläche des anstehenden Muschelkalkes Schliffflächen und Schrammen festgestellt und beschrieben hatte, aber nicht als Gletscherspuren deutete. Nun wollte TORELL, mehr geschult, nachsehen. Die Gletscher der Alpen waren vom Alpen-Vorland nicht allzu weit entfernt und die Beziehung von Gletscherhinterlassenschaft im Vorland bei früherer weiterer Aus-



Abbildung 188: Rüdersdorf Kalkwerk 1960.

dehnung erschien plausibel. Aber von Norddeutschland und auch Skandinavien waren große Gletscher weit entfernt. Nur nordische Erfahrungen, Island, Grönland, Spitzbergen, konnten die Überlegungen einst sehr weiter Gletscherausdehnung stimulieren.

Mitteleuropa von Riesengletschern bedeckt! Der Eindruck mußte gewaltiger sein als bei dem mit höheren Bergen ausgezeichnetem Schottland, von wo immerhin eher der Gedanke vom "Great Ice Age" Begründung gefunden hatte. Mitteleuropa - das im Norden flache Land, und dennoch fern von einem großen Meer. Die anzunehmende Dimension der Eisbedeckung reichte ins Riesenhafte, in grönländische Ausmaße. Es gab die immer mehr weniger bestrittene **Existenz von 'Eiszeit'**.

Fast hundert Jahre lang und in etlichen Fällen länger waren naturwissenschaftlich Interessierte zum Nachdenken, zum Rätseln gebracht worden von jenen Felsblöcken, für welche man keine lokale anstehende Herkunft fand und die also 'ortsfremd' waren, offenbar mit Gesteinen im Norden identisch, und die viel und gern verbaut wurden. Und es gab in Mitteleuropas Norden wie nördlich der Ostsee an Felsen jene Schleifspuren, Ritzen, Rundhöcker, die von einer stark wirkenden 'Kraft' hervorgebracht sein mußten. Manchmal, wie bei NAUMANN 1847, war man dem Gedanken einer großen Gletscherausdehnung so gut wie sicher, und immer wieder gab es auch Zweifel und haben Übertreibungen wie bei SCHIMPER und AGASSIZ die Zweifelnden eher bestärkt. Nun aber, **1875**, und **das Jahr geht** in die Lehrbücher der Geologie **ein**, scheint alles klar zu sein, wenn auch, und das ist für die Wissenschaft gut so, nicht sofort bei allen. Aber 1875 - das ist in der Geologiegeschichte ein Wendejahr.

Zeugnisse der Vergletscherung

Die Hinterlassenschaften der Vergletscherung sind 1. **Sedimente**, die Moränen, auch Bändertone (F. W. JUNGE et al. 2003), 2. **morphologische Zeugnisse**, wie Schliffe, Ritzen, die besondere Talform der U-Täler. Endmoränen sind allerdings Ablagerung, Sediment, und ebenso morphologische Gebilde. **Morphologische Zeugnisse** wie Schliffe, Schrammen, Felsrundung wurden **zuerst als Vergletscherungsspuren** betrachtet.

Gletscher-Schliffe, Gletscher-Schrammen und zu 'Rundhöckern' gerundete anstehende Felsen als zuerst als Gletscherzeugnisse in Mitteleuropa anerkannt

Das gesamte nördliche Mitteleuropa ist mit den auf Gletscher zurückzuführenden Lockermassen bedeckt und diese sind weithin auch zu Moränen zusammengestaucht. Aber an Zerstörungswirkungen auf Felsbrocken, speziell **Schliffe an** anstehenden **Felsen**, wurden als erste Zeugnisse für einst weit nach Süden reichende Gletscher anerkannt. Auch transportierte Gesteinsblöcke weisen oft Schrammen auf, jedoch die Schrammen auf anstehenden Felsen galten als besonders beweisend. Nach A. HELLAND 1879 gäbe es keine andere Naturkraft, welche solche Schliffe erzeugen könnte als eben das sich bewegende Eis. Jedoch bei der Betrachtung mancher Glazialphänomene und gerade auch der Schleifspuren muß jedoch durchaus beachtet werden, daß sie den Wirkungen **anderer Agentien ähnlich** sein können. Etwa sind Schleifspuren durch Eis den in Wüsten an Felsen häufiger auftretenden Windschliffen ähnlich oder auch ähnlich Harnischbildungen bei Verschiebungen. Mit Hinblick auf das letztere mahnte PENCK (1882, S. 455) : "Die Vieldeutigkeit aller jener Phänomene, die man gern ausschliesslich für glaciale hält, kann nicht genug zur vorsichtigen Beurtheilung derselben mahnen, wenn man sie isolirt, nicht in ihrer Gesamtheit in älteren Formationen findet." Den Gletscherschliff bezeichnete L. EISSMANN (1984, S. 114) analysierend als "Ensemble der Vergletscherungsmerkmale" auf Felsen, von Glättung, Rillen, Ritzen oder Kritzen.

Gletscherschliffe und -schrammen sind nicht sehr erhaltungsfähig. Sie mußten in nicht allzu langer Zeit nach ihrer Bildung **überdeckt worden sein**, von Grundmoräne, und wurden nun sichtbar, wenn die Bedeckung beseitigt wurde. Die Richtung der Schrammen mußte nicht der allgemeinen Bewegungsrichtung entsprechen, da Felskuppen die Bewegung ablenken konnten. Wechselnde Schrammenrichtung, wie etwa in Skandinavien zu verfolgen, mußte nicht wie bei DE GEER auf Entstehung durch verschiedene Gletscher in womöglich verschiedenen Eiszeiten schließen

lassen (E. KUMMEROW 1928, S. 389), sondern konnte also derselben Eiszeit angehören (s. a. L: EISSMANN 1984, S. 114). .

Die **zweiten** eindeutigen **Gletscherschrammen in Deutschland** fand dann FELIX WAHNSCHAFFE bei dem Dorfe Velpke bei Braunschweig.

Etwa in **Sachsen** und dann auch im Raum von Halle wurden dortige Vergletscherungsspuren in den nächsten Jahren nach den Befunden von TORELL in Rüdersdorf ebenfalls festgestellt und erforscht. H. CREDNER fand sie 1877 auf Quarzporphyr bei Kleinsteinberg, publizierte 1879 (L- EISSMANN 1984, S. 117) und mit gleichen Jahrezahlen erschien, PENCK mit Gletscherschliffen ebenfalls auf Quarzporphyr auf dem nun überbauten Dewitzer Berg bei Taucha östlich von Leipzig. Für Nordwestsachsen war zuerst namentlich der junge ALBRECHT PENCK (u. a. H. LOUIS 1958) von der Eiszeitlehre eingenommen. ALBRECHT PENCK (R. P. BECKINSALE 1974, L. EISSMANN 1984, H. LOUIS 1958, H. SPREITZER 1951, E. WUNDERLICH 1928) wurde einer der führenden und gedankenreichsten Geographen, vor allem auch Geomorphologen. Geboren 1858 in Reudnitz bei Leipzig als Sohn eines Kaufmanns, studierte PENCK in Leipzig neben anderen Naturwissenschaften vor allem Geologie und Petrographie, und arbeitete dann an der Sächsischen Geologischen Landesanstalt, um hier die Kartenblätter von Colditz und Grimma, also der südlich von Leipzig gelegenen Region zu kartieren. Ihm verbot allerdings sein Chef CREDNER anfänglich, die im Gebiet der Mulde von PENCK kartierten gewaltigen Schotterterrassen als Eiszeitrelikte zu deuten, wobei sicherlich die Erläuterungen zu den geologischen Meßtischblättern möglichst hypothesenfrei sein sollten. In einer Autobiographie für seine Enkel schrieb PENCK, daß er sich als Jüngling zur Zeit der geologischen Kartierung in Sachsen habe ein rotes Hemd machen lassen zum Zeichen des Protestes gegen die autoritäre Behandlung wissenschaftlicher, kultureller und gesellschaftlicher Fragen (H. LOUIS 1958). Der sächsische Landesgeologe H. CREDNER schloß sich der von ihm zuerst abgelehnten Gletscherauffassung für Norddeutschland und zeitweilig bis nach Sachsen bald an und hat selbst manches zur Aufklärung der Vereisung in Sachsen (F. WAHNSCHAFFE 1913) beigetragen. Im Jahre 1877 wurden durch CREDNER und PENCK Gletscherschliffe in Nordwestsachsen beschrieben. CREDNER bekannte sich zur diluvialen Eisbedeckung von Teilen von Sachsen etwa auf einer Sitzung der Gesellschaft für Erdkunde am 9. Oktober 1880 (F. RINNE 1913, S. 397). Die eis-überfahrenen und damit gletschergeprägten Porphyrkuppen und anderen Grundgebirgsauftragungen gelten als Vorzeitformen, "eine Art Inselberge" ..., welche "bereits die kretazisch-alttertiäre Einebnungsfläche um 50 bis 250 m überragten" und dann von den Lockermassen im Tertiär, teilweise von den Ablagerungen des Oligozänmeeres, dann von eiszeitlichem Material umhüllt wurden und etwas herausragend unter die schleifenden Gletscher gerieten (L. EISSMANN



Abbildung 189: Rundhöcker Kleinsteinberg.



Abbildung 190: Gletscherschliff. Kl.-Steinberg..

1984, S. 125/126).

Für PENCK (1879, S. 131) war besonders beweisend ein unter dem Geschiebelehm hervorgeholter völlig polierter, und in NW-SO-Richtung deutlich geschrammter und bis 80 Zentimeter tief gefurchter Rundhöcker bei Taucha bei Leipzig, der sich mit skandinavischen Felsenkuppen vergleichen ließe. Man hatte vorher, wie PENCK anmerkte, nicht gesehen, was man nicht erwartete und nicht suchte, "vor den Thoren der beiden grössten Universitäten Deutschlands" (S. 131). Um die Drifttheorie zu widerlegen, berechnete PENCK auch die mögliche Größe und den Tiefgang von Eisbergen und Eisschollen und bezweifelte die Aufnahme große Blöcke durch sie. Daß schwimmendes Eis den Gletschern ähnliche Schrammen erzeugt, schien ihm nicht möglich zu sein. Eis aber sollte sich, wie dänische Studien in Grönland zeigten, auch ohne Existenz eines Tales fortbewegen.

Mit Hilfe eines Privatstipendiums einer Sponsorin konnte PENCK auch in Nord-

deutschland und Skandinavien Beobachtungen anstellen und als Ergebnis veröffentlichte er 1879, gerade 21 Jahre alt, die wegweisende Arbeit über die "Geschiebformation Norddeutschlands". Danach studierte er 1880 in München weiter und untersuchte die Vereisung der Alpen, wobei er 1882 ((S. 1) die Gesamtheit der Ablagerungen des Eiszeitalters 'Glacialformation' nannte. Nach der Habilitation in München wurde PENCK 1885 mit 27 Jahren Geographie-Professor an der Universität Wien. Im Jahre 1906 folgte er RICHTHOFEN auf den Berliner Lehrstuhl für Geographie und übernahm auch das Institut und Museum für Meereskunde. Weggezogen aus seinem bombenzerstörten Haus in Berlin starb PENCK am 7. März 1945 in Prag.

Wurde die Eiszeitlehre zuerst vor allem an einigen Hinterlassenschaften der Vergletscherungen eingeführt, so war ihre allgemeine Begründung damit verknüpft, daß die "Einzelphänomene als verschiedene Werke ein und desselben Agens" erkannt wurden (A. PENCK 1882, S. 2). Gletscherschliffe auf Gestein im Flachland blieben interessant. In von noch nicht lange zurückgezogenen Gletschern frei gewordenen Gebirgstälern sind ja viele Felsbrocken mit Schliffen überzogen.

Vorstellungen zu einer mehrfachen Vergletscherung weithin in Europa

Nach JAMES GEIKIE begründete PENCK eine **mehrfache Vergletscherung**, ja mehrere Eiszeiten auch für Mitteleuropa resp. die Alpenregion. Gletscherausbreitung weit hinein nach Mitteleuropa, das war Wiederholung, und zwar **unterbrochen durch längere Warmzeiten**, etwas ungeschickt zunächst als "Zwischen-eiszeiten" bezeichnet. Im Voralpengebiet wurden dazu zunächst überzeugendere Zeugnisse gefunden, hier, wo nahe der Zentren der Vereisung auch durch Fossilien auf wärmeres Klima deutende Ablagerungen zwischen Gletscherhinterlassenschaften gefunden wurden (E. PHILLIPI 1910). Die Spuren der Gletscher mußten je nach seit ihrer Bildung verflossener Zeit unterschiedlich gut erhalten sein, also unterschiedlich konturiert in den verschieden alten Eiszeiten. Während H. CREDNER für die Alpen und Nordeutschland eine mehrfache Vergletscherung anerkannte, sollte sein **Sachsen** nur von einer Eiszeit betroffen worden sein, wenn auch mit **Oszillationen**. In Diskussion blieb, ob es wirklich zwei als getrennt anzusehende Eiszeiten gab oder ob es eher um Vorstöße aus einem ansonsten bleibenden Eisschild, also um Oszillationen handelt. **Der mehrfachen Vergletscherung** Nordeuropas **widerprachen** zunächst selbst manche der Forscher, die für die Anerkennung der einstigen Inlandeisbedeckung Norddeutschlands eingetreten waren, auch TORELL. In Sachsen unterschied 1907 auf dem geologischen Meßtischblatt Makranstädt F ETZOLD einen unteren und oberen Geschiebemergel.

Nach Bohrerergebnissen 1920 - 1922 wurden dann für die **Leipziger Gegend "zwei Hauptvereisungen"** ermittelt (R. GRAHMANN 1923, S. 5). Was für die Leipziger Tieflandsbucht galt, ließ sich etwa für das Elbtal bei Pirna nicht bestätigen. Die differenzierter werdenden Befunde legten dann nahe, daß die Gletscher der verschiedenen 'Eiszeiten' unterschiedlich weit nach Süden vorstießen und das auch in Sachsen und Thüringen zu erkennen war - bis hin schließlich zum Fehlen der Hinterlassenschaften der für Norddeutschland letzten Eiszeit.

Immerhin blieb "Eiszeit" damals, blieben auch "Eiszeiten", weiterhin ein **Ereignis am Ende der** bisher bekannten **Erdgeschichte**, und gab es so etwas anscheinend nur hier, am Ende der bisher bekannten Erdgeschichte, dem Pleistozän - vielleicht gar Zeugnis eines nahen Endes der mit angenehmeren Zuständen befrachteten Erdzeitalter, mit dem Menschen als einem letzten Vertreter einer sich immer höher entwickelnden und vor dem außenbedingten Ende stehenden Organismenwelt. Man mochte **an die kontinuierliche Abkühlung der Erde denken**, wie einst bei BUFFON, und diese sich fortsetzende Abkühlung war nun eben bei Eiszeiten angekommen. Der weite Rückzug der Gletscher mochte Hoffnung auf Unterbrechung, ja Aufschub der fortdauernden Abkühlung geben. Konnte man bei der Wiedergabe eines Dramas von THORNTON WILDER in dessen deutscher Übersetzung hochgemut sagen: "Wir sind noch einmal davongekommen"? - wenn auch vielleicht nicht für immer.

Das **zweimalige oder gar mehrfache Vorrücken der Eisschilde** zwang zu **weniger einfacher Erklärung der Ursache**. War eine einmalige starke Abkühlung vielleicht durch besondere Bedingungen gegeben, so mußte das im Falle mehrfacher Wiedererwärmung problematischer werden. Immerhin hatte es nach der Annahme bis in den Anfang des 20. Jh. zwar Wechsel von Abkühlung und Wiedererwärmung gegeben, aber dieses alles nur in der jüngsten erdgeschichtlichen Vergangenheit. Aber auch das sollte nur eine zeitweilige Erkenntnis bleiben - bis zum Auffinden von starker Vergletscherung in viel viel älteren Zeiten!

Die Vergletscherung in Europa - Phänomene der Gletscherhinterlassenschaft

Der große Einstieg in die Eiszeit-Forschung: Wiederum und neu gesehen die Alpen im Eiszeitalter

An der Spitze der weiteren Eiszeitforschung in den Alpen stand bald der auch als Geograph führende ALBRECHT PENCK. Sein **1882** erschienenes Werk "Die Vergletscherung der deutschen Alpen" gehörte zu den ersten, den epochemachen-

den Büchern über die Glazialzeit. Nachdem gerade für Norddeutschland der große Fortschritt für die Eiszeit-Forschung gekommen war, ging es also wieder in die Alpen: PENCK war beim Erscheinen dieses wesentlichen Werkes 24 Jahre alt. Das Werk entstand als Antwort auf eine Preisaufgabe der II. Sektion der philosophischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität in München: "Eine eingehende Beschreibung der diluvialen Glacial - Bildungen und - Erscheinungen sowohl im Gebiete der südbayerischen Hochebene, als auch in den bayerischen Alpen". Wegen der begrenzten verfügbaren Zeit, versuchte PENCK einen Gesamtüberblick zu gewinnen und wandte sich im einzelnen vor allem dem Innegletscher zu. Er fand **Grundmoränen**, also unter dem Gletscher abgelagertes Material, von 60 bis 70 Meter Mächtigkeit. Die unter dem Eis mitbewegte Gesteine, die also der Grundmoräne entsprachen, hatte AGASSIZ in Schottland "**Till**" genannt. Die Bezeichnung "Grundmoräne" wird auf CHARLES MARTINS zurückgeführt. In der oberbayerischen Ebene verfolgte er die **Endmoränen**, an der Stirn der Gletscher abgelagertes Material, "langgedehnte, höchst unregelmässig konturierte Hügelzüge, deren Längsaxe parallel der äussersten Gletschergrenze verläuft" (1882, S. 114). Es durfte angenommen werden, daß die Alpen weithin vergletschert waren und sich nur unbedeutende Gebirgsinseln aus dem Eis erhoben. Die mächtigeren Endmoränen befinden sich in den Alpen am Südhang. Hier sind die Entfernungen zwischen den Moränenzügen wesentlich enger. Aus jedem großen Alpental aber floß ein eigener Eisstrom und dieser schuf auch eigene Endmoränen, die sich Nachbarmoränen nähern konnten. Die verschiedenen Eisströme konnten erkannt werden, weil sie unterschiedliche Geschiebe führten. Besonders wichtig war der Nachweis einer mehrfachen Vergletscherung. Die äußersten Endmoränen sind mehr verwaschen als innere. Die äußere Zone der Moränenlandschaft aber weist die mächtigsten Endmoränen auf. Das sprach für ungleichzeitige Entstehung der verschiedenen Moränenzüge, auch durch unterschiedlich starke Gletscher. PENCK interessierte sich namentlich für Orte, wo innerhalb von Moränenmaterial offensichtlich nicht von Gletschern hinterlassene Ablagerungen zwischengeschaltet sind. Erstmals wurden damit alpine **Breccien** als **interglaziale Ablagerungen** erkannt. Aus der Hötinger Breccie wurde die wenigstens dreimalige Vergletscherung der Alpen erschlossen (H. SPREITZER 1951). Es fanden sich auch Orte, wo Kohlen über Moränen liegen. An anderen Stellen gibt es Gletscherschliffe auf verfestigten Gletscherablagerungen, also wurden frühere Gletscherablagerungen bei einer späteren Vergletscherung glazial überformt. Gletscherzeugnisse auch der Alpen sind die 'Kare', über die bei der Behandlung der Mittelgebirge näher eingegangen wird. Mit EDUARD BRÜCKNER veröffentlichte PENCK zuerst 1901 das seine bisherigen Arbeiten weiterführende große Werk "Die Alpen im Eiszeitalter".

Im Vorland der Alpen und der Hochgebirge überhaupt unterscheiden sich die von Gletschern hinterlassenen Formen von denen im Flachland im Norden prinzipiell

kaum. Aber **Talgletscher** innerhalb der **Hochgebirge** haben, und gerade auch heute, ihre **Besonderheiten**. Auf diese Gletscher fiel und fällt auch Material von den Talwänden oberhalb der Gletscher“, also durch Verwitterung losgelöste Trümmer, und hier ist dann nicht ”alles vom Gletscher transportierte Material ... von ihm selbst erodiert“ (A. PENCK 1903, S. 3). Auf dem felsigen Untergrund der Hochgebirgstäler gibt es viel mehr Gletscherschrammen und Gekritzte (S. 4). In den großen Inlandgletschern erscheinen auch scharfe Seitenmoränen nicht so wie bei den Talgletschern.

Skandinavien als Ausräumungsgebiet und die Hinterlassenschaften der Gletscher in Nordeutschland und dem nördlichen Mitteleuropa überhaupt

In den nördlichen Gletschergebieten gibt es natürlich in vielem dieselben Hinterlassenschaften und Landschaftsformen wie in den Alpenvorländern und den Vorländern anderer ehemals völlig vergletschter Gebirge. Aber während im nördlichen Alpenvorland die Gletscher bis etwa 70 Kilometer von den Bergen weg reichten und von einigen Moränen vor den italienischen Seen im Hintergrund die materialliefernden Alpen zu sehen sind (A. HELLAND 1879, S. 63), sind die Gletscher von Skandinavien durch die Ostsee bis an den Nordrand der deutschen Mittelgebirge geflossen und haben sich dabei Hunderte von Kilometern vorwärtsbewegt. Das Ursprungsgebiet der norddeutschen Gletscherablagerungen ist nicht von dort aus zu sehen. Die viel größeren Gletscher im Norden führten auch zu anderen Dimensionen ihrer Wirkung als etwa in Gebirgen.

Skandinavien und die einst vergletscherten Gebirgshöhen auch weiter im Süden sind zumindestens **zu einem erheblichen Teil von den fließenden Gletschern geformt**. In Skandinavien liegt vor allem das Ausräumungsgebiet, es ist **Gebiet der 'Erosions'phänomene'** (A. HELLAND 1879) der Gletscher, seiner Abtragungsformen. Das norddeutsche und überhaupt im Norden Mitteleuropas gelegene Flachland ist **fast ausschließlich Ablagerungsgebiet** des von den Gletschern herangeführten 'glazialen' Materials. Wo dem Gletscher Fels im Wege war, gibt es auch hier Abtragung, Zerstörung, wie die Gletscherschliffe bezeugen.

Abtragungsformen der Gletscher (F. AHNERT 1996, S. 385) sind also die Gletscherschliffe, die Wirkung der **Detersion**, detergere = abwischen, der Gletscher. Die **Detraktion** ist die Erosion auf der Leeseite vor Erhebungen unter dem Eis. Ergebnis sind die **Rundhöcker**. Abtragungsform im Gebirge sind die noch zu besprechenden **Kare** und die **Trogtäler** mit ihrer U-Form. **Ablagerungsformen** werden unten noch vorgestellt, sind **Moränen, Sandr, Kames, Oser**.

Für weitere spätere Studien der Vergletscherungsphänomene erwies sich die Insel **Island** als recht geeignet "Vereisungsphänomene in einem außeralpinen, verhältnismäßig leicht zugänglichen Bereich zu studieren" (WOLDSTEDT zitiert bei H. G. BACKLUND 1939, S. 625). Es gibt hier Ausräumung wie Ablagerung, etwa an Islands großem **Gletscher Vatnajökull** im Südosten der Insel. Dieser Gletscher bedeckt 8100 Quadratkilometer, was knapp der Hälfte von Sachsen entspricht und etwa 8% der Fläche Islands ausmacht.

Mit der **Anerkennung der Vergletscherung der nordeuropäischen Tiefebene** wurde eine eigenständige Glazialzeit in der Erdgeschichte als doch unumgänglich anerkannt, auch von Leuten, die AGASSIZ' Vorstellung von erdweiter Vereisung ablehnend gegenüberstanden und schon deshalb gegen jede große Gletscherausdehnung skeptisch waren. .

Durch die Vergletscherung entstanden also Landschaftsformen, die heute in diesen Gebieten wie Norddeutschland nicht mehr entstehen konnten. **Nicht nur in den Gesteinen wurde erdgeschichtliche Vergangenheit konserviert, auch in den Landschaftsformen.**

Die einstige Vergletscherung heute unvergletschter Gebirge in Europa

Inwieweit die **mitteleuropäischen Mittelgebirge** einstmals eigene eiszeitliche Gletscher trugen, untersuchte schon wenige Jahre nach der Begründung der Glazialtheorie und fast gleichzeitig mit PENCKs Alpenforschungen als einer der ersten JOSEPH PARTSCH (F. W. P. LEHMANN 1925, H. OVERBECK 1953, H. PRAESENT 1926, H. WALDBAUER 1927). PARTSCH war zuerst Geographieprofessor in Breslau und war sowohl mit der Antike vertraut wie auch mit modernen Richtungen der Geographie. Er forschte viel in Schlesien und schrieb über dieses Land. Im Jahre 1905 folgte er RATZEL auf den Geographielehrstuhl an der Universität Leipzig. Seine Erforschung der Gletscherspuren im Riesengebirge begann PARTSCH (1882) im Herbst 1879, nachdem er auf 3 Alpenreisen 1877 bis 1879 sich den notwendigen Blick für Gletscherhinterlassenschaften angeeignet hatte. Ihm war bewußt, daß Gletscherspuren etwa im heute gletscherlosen **Riesengebirge** schwerer festzustellen sind als in Alpentälern. Ausgangsort seiner Untersuchungen waren die 'Kleine' und die 'Große' Schneeegrube'.

Es sind steilwandige, nach Norden zu gerichtete amphitheatralische Einbuchtungen in den südlich gelegenen Gebirgskamm. Unmittelbar unter dem Kamm sind sogar tiefer als an ihrem Ausgang zum Tal. Dort liegen auch, vom Walde überzogen, Geröllmassen. Es war nun die Frage, ob als Ursache für die Entstehung der 'Schnee-



Abbildung 191: Riesengebirge Gr. Schneeegrube.

gruben' ein gewaltiger Bergrutsch oder eben ein ihnen liegender und von dort abwärts ziehender Gletscher die Formen ausgeschliffen und die Gerölle angehäuft hatte. Aber die Geröllanhäufungen sprachen gegen einen Bergsturz. "Wie konnten", fragte PARTSCH (1882, S. 72), "zwei gesonderte Bergstürze, die aus dem Hintergrund beider Gruben hervorbrachen, - selbst ihre Gleichzeitigkeit angenommen - sich zur Bildung so regulär geformter bogenförmiger Wälle vereinen, ohne dass irgend eine Spur des Conflictes zwischen den aus den beiden Gruben auf gesonderter Bahn, in nicht ganz gleicher Richtung hervorschiessen - den Trümmernmassen bemerkbar blieb?" Bei einem Bergsturz unerklärlich blieben vor allem auch die 10 bis 20 Meter hohen Seitenmauern zur rechten und zur linken der Bahn des zu vermutenden Gletschers. Auch die "erstaunliche Steilheit", mit welcher der hohe peripherische Trümmerwall allseitig, "namentlich aber in dem frontalen Theile nach Aussen abbricht", widersprach einem Bergsturz. Bei einem Bergsturz hätten die abgebrochenen Gerölle viel mehr durcheinander liegen müssen und wären auch weiter und viel vermischer in das Tal hinabgerollt. Aus den Alpen hatte PARTSCH nicht von einem der großen Bergstürze erfahren, daß die Böschung 20 Grad erreichte. Im Jahre 1894 wies PARTSCH mehrere aufeinanderfolgende Vergletscherungen im **Riesengebirge** nach (H. OVERBECK 1953).

Was PARTSCH mit den beiden 'Schneeegruben' im Riesengebirge erforscht hatte, war jenes Landschaftsgebilde von Hochgebirgen und höheren Mittelgebirgen, welche in der neueren deutschsprachigen geomorphologischen Literatur als '**Kar**' beschrieben wird, eine in Tälern tiefer oder höher im Gebirge gelegene kesselartige und mit einem mehr oder weniger großen Stein- oder Erdwall abgeschlossene Senke von manchmal grubenartigem Aussehen und oft wassergefüllt, also versehen mit einem Karsee. Viele Gebirgsseen sind Karseen. Die Gebirgsgletscher hatten auch längere Stillstandsphasen, in denen sie an ihrer Stirn einen Wall, eine Endmoräne,



Abbildung 192: Hier war ein Gletscher. Tatra.



Abbildung 193: Karsee. W-Kaukasus.

anhäuften und die dann das von oben kommende Wasser staut.

In der Volkssprache verschiedener Gebirgsländer waren solche Gebilde schon lange mit eigenen Namen belegt worden. Der Terminus 'Kar' oder 'Kaar' für diese 'Kesseltäler' stammt, wie PARTSCH berichtete (1882, S. 181) aus den Ostalpen. In den Pyrenäen wurden sie 'Oules' genannt, nach dem lateinischen Wort 'olla'. In Großbritannien gab es das gälische Wort 'coire' oder 'cyri', im heutigen Englisch 'corrie', kymrisch auch 'cwm', im heutigen Englisch 'coom' oder 'coomb'. In Norwegen wurden diese dort nicht seltenen Kesseltäler als 'Botn', im Plural 'Botner' bezeichnet. Im Dänischen gab es den Namen 'Grydedale'. In der Wissenschaft war der Begriff 'Cirques' oder eben, wie es die Übersetzung aus dem Dänischen hergab, 'Kesseltäler' üblich geworden. Der Begriff 'Kesseltäler' ist sicherlich ziemlich passend, ebenso 'Cirque' wegen ihrer amphitheatralischen Form.



Abbildung 194: Kar Kotel. Riesengeb..

Schon bald wurde über ihre Entstehung debattiert und dabei auch ihre mögliche Entstehung durch Gletscher erörtert. Der englische Geologe T. G. BONNEY meinte aber 1871, daß er sich eine Entstehung durch Gletscher nicht vorstellen kann und gab herabstürzendes Wasser an. PARTSCH fiel eine Erklärung nicht leichter, wobei er etwa die 'Circustäler' in der polnischen Tatra, das 'Meerauge' (1587 Meter) und den 'Schwarzen See' (1494 Meter) untersucht hatte. Gegen Wasser als Entstehungsagens sprach, daß der Rahmen von großen 'Cirke' bisweilen nur aus einem wenige Meter breiten Grat besteht und dort keine größeren Bäche zustandekommen. Für den Zusammenhang mit Gletschern sprach, daß diese 'Kesseltäler' (Kare) in Mitteleuropa auf höhere Gebirge beschränkt waren, in Schlesien auf das Riesengebirge. In Norwegen, wo sie auch tiefer liegen, gingen auch die Gletscher tiefer. Selbst wenn in den 'Gruben' nur wenig Schnee lag oder sich ein nur geringmächtiger Gletscher ausbildete, so sollte nach PARTSCH die immer wieder um den Gefrierpunkt schwankende Temperatur und das in die Klüfte eindringende Wasser, das Durchfrieren auch der Seen bis zum Grund, den Zusammenhang in dem darunterliegenden Gestein immer wieder gelockert haben. So konnten im Nährgebiet der Gletscher Vertiefungen ausgefurcht, Becken ausgehöhlt, werden. Es wäre unsinnig, anzunehmen, daß an den vielen solchen Karen ausgerechnet am Übergang zum Tal sich durch innenbürtige Hebung eine Schwelle ausbildete, welche den Kessel, der nach der Eiszeit zum Karsee wurde, abdämmte, sondern man durfte die Bildung der Kare durch den Gletscher annehmen. Kar können als **Nachweis** auch **ehemaliger Gletscheranfänge** gelten.

Solche Kare gab es auch in westlichen mitteleuropäischen Mittelgebirgen. PARTSCH wies auch nach, daß die Schneegrenze im ozeanisch getönten Westen, also etwa in den Vogesen (Wasgenwald), auch in der Eiszeit niedriger lag als im kontinentalen Osten. Im Westen können solche Kare also tiefer als in den östlicher liegenden



Abbildung 195: Feldsee, Schwarzwald.

Gebirgen vorkommen. Kare, wenn Seen als solche richtig gedeutet sind, bezeugen ehemalige örtliche Vergletscherung. Als solcher Kar wurde gedeutet etwa der **Feldsee** am Feldberg im **Schwarzwald**.

Mehrere als Kare gedeutete Seen gibt es unter Steilwänden im **Bayrisch-Böhmischen Wald** (s. a. J. PARTSCH 1904), so der Große Arber-See in 934 Meter Höhe unter der Arberseewand in 1345 Meter Höhe, der Teufelssee im Böhmerwald unter dem Seewandberge.

Im **Harz** ist von kleinen Moränen-Vorkommen westlich vom Brocken die Rede (D. HENNINGSEN et al. 2002, S. 57). Umstritten ist wohl noch der 'Schneetiegel' am Schneekopf im **Thüringer Wald**.

ALBRECHT PENCK und JOSEPH PARTSCH schlossen Freundschaft und PENCK hat an PARTSCH über 450 erhaltene Briefe geschrieben (G. ENGELMANN 1960). PENCK forschte 1883 nach Glazialhinterlassenschaften in den heute unvergletscherten **Pyrenäen** und 1892 im zentralen Spanien in der Sierra de Guadarrana (Kastilisches Scheidegebirge). PENCK hat an Hand der Kare hier ebenfalls den den einstigen Verlauf der Schneegrenze festzustellen versucht (H. SPREITZER 1951). Von Madrid aus schrieb er am 5. Oktober 1892 an PARTSCH (zitiert aus: G. ENGELMANN 1960, S. 51) über die Sierra de Guadarrana: "Es hat hier Gletscher gegeben, unteres Ende 1750 m, Schneegrenze etwa bei 2000 - 2100 . Prachtvolle Moränen." In den **Pyrenäen** beeindruckten an der Nordseite einige als '**Felszirkus**'/**cirques** bezeichneten Einbuchtungen, die auf ehemalige Gletscher deuten.

In Nordamerika hat WILLARD DRAKE JOHNSON eingehend über die Kare bzw. "Cirques" geforscht (R. J. CHORLEY 1973).



Abbildung 196: Schwarzer See, Böhmerwald.



Abbildung 197: 'Schneetiegel'/Thür. Wald. Gletschertal?.



Abbildung 198: Felszirkus Gavarnie.



Abbildung 199: Gavarnie, N-Pyrenäen.

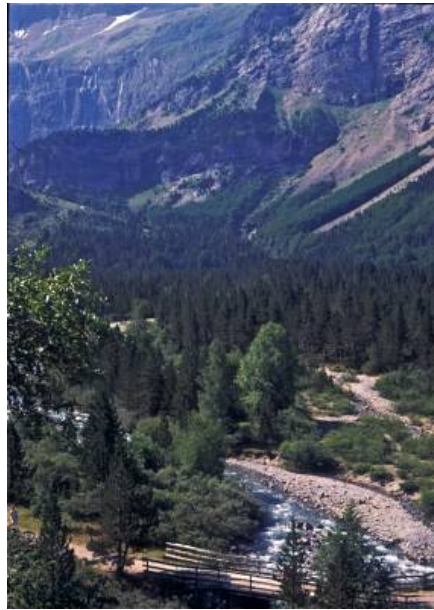


Abbildung 200: Trogtal Gavarnie.

In einst vergletscherten Gebirgen weisen auch die Trog-Täler, U-Täler, hin, im Unterschied zu den von fließenden Gewässern geformten V-Tälern.

Die Phänomene der Inlandvergletscherung, erforscht namentlich in der Norddeutschen Tiefebene

Etliche mit der Preußischen Geologischen Landesanstalt in Berlin verbundene Geologen haben bald nach 1875 eingehend die Landschaftsformen und Ablagerungen der mehrfachen Vergletscherung in Norddeutschland erforscht und gerade diese jahrzehntelangen Forschungen haben die wesentlichen Phänomene der Gletscherzeiten erfaßt.

Verknüpfungen in der Gletscherwirkung

Abräumende und aufbauende Wirkung der Gletscher sind **oft eng** verknüpft. Das Aufgebaute, also Moränen, können von nachfolgenden Gletschervorstößen auch wieder zerstört werden. Das Material dient dann im neuen Gletschergebiet auch wieder zum Aufbau. Schmelzwässer aus den Gletschern zerstören Moränen, schaffen große Täler und lagern anderenorts das Material wieder ab.



Abbildung 201: Trogtal. Retezat Rumän..

Eiszeit-Hinterlassenschaften in kleinem Maßstab - Steine, Ritzungen u. a.

Geschiebeforschung

Die Verteilung Geschiebe, ob größere erratische Blöcke oder kleinere Brocken, behielten ihre große Bedeutung in der Erwartung mancher etwa die **Richtung der** die Geschieben einst transportierenden **Eisströme** zu ermitteln (A. HELLAND 1879, P. WOLDSTEDT 1929). Auch KARL FERDINAND ROEMER hatte schon 1862, also vor TORELLs Erweckungserlebnis von Rüdersdorf, noch einmal eindringlich auf die Fremdherkunft der "Diluvial-Geschiebe" in der "norddeutschen Ebene" verwiesen und Herkunftsregionen angegeben. Aber 1885 bekannte er sich, in seinem großartigen, materialreichen Werk "Lethaea erratica", ein Anhänger der **Drifttheorie** geblieben zu sein. Auch in diesem Werk schrieb er über die Herkunftsregionen der sedimentären, also vor allem Fossilien enthaltenden Geschiebe in der Ebene zwischen Moskau im Osten und der niederländischen Grenze, unabhängig davon, ob sie durch Gletscher oder durch Eisberge oder Treibeis nach Norddeutschland und die anderen Regionen mit Geschieben transportiert worden waren. Er war bemüht, Geschiebe aus möglichst vielen Gebieten zu erhalten, auch etwa aus den weniger Geschiebe aufweisenden Gebieten, so in Thüringen in der Umgebung von Naumburg, F. ROEMER galt sogar als "Altmeister der Geschiebeforschung" (zit. b. E. KUMMEROW 1928, S. 410). In Schweden hielt er Gletscher für durchaus möglich, ja wollte auch für anderswo " ... die für eine weit verbreitete Eisbedeckung geltend gemachten Gründe" nicht "verkennen" (S. 18). Aber gegen den Transport der Geschiebe durch Gletscherströme weit nach Süden , bis südlich der Ostsee, sollte sprechen, daß Geschiebe "ganz verschiedener Ursprungsgebiete in derselben Gegend und zum Theil sogar genau an denselben Fundstel-

len" vorkommen (S. 18) und "Geschiebe von beschränktem Ursprungsgebiete über grosse Theile des Diluvial-Landes" (S. 19) verbreitet sind, also das aus dem Norden gekommene Gesteins-Material war bis auf etwa Bernstein so ungleich verteilt, daß man an Gletschertransport, der Mitführung längs bestimmter, von Gletschern herorgerufenen Linien zweifeln konnte. Eisschollen, die je nach Windrichtung sich weithin im Meer oder der Ostsee bewegten, wären als Transportmedien daher eher anzunehmen. Also: "Bei der Annahme des Transports der Geschiebe auf schwimmendem Eise fallen dagegen alle diese Schwierigkeiten" in der Verteilung der Geschiebe "fort, denn die mit den Geschieben im Norden beladenen Eisschollen oder Eisberge konnten durch Strömungen in den verschiedensten Richtungen fortbewegt werden ..." (S. 19). Die "Jetztwelt" bietet "noch Beispiele der Fortbewegung von Gesteinsmassen durch schwimmendes Eis" (S. 19), ist also mit der aktualistischen Auffassung voll vereinbar. Die Ostsee und vor allem ihre südlicher Rand sollten nicht durch Gletscher überwindbar gewesen sein, aber das nördliche Mitteleuropa war von Meer überflutet. Die Ostsee kam auch als Herkunftsgebiet von Geschiebe für ROEMER nicht in Frage, denn Eisberge nahmen kaum Material vom Meeresgrund auf, jedoch an der Küste des Finnischen Meerbusens strandeten durchaus mit 'Gesteinsmassen' belegte Eisschollen, die als Grundeis emporgestiegen waren (S. 19). ROEMER argumentierte völlig schlüssig, viel mit dem 'Denkmöglichen'. Mit reicher, ja überragender Kenntniss hat F. ROEMER die "verschiedenen Arten von Diluvial-Geschieben" (S. 22 ff.) vorgestellt, in Text und Bild, wenn möglich gegliedert nach ihrer Herkunft aus einer mittels der in ihnen enthaltenen Fossilien oder Fossilienresten ermittelten Formation, so also S. 22 "Palaeozoische Geschiebe. A. Cambrische Geschiebe. 1. Skolithen-Sandstein" usw. usw.

Faktenkenntnis überwiegt in der Wertschätzung eines Gelehrten eben die Anhängerschaft nur an eine bestimmte Theorie, hier die Gletschertheorie, die ROEMER ja ohnehin auch genau bekannt war. K(C)ARL FERDINAND ROEMER (u. a. F. W. S-s 1963) hatte nach der Abkehr vom Jura-Studium und dem Studium der Naturwissenschaften vor allem in Berlin geforscht im Rheinischen Schiefergebirge, ab Sommer 1845 bis 1847 intensiv geologisch und höchst anerkannt **Texas** durchforscht, wurde dann Privatdozent in Bonn, reiste viel in Europa und war ab Ostern 1855 ordentlicher Professor für Geologie, Paläontologie und Mineralogie in Breslau. Er starb 1891.

Aber den dann überwiegenden Anhänger der Gletschertheorie war der **Gletschertransport** fast nicht mehr zu bezweifeln. Es wurde etwa versucht, von den in Rüdersdorf gefundenen Geschieben die Heimat in Skandinavien zu bestimmen und auf geographischen Karten das skandinavische Vorkommen der Gesteine mit Rüdersdorf verbunden, um den möglichen Transportweg so festzustellen. Manche Geschiebe wurden als Hinweise auf anstehendes Gestein am Boden der Ostsee ge-

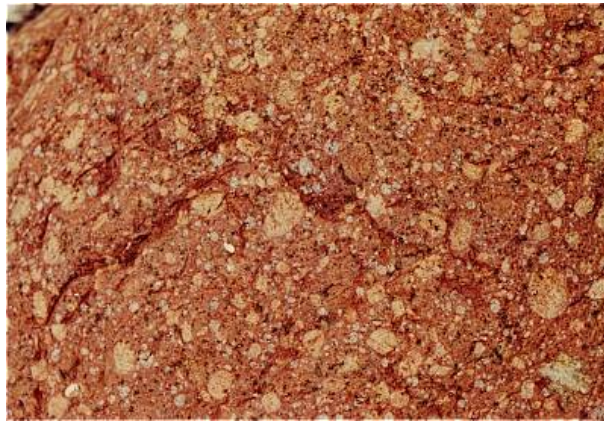


Abbildung 202: Findling Rapakivi-Granit. Rügen.



Abbildung 203: Vielfalt Acker-Lesesteine. Kamenz.

sehen. Und sedimentäre Geschiebe boten bisher unbekannte Fossilien. Wie schon vor der Begründung der Eiszeitlehre für Norddeutschland bestätigte sich, daß die Geschiebe namentlich aus dem Norden und dem Nordosten kamen (A. JENTZSCH 1884). In Geröllen an steinigen Teilen des Ostsee-Strandes wie in Lesesteinhaufen von Äckern einst vergletschter Gebiete findet sich ein Sammelsurium von Gestein aus dem Norden mitsamt Resten altpaläozoischer Sedimente mit manchen Fossilresten.

Aber **nicht alle Geschiebe** konnte man **dem Norden zuordnen**. Wo sich Felsgruppen befanden in dem Gebiet Mitteleuropas, das die Gletscher überzogen, dort wurden auch diese abrasiert und ihre Gesteine mitgerissen. In den Warmzeiten waren durch die dann ungehindert nach Norden strömenden Flüsse auch Basalt- und Phonolith-Gerölle aus dem Süden, Böhmen etwa, nach Norden befördert worden. Diese Gerölle konnten die Gletscher nun wieder südwärts verschleppen (R.

GRAHMANN 1935).

Um die Herkunft von Geschieben möglichst sicher festzustellen, hat AMUND HEL-
LAND in Christiania (heute: Oslo) Geschiebehandstücke und die vermutlichen
Herkunftsgesteine im Mutterland auch mikroskopisch verglichen. In den Nieder-
landen fanden sich nordische Geschiebe bis Nord-Brabant, in England bis Hull, in
Polen bis über Lublin hinaus, in Rußland bis Kiew, Woronesh, Nischni-Nowgorod.
Wenn festgestellt wurde, daß die rascheste Eisbewegung nach Kenntnis von 1879
20 Meter in 24 Stunden beträgt, dann hätte ein Gesteinsblock die Entfernung von
Schonen nach Sachsen, etwa 500 Kilometer, in etwa 70 Jahren zurückgelegt. Von
der gewaltigen Zerstörungskraft der Gletscher sollten die Massen von Feuersteinen
überall in der norddeutschen Ebene zeugen, die alle von aufgearbeiteten Kreide-
vorkommen stammen mußten. Es wurden auch Linien gezogen etwa von Gotland
nach den Vorkommen gotländischer Gesteine anderswo und so die nicht immer
gleiche Richtung der Eisbewegung ermittelt. Gerade im nördlichen Teil der nord-
mitteleuropäischen Tiefebene fanden sich Blöcke von staunenerregendem Ausmaß.
Manche Blöcke mußten ihrem vermutlichen Herkunftsort nach über 1000 Kilome-
ter verschleppt worden sein. Als Regel konnte gelten, daß die Geschiebe an Größe
nach dem Süden abnehmen (A. PENCK 1879). Andererseits fand sich "ein wahrer
Schatten von nach Süden verschwemmten Felstrümmern" hinter jeder Gesteins-
kuppe, welche aus der Geschiebformation aufragt" (A. PENCK 1879, S. 123).
Der Seitendruck der Gletscher hatte außerdem vorher anstehendes Material **ge-
staucht** und etwa Geschiebelehm in die "Kreideformation eingepresst" (S. 127),
sowie spätere Eiszeiten die von vorangegangenen Eiszeiten abgelagerten Materia-
lien umarbeiteten. Es wurde eine eigene "Gesellschaft für Geschiebeforschung"
mit einem eigenen Publikationsorgan, der "Zeitschrift für Geschiebeforschung" ge-
gründet (P. WOLDSTEDT 1948). Die **kristallinen Geschiebe** erforschte etwa
JOHANNES KORN (MICHAEL 1928). Mit den Geschieben wurde auch Bernstein
verfrachtet (O. v. LINSTOW 1922).

Kritisch sah vieles EDMUND KUMMEROW (1928), der auch die anderen Skep-
tiker zitiert. Er nennt etliche Geschiebe noch immer "heimatlos", das heißt **ohne
Kenntnis ihrer Herkunftsorte** (S. 397). Vor allem er sah in der Ostsee die Her-
kunft vieler Geschiebe. Und was die Menge der einzelnen Gesteinsarten betrifft, so
mußte bedacht werden, daß die Gesteine unterschiedliche Härte haben und **man-
che viel mehr zerfallen** sein müssen als andere, ja etliche wohl vollkommen
zerbröselten. Die angekommenen Geschiebe hatten also eine Selektion hinter sich
(E. KUMMEROW 1928, S. 390).

Feststellung der Richtung der Gletscherbewegung - Schrammen auf überfahrenem Gestein

Die **Richtung**, die Himmelsrichtung **der Gletscherbewegung** festzustellen erschienen als geeignet die Richtung der **Schliffe** auf anstehendem Gestein, die Feststellung der Herkunftsorte der abgelagerten Gletschergeschiebe, also aus welchen Gebieten Skandinaviens in Richtung Mitteleuropa sie kamen, auch die Richtung der quer zum Eisrand liegenden Endmoränen, Sandablagerungen, Seen und der Urstromtäler. Schliffe auf ehemals vom Eise überfahrenem anstehenden Fels ließ die Richtung der Eisbewegung wenigstens für das Gebiet bestimmen, wo man die Schrammen ermittelte und deren Himmelsrichtung sich hier mit dem Kompaß bestimmen ließ.

Einen nochmals interessanten Befund in Mitteldeutschland, wo das wichtig war, beschrieb WAHNSCHAFTE (1898) bei "Glacialschrammen" auf unter Geschiebemergel liegender Grauwacke aus dem Culm bei Hundisburg, im Magdeburgischen. Ein Lehrer hatte WAHNSCHAFTE darauf aufmerksam gemacht. Über der Grauwacke lagen etwa 90 cm, "9Decimeter", sandiger Geschiebemergel, in dem "zum Theil ausgezeichnet geschrammte nordische Blöcke" enthalten waren (S. 53). Mit Hilfe von zwei Arbeitern wurde der Geschiebemergel auf einer Fläche von 16 x 3 Metern abgedeckt und die "auf das schönste geschrammte Fläche" mit Wasser abgespült. Die "feinsten Kritzen" wurden "sichtbar" und die Richtung "durch genaue Messung mit dem Compass" festgestellt (S. 54).

Beurteilte man alle als Gletscherspuren betrachteten Phänomene richtig? Kannte man alle Spuren? Bei der Feststellung viel älterer Eiszeiten (s. d.) wurde man etwa auf die **Facetten-Geschiebe** (s. E. PHILIPPI 1908) aufmerksam. **Kantengerölle**, manchmal dreikantige "Dreikanter". fand WALTHER (1887) in der ägyptischen Wüste und führte sie, an harten Kalkgeröllen, auf Windschliff zurück. Die Steine mußten etwa durch Nachbarschaft zu anderen lange in einem kleinen Windkanal gelegen haben oder, im Falle der Dreikantigkeit, mußte sich diese Richtung auch einmal ändern. Nicht alle Steine in einem Gebiet waren davon betroffen und WALTHER (S. 135) fand "alle möglichen Uebergänge ... von völlig runden Flächen zu kaum bemerkbaren Kanten und endlich bis zu schneidenden Schärfen." Sie glichen "in ihrer Gestalt solchen aus dem norddeutschen Diluvium zum Verwechseln", und Wind im Gletschervorland mochte diese Gestalten geschaffen haben. Oder geschah es auch anders? Im Geschiebe?



Abbildung 204: Windkanter. Gommern.

Die Landschaft der Vereisungsgebiete und ihre Formen

Die Drei von der Eiszeit-Erforschung in der norddeutschen Tiefebene: BERENDT, WAHNSCHAFTE, KEILHACK

Neben anderen und Späteren hoben sich einige Erforscher des norddeutschen Flachlandes zuerst und wegbereitend heraus.

Einer der ersten Geologen, die sich der norddeutschen Tiefebene zuwandten und ihre Bildungen gliederten, war GOTTLIEB **BERENDT** (K. KEILHACK 1899, 1919, H. QUIRING 1955). Er erforschte damit jene weite Räume einnehmenden Bildungen, welche die 'richtigen' Geologen bisher eher verachtet, wenigstens nicht besonders beachtet hatten. BERENDT war am 4. Januar 1836 in Berlin in einer evangelischen Pfarrersfamilie geboren worden. Nach der Reifeprüfung am Berliner Friedrich-Wilhelm-Gymnasium zu Ostern 1857 studierte er das "Bergfach", beteiligte sich an der geologischen Kartierung zuerst um Eisleben und dann im Auftrag der physikalisch - ökonomischen Gesellschaft in Königsberg, wo er in 9 Jahren 12 von 17 Blättern der Provinz Preußen im Maßstab 1 : 100000 zuwegebrachte. Nach der Habilitation an der Universität Königsberg war er dort 1873 auch zum außerordentlichen Professor ernannt worden. Am 1. April 1874 wurde BERENDT Mitarbeiter bei der neu gegründeten Preußischen Geologischen Landesanstalt in Berlin. In den Jahren 1875 bis 1904 war BERENDT Landesgeologe und Leiter der Flachland- Abteilung an der Geologischen Landesanstalt in Berlin. Die Flachlandkartierung geschah durch Anlegung von Bohrungen von 2 Meter Tiefe in angemessenen Abständen. BERENDT untersuchte auch die Land - und Süßwasser-Konchylien im Interlazial. Seinen Lebensabend verbrachte der anson-

sten kaum über die Flachlandsablagerungen hinausgereiste BERENDT auf seiner Besitzung Adlerfels in Schreiberhau am Nordfuß des Riesengebirges, inmitten von Blockanhäufungen gelegen. Von hier aus verteidigte er nochmals seine jedoch nicht akzeptierte Auffassung von einer Totalvergletscherung des Riesengebirges, ja des einstigen Zusammenhanges der örtlichen Mittelgebirgsgletscher mit dem aus Skandinavien herangerückten Inlandeis. BERENDT starb am 27. Januar 1920 in Schreiberhau.

Nach der Pensionierung BERENDTs übernahm die Leitung der Flachlandaufnahme der zu seiner Zeit führende Flachlandgeologe FELIX **WAHNSCHAFTE** (v. KRUSCH 1914). Am 27. Januar 1851 war WAHNSCHAFTE als Sohn des Kreisrichters in Kaltendorf bei Öbisfelde am Rand der Magdeburgischen Börde geboren worden. Nach dem Besuch der Dorfschule erhielt er Unterricht im Predigerhaus in Ampleben südlich vom Elm. Ab April 1862 besuchte er das Pädagogium "Kloster Unserer Lieben Frau" in Magdeburg. Im Oktober 1871 legte er das Abitur ab. Er studierte dann Naturwissenschaften an der Universität Leipzig, wo er etwa CREDNER und ZIRKEL hörte. Im Oktober 1874 setzte er das Studium in Jena fort. Sein besonderes Interesse galt auch der Chemie. Im Jahre trat WAHNSCHAFTE in die Kgl. Geologische Landesanstalt in Berlin und in die dortige Bergakademie und wirkte zunächst als Chemiker an der geologisch - agronomischen Aufnahme des Flachlandes, bei der Bodenanalyse. Nach der Habilitation für allgemeine Geologie und Bodenkunde an der Universität Berlin am 18. Februar 1886 hielt dort auch Vorlesungen und erhielt 1892 den Titel Professor. Im Jahre 1900 übernahm WAHNSCHAFTE nach der Pensionierung von BERENDT die Leitung der geologischen Flachlandaufnahme. Besonders betont wurde seine Konzilians, so: "Infolge seiner angeborenen Liebenswürdigkeit kam es auch da, wo er anderer Meinung war, nie zu schroffen Differenzen, stets überwog das versöhnliche Moment und das Bestreben, dem wissenschaftlichen Gegner Brücken zu bauen." WAHNSCHAFTE verfaßte auch das seinerzeit verbreitetste diluvialgeologische Lehrbuch (1891), dem später von PAUL WOLDSTEDT, der ebenfalls von der Preußischen Geologischen Landesanstalt kam, das Werk "Das Eiszeitalter" in 3 Bänden 1929 folgte.

Neben WAHNSCHAFTE wirkte und folgte als dessen Nachfolger KONRAD **KEILHACK** als führender Flachlandgeologe der Preußischen Geologischen Landesanstalt (G. ENGELMANN 1977, F. W. P. LEHMANN 1928, P. WOLDSTEDT 1947, 1949 b), gemäß P. WOLDSTEDT (1947, S. 229) die "letzte markante Persönlichkeit aus der ersten großen Generation der Preußischen Geologischen Landesanstalt". KEILHACK war das 2. Kind von 16 Geschwistern und wurde in Oschersleben geboren. Das Gymnasium besuchte KEILHACK in Gera, wo er von THEODOR LIEBE für die Geologie begeistert und schon zu Kartierungsarbeiten herangezogen wurde. Ab Ostern 1877 studierte KEILHACK in Jena, Freiberg und Berlin Natur-

wissenschaften und Geologie, promovierte 1881 mit einer petrographischen Arbeit über den Granat in Gesteinen und wurde zunächst Hilfsgeologe an der Preußischen Geologischen Landesanstalt. Im Sommer 1883 ließ er sich zu einer Islandreise beurlauben. KEILHACK kartierte dann in den preußischen Provinzen Brandenburg und Sachsen und kartierte ab 1888 für mehr als ein Jahrzehnt einen breiten südnördlichen Querstreifen durch das Moränenland in Hinterpommern. Im Jahre 1890 wurde KEILHACK Landesgeologe, 1914 folgte er dem 1913 verstorbenen WAHNSCHAFTE als "Abteilungsdirigent", später "Abteilungsdirektor" für die Flachlandaufnahmen der Preußischen Geologischen Landesanstalt. KEILHACK fand im 86. Lebensjahr am 10. März 1944 bei einem Luftangriff auf Berlin den Tod.

Landschaftselemente im Gletscherland, im Norden Mitteleuropas in der Vergangenheit

Materialtransport durch und vor allem unter dem Gletscherreis

Während in Skandinavien die Gletscher vor allem für Ausräumen sorgten, wurde in ihren Endgebieten, also in Mitteleuropa, **angehäuft**. Das geschah überall auf dem Wege der Gletscher unter ihnen und führte zur Grundmoräne und am Ende zu den Endmoränen. Es gab, und besonders auch beim Rückzug, keine einheitliche Gletscherfront, sondern vorpreschende **Loben**, so der Oder- und der Weichsel-Lobus. Auf Grönland konnte festgestellt werden, das die 50 Meter am Grunde des Inlandeises, also der Gletscher über der überfahrenen Landoberfläche. "vielfach" ein "eisarmer Moränenbrei" sind (K. VON BÜLOW 1927, S. 280), also **große Materialmengen** von der irgendwo abgehobelten Unterlage **mitgeschleppt** werden.

Grundmoräne - weithin prägendes Landschaftselement etwa in Mecklenburg-Vorpommern

Was sich unter den Gletschern zusammenhäufte, der Geschiebemergel der **Grundmoräne**, nimmt mit ihren mehr oder weniger großen Geschieben in einem lehmig-tonigen Grundmaterial einen großen Teil des Flachlandes im nördlichen Mitteleuropa ein und hat eine Mächtigkeit, die sich mit den Ablagerungen ganzer Formationen oder wenigstens von Abteilungen vergleichen läßt. PENCK (1879) schrieb



Abbildung 205: Grundmoränenland, N-Mecklenburg.



Abbildung 206: Kuppige Grundmoränenlandschaft.

von der "**Geschiebformation** Norddeutschlands". Zum Teil ganz eben ist die Grundmoränenlandschaft das nicht überall.

Eis ist zwar gefrorenes Wasser, aber die Grundmoräne offenbarte erstmals gewaltige Sedimentmassen, die nicht Wasserabsatz waren wie noch im wesentlichen in LYELLS driftenden Eisbergen, sondern **Festlandssediment**. Wüstenablagerungen wurden bald als weitere Festlandsedimente erkannt (J. WALTHER 1891).

Am auffallendsten im norddeutschen Flachland: Endmoränen

Beim Stillstand häufen Gletscher, in den Hochgebirgen wie einst im nordmittel-europäischen Flachland an ihrer Stirn, ihrer Vorderfront, mitgeführte und mitgeschobene Gesteinsmassen an: die **Endmoränen**.



Abbildung 207: Gletscherstirn. Pasterze.

Bei den breiten Gletschern im Norden entstanden regelrechte Hügelsketten von **Endmoränen**.

TORELL (F. WAHNSCHAFTE 1901) hat im Zusammenhang mit der Versammlung der deutschen geologischen Gesellschaft vom 11. bis 14. August 1880 in Berlin an einer Exkursion in das Gebiet um Eberswalde - Niederfinow - Oderberg teilgenommen und bei Besichtigung "der großen Steingruben in den Geschiebewällen zwischen Liepe und Oderberg" (F. WAHNSCHAFTE 1901, S. 72) ausgesprochen, daß es sich bei diesen Bildungen um Endmoränen handeln müsse.

Die weiträumige Feststellung der **Endmoränen** und der in ihrem Vorland befindlichen Schmelzwasserablagerungen geht vor allem BERENDT zurück, wobei die Endmoränenbildungen gar nicht zu dem oft benutzten Ausdruck vom norddeutschen "Flachland" passen und einige der reizvollsten, nunmehr auch touristisch beliebten Gebiete in Deutschland durch die von ihnen gebildeten Hügelszüge bestimmt werden. BERENDT hat die Hügelszüge der Endmoränen im nördlichen Brandenburg und südlichen Mecklenburg abgewandert und so erfaßt. 1887 verfolgte er den Joachimsthaler Geschiebewall. Etwa 1888 hat er das Gebiet von Ringenwalde "bis in die Gegend des mecklenburgischen Städtchens Feldberg" und dann bis in die Gegend bis "nahe vor Neu-Strelitz, ... also mehr als 50 Kilometer" verfolgt. Nach Osten hin in der Uckermark war BERENDT 1889 (S. 303) überrascht von der ebenso die großen südlichen baltischen Endmoräne (G. BERENDT 1889, S. 303) deren wallartig fortlaufender Höhenkamm, "von dessen Rücken man beiderseits mehr oder weniger weit das Land zu überschauen im Stande ist", "was auch ich selbst früher in dem Grade gar nicht kannte." Es war also regelrecht eine Entdeckung der deutschen Heimat. Den dort Wohnenden waren die Verhältnisse sicherlich bekannt, nun von der Wissenschaft auch festgestellt.



Abbildung 208: Endmoräne, Rauen.



Abbildung 209: Endmoräne Ruppiner Schweiz.



Abbildung 210: Endmoräne Joachimsthal.

A. PENCK (1884) gab zu bedenken, daß stärkere Eismassen das Land niederdrücken mußten und damit die Richtung von Wasserläufen unter dem Eis beeinflußt waren, was auch die Lage von Seen im Bereich der Endmoränen bestimmen mußte.

Auch KEILHACKS (1898) und anderer Wirken galt der Feststellung der **Endmoränenzüge**, wobei es manche Schwierigkeiten bereitete, die Längshügelzüge den einzelnen Eiszeiten beziehungsweise ihren Stadien zuzuordnen und eindeutige Kriterien für Endmoränen zu besitzen. Hatte man zunächst Blockpackungen als einziges untrügliches Merkmal von Endmoränenbildungen anerkannt, so wurden dann auch wallartige Erhebungen, nicht immer mit Blöcken beschüttet, als Endmoränen gedeutet.

Später, 1929, hat namentlich KARL GRIPP, Kustos am Geologischen Staatsinstitut Hamburg, nach seinen Forschungen in Spitzbergen nachweisen können, daß die meisten Endmoränen nicht allein Aufschüttungsmoränen, sondern daß die eigentlichen Wallmoränen Staubbildungen, **Stauchmoränen** sind (P. WOLDSTEDT 1929, 1948), an der Gletscherstirn zusammengeschobenes Material.

Seitenmoränen gibt es nur in den schmalen langgestreckten Gletschern der Gebirgstäler.

Trotz allem noch Skepsis gegenüber der Inlandvereisung

Manche Geologen erkannten die ehemalige Inlandeisbedeckung Norddeutschlands und damit die Eiszeit oder gar die Eiszeiten nur zögernd an, so KARL von FRITSCH (O. LUEDECKE 1906) in Halle. Ein Argument gegen die Inlandeistheorie war, daß



Abbildung 211: Gletscher Pasterze. Tauern.



Abbildung 212: Seitenmoräne. Pasterze.

Gletscher angeblich abwärtsgeneigtes Gelände benötigen, um sich zu bewegen, also nicht über Ostsee und das norddeutsche Flachland vorangekommen konnten.

Damit wurde von anderen auch zugunste der Drifttheorie argumentiert. Auf See hatte auf die Eisberge gefallen Gestein aus dem Norden freie Fahrt. Zu Beginn einer Eiszeit oder an ihrem Ende mochte die dabei kalte Ostsee durchaus Eisberge getragen haben, aber nur eventuelle wenig zu dem Gesteiutransport beigetragen haben (E. KUMMEROW 1928, S. 410).

Gerade durch die Endmoränen: Das Eiszeitalter wird immer besser gegliedert

Eine schon bald nach 1875 gewonnene und die Glazialforschung stark bestimmende Erkenntnis war die von einer offensichtlichen **Mehrheit von Gletschervorstößen**, ja damit von verschiedenen durch Warmzeiten getrennten Eiszeiten in einem Eiszeitalter, dem **Pleistozän**. Diejenigen, welche mehrere wirkliche Eiszeiten und nicht nur Oszillationen eines Eisvorstoßes anerkannten waren die "**Polyglazialisten**" (C. GAGEL 1913, S. 326). Mit dem Nachweis von längeren Erwärmungen im Pleistozän zwischen den weitreichenden Eisvorstößen kam ein zu neuen Diskussionen und Überlegungen führender Gesichtspunkt in die Glazialgeschichte, die notwendige **Anerkennung beachtlicher Klimaschwankungen** in einer geologisch übersehbaren Zeit.

Für die Alpen hatte bereits J. VENETZ 1821, also lange vor der Begründung der modernen Glazialtheorie, bei Evian am Genfer See ein Lignitlager zwischen 2 Moränen gefunden und auf eine wärmere Zeit zwischen zwei getrennten Gletschervorstößen geschlossen (P. WOLDSTEDT 1948). Nach 1875 sah PENCK für das deutsche Alpenvorland und vor allem für das Etschgebiet 3 Eiszeiten. Zwischen Moränenablagerungen fanden sich zunehmend nicht von Gletschern herrührende Ablagerungen, so mächtige Lager von Flußgeröllen, von Gehänge- oder Wildbachschutt, auch mit fossilen Pflanzen, auch Lager von Torf, selbst marine Sedimente und Löß (E. BRÜCKNER 1891). Für Norddeutschland wurden bald ebenfalls mehrere, mindestens 3 Eiszeiten anerkannt. Schon BERENDT und LOSSEN hatten erkannt, daß im norddeutschen 'Diluvium' auf große Strecken eine gleichbleibende **Zweiteilung** der Ablagerungen möglich ist, nämlich in eine untere Abteilung des Unter-Diluvium und eine obere des Ober-Diluvium. Das wurde 1879 durch HELLAND mit zwei voneinander getrennten Vereisungen erklärt. A. PENCK schrieb dann von äußeren, stärker abgetragenen Moränen mit teilweiser Lößbedeckung und von inneren, seenreichen Moränen. PENCK führte solche Unterscheidung der Moränen vor allem für das Alpenvorland aus (K. GRIPP 1924). Löß fand sich in

Bayern nicht auf den 'Anschwemmungen' der letzten Vereisung (F. KLOCKMANN 1883).

Im Jahre 1883 führte die Existenz von Hinterlassenschaften von 2 verschieden alten Vergletscherungen für Norddeutschland F. KLOCKMANN näher aus. Er ließ offen, ob das auf zwei wirklich 'selbstständige' Eisbedeckungen Norddeutschlands zurückzuführen ist oder nur beträchtliche Oszillationen derselben Eisdecke vorlagen. Der Geschiebemergel wurde als die Grundmoräne von Gletscherbedeckungen anerkannt. Es war auch klar geworden, daß die untere 'Diluvialabteilung' weiter reicht, "grösser ist" (S. 241), als die jüngere. Ein Oberer und damit jüngerer Geschiebemergel ließ sich etwa in Sachsen nicht nachweisen und auch die Lüneburger Heide erschien als der Hauptsache nach aus 'Unterm Diluvialsand' aufgebaut. Nur das Gebiet der jüngsten Vereisung war, wie deutlich wurde und schon KLOCKMANN (1883) festgestellt hatte, durch deutliche Moränen, wassergefüllte Becken- und Binnenseen, auch Sölle, und durch häufige grobe Kies- und Geschiebelagen ausgezeichnet. Der mitteldeutsche Löß kam andererseits dort vor, wo der Obere Geschiebemergel fehlte, war also nicht im Bereich der Gletscher selbst abgelagert worden.

Auf K. KEILHACK gehen für die Eiszeiten des Quartärs in Norddeutschland die Bezeichnungen **Elster-Eiszeit**, **Saale-Eiszeit** und **Weichsel-Eiszeit** zurück. Die mit alphabetisch geordnetem Anfangsbuchstaben gegebenen Bezeichnungen wurden bei Anerkennung der Gleichzeitigkeit mit den Eiszeiten in den Alpen mit den dortigen, ebenfalls mit den Anfangsbuchstaben in alphabetischer Reihenfolge anerkannten Mindel-, Riß-, Würm-Eiszeit verknüpft, also zusammengezogen als Mindel-Elster-Eiszeit, Riß-Saale-Eiszeit, Würm-Weichsel-Eiszeit.

Statt verschiedene Eiszeiten wie die sich mehr und mehr durchsetzenden 'Polyglazialisten' wollten manche Forscher, die '**Monoglazialisten**', so FRECH (1905), auch nach den Forschungen in Norddeutschland nur eine einzige umfassende Eiszeit anerkennen und lediglich Vorstöße und teilweise Rückzüge der Gletscher in diesem ansonsten einheitlichen Gesamtgeschehen akzeptieren. Vorstöße und Rückbildungen gab es gewiß manche, die Frage war nur, wie weit jeweils der Rückzug erfolgte, ob nur ein Stück innerhalb Mitteleuropas oder weit nach dem Norden, nach Skandinavien und darüberhinaus. Eben so weit nach Norden, daß man nicht mehr von einer einzigen "Eiszeit" im üblichen Verständnis sprechen konnte. Wie oft Norddeutschland vom Eise bedeckt war, wurde jedoch auch noch in den 20er Jahren des 20. Jh. und später kontrovers erörtert (L. VAN WERVEKE 1928). Manche Forscher wollten nur eine dreimalige Vereisung anerkennen, andere sahen eine viermalige Gletscherbedeckung und konnten damit einen Parallelismus zu der vermuteten Zahl der alpinen Vergletscherungen vermuten. Allgemein werden auch heute 3 sicher nachgewiesene Eiszeiten anerkannt. Aber zunehmend **Interstadiale**, Oszil-



Abbildung 213: Eisgestauchter Bänderton. Niemegk.

lationen wurden auch gefunden und die schöne Aufzählung der wenigen Eiszeiten ist mehr für den Schulunterricht ausreichend. So wurde zwischen 2 Vorstößen der Weichsel-Eiszeit die Steinzeit-Kultur des Aurignac angesetzt (H. GALLWITZ 1937, S. 622).

Auswirkungen der mehrfachen Gletschervorstöße in den verschiedenen Landschaften Mitteleuropas

Gab es mehrere Eiszeiten, dann war etwa in Mitteleuropa auch zu klären, wie **weit die verschiedenen Eisvorstöße** reichten und in wie weit sich die Spuren der verschiedenen Eiszeiten in unterschiedlicher Weise erhalten hatten. Inwieweit die **Landschaften durch die einzelnen Eisvorstöße unterschiedlich geprägt** wurden. **Ältere Eisvorstöße** hatten sicherlich ebenso Seebecken hervorgebracht, aber an ihre Stelle traten durch Verwitterung in der Warmzeit limnische Sedimentlager aus Kalk, Kieselgur, Faulschlamm, Ton in Hohlformen. **Reichte eine Vergletscherung weiter als eine nachfolgende**, dann **blieben die Spuren auch der vorangegangenen Vergletscherung erhalten**, wenn auch wegen der längeren Dauer der Verwitterung weniger gut als die einer jüngeren Vergletscherung, wurden also ältere Vergletscherungsspuren durch eine jüngere Vergletscherung teilweise verwischt. Soweit das Eis reichte, gab es vor allem Akkumulation von Material und gibt es die durch Akkumulation geschaffenen Formen (Moränen). Im Vorland gab es in dieser Zeit mehr Abtragung.

Weiteres zur Eiszeit-Gliederung als die Endmoränen lieferte die Auswertung der **Terrassen an Flüssen von Thüringen**, namentlich der Ilm, gelangte in den 20er Jahren des 20. Jh. SOERGEL zu einer weiteren Feingliederung des Eiszeit-



Abbildung 214: Feuerstein in Rügen-Kreide.

alters. Er fand mehr als 3 Perioden von Eisvorstößen, wobei ein Teil nicht vollen Eiszeiten entsprechen mochte, sondern auf lediglich Interstadiale zurückzuführen sein konnte. Die Gliederung des Eiszeitalters war demgemäß zu verfeinern, auch etwa die Lößablagerungen zu untergliedern.

Es wird nun auch von der Elster-Eiszeit **vorangehenden Kaltzeiten** ohne große Vergletscherung in Mitteleuropa ausgegangen, genannt Brügge, Eburon, Menapi (R. WALTER 1995, S. 34).

Untersuchungen zu den verschiedenen Eisvorstößen

Endmoränen, mehr abgetragen, hinterließen die früheste und vorletzte Eiszeit, die **Elster- und Saale-Eiszeit**, bis hinein nach Sachsen, etwa um Taucha bei Leipzig und bei Meißen.

Die **Elster-Eiszeit** wurde als die etwa in Sachsen und Thüringen am weitesten ausgedehnte erkannt (P. WOLDSTEDT 1948), erkennbar an der in eine Karte eingezeichneten südlichsten Vorkommen von Feuerstein, der 'Feuersteinlinie'. Feuerstein, ein Quarz, findet sich anstehend in der Kreide im Norden. auf Rügen etwa. Feuerstein gibt es zwar nicht nur dort,, aber was nach Mitteldeutschland verfrachtet wurde stammt von da.

Gletscherschliffe tief in Sachsen gehören offensichtlich zur **Elster-Eiszeit**.

Die **Saale- resp. Riß-Eiszeit** reichte in Sachsen bis weit in die Leipziger Tieflandsbucht, wo sich noch eine mehr oder weniger deutliche Endmoränenstaffel erkennen läßt und bis hierher brachte sie große Felsblöcke. Hügel um Taucha, so der Wachberg, sind mittlerweile überbaut.



Abbildung 215: Feuersteinfelder Rügen.



Abbildung 216: Eisüberfahren? N Kamenz.



Abbildung 217: Gletscherspuren Bahnhof Demitz-Thumitz.



Abbildung 218: Elstereiszeit-Schliff Demitz W Bautzen.



Abbildung 219: Saale-Eiszeit. Taucha bei Leipzig.



Abbildung 220: Blöcke der Saale-Eiszeit, Taucha.



Abbildung 221: Saale-Eiszeit b. Taucha.



Abbildung 222: Fläming b. Belzig.



Abbildung 223: Im Fläming 'Rommel' Neuendorf.

Wohl diese Saale-Eiszeit hinterließ als ihre lange West-Ost-Endmoräne den **Fläming**, den südbrandenburgischen Höhenzug, der beispielsweise etwas nördlich von Wittenberg ansteht und im Hagelberg bei Belzig bis 200 m Höhe erreicht (auch Wikipedia 2013). Die Gletscher der nächsten Eiszeit, der Weichsel-Eiszeit, blieben nördlich des Fläming stehen. In ihm gab es zu dieser Zeit Periglazialerscheinungen, so Trockentäler, die "Rummeln" und finden sich Windschliffe.

Die Vergletscherung der Saale-Eiszeit reichte jedoch in einem älteren Stadium, dem **Drehnte-Vorstoß** auch weiter nach Süden über den Fläming hinaus, in Sachsen bis in die Gegend nördlich von Meißen, wo sich bei Nieder-Muschütz im Eckardtsberg eine Endmoräne kundtut (H.-D. BEEGER et al. 1965, S., 65).

Als am Friedhof in Bernburg Kies und Sand abgebaut wurde, erschienen darunter glattgeschliffenes Gestein und wurde das der Saale-Eiszeit zugerechnet, geschützt als Naturdenkmal 'Bernburger Gletschergarten'.



Abbildung 224: Endmoräne N Meissen.

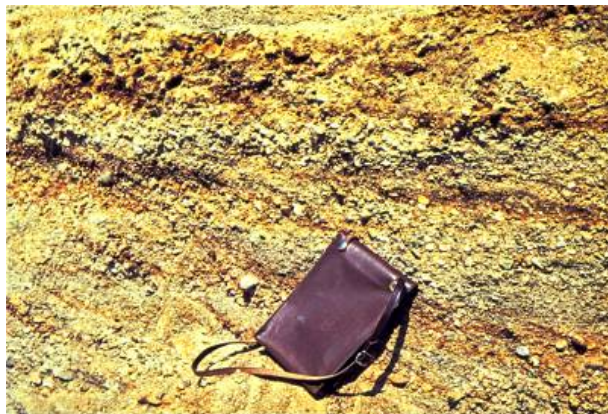


Abbildung 225: Gilt als Oser, O Halle.



Abbildung 226: Eisgerundete Porphyrkuppe Hohenthurm.



Abbildung 227: 'Gletschergarten' Bernburg.



Abbildung 228: Märkische Schweiz. Endmoränen Saale-Eiszeit.

Umstritten war eine eigene **Warthe-Eiszeit** im Anschluß an die Saale-Eiszeit, die im Fläming ihr deutlichstes Zeugnis hinterlassen haben sollte. Sie wurde dann als Spätphase der Saale-Eiszeit aufgefaßt, als Warthe-Stadium, weil eine marine Transgression im Nordsee- und Ostsee-Bereich zwischen Warthe- und Würm-Eiszeit nicht festgestellt werden konnte.

In der Mark Brandenburg ist eine landschaftlich schöne, der Saale-Eiszeit zugeordnete Endmoränenlandschaft die **Märkische Schweiz**.

WILHELM WOLFF (1915) und KARL GRIPP (1924, 1925) unterschieden zwischen einer **alten und einer jungen Moränenlandschaft**. K. GRIPP 1891 in Hamburg geboren, wirkte dort an der Universität, war nach dem Zweiten Weltkrieg Professor in Kiel. Den Raum namentlich zwischen Hamburg und Lübeck kannte er ausgezeichnet. GRIPP (1925) betonte die scharfe Grenze zwischen den Endlagen der beiden letzten Eiszeiten. Immer wieder wurde nun diskutiert, **wie weit** die offensichtlich **verschiedenen, getrennten Vergletscherungen in Mitteleuropa nach Süden reichten**. Von den **Altmoränen** unterscheiden sich die besser erhaltenen **Jungmoränen**. KEILHACK sah 1898 im **Fläming**, dem im wesentlichen ostwestlichen Höhenzug in der südlichen Mark Brandenburg, die äußerste Randlage der letzten Eiszeit, WOLFF rechnete dazu auch den Höhenzug der Letzlinger Heide (O. v. LINSTOW 1905). WERTH verband den **äußersten Eisvorstoß der vorletzten Eiszeit** zu einem großen zusammenhängenden **Endmoränenzug Harburg-Fläming**, womit vor allem der **Höhenzug des Fläming** in der südlichen Mark Brandenburg seine Einordnung in das Glazialgeschehen bekam (K. GRIPP 1924), also doch in die vorletzte, die Saale-Eiszeit. K. GRIPP (1925) stellte geologische und morphologische Übereinstimmungen fest. Es gibt

also auch insgesamt gut erhaltene Moränenzüge, die der vorletzten Eiszeit, der Saale-Eiszeit, angehören.

Es wird nun gesprochen vom **Südlichen Landrücken**, aus den Moränen des jüngeren Stadiums des Saale-Glazials, also vor allem dem Fläming, und dem nicht einheitlichen **Nördlichen Landrücken** aus den Moränen des **Weichsel-Glazials** (so bei D. HENNINGSEN et al. 2002, S. 166). Auch der Südliche Landrücken weist durchaus Erhebungen wie im Nördlichen Landrücken auf, im Wilseder Berg in der Lüneburger Heide mit 169 m. In dem von den Gletschern der **Weichsel-Eiszeit** erreichten Gebiet, dem '**Jungmoränengebiet**', sind die Formen bei aller Denudation am besten erhalten, sind am frischesten, und von Mecklenburg-Vorpommern gehören über 90% des Landes zum Jungmoränengebiet (G: KATZUNG et al. 2004, S. 285 ff.). Durch die Preußische geologische Landesaufnahme in Preußen, das heißt in der Mark Brandenburg, Pommern und den Ostgebieten, durch F. E. GEINITZ in Mecklenburg, durch C. GOTTSCHKE in Schleswig-Holstein schälten sich am Ende des 19. Jh. die **Endmoränenzüge** zunehmend heraus, wobei sie etwa bei F. WAHNSCHAFTE als "**Stillstandslagen**" gesehen wurden, gebildet dort, wo der Eisrand für längere Zeit lag. Oszillieren war durchaus auch gegeben (K. v. BÜLOW 1952). GEINITZ (K. KEILHACK 1898) unterschied in Mecklenburg 3 Endmoränenzüge. Am undeutlichsten erschien der mit den Ruhner Bergen.

Deutlich hebt sich der zweiteilige "**Baltische Höhenrücken**" des **Weichsel-Glazials** heraus, mit dem **Thorn-Eberswalder Haupttal** vor ihm und in der Mark Brandenburg recht weit nach Süden reichend. Auf der Übersichtskarte erscheinen der baltische Endmoränenzug als **gegliedert in Bögen**, darunter 3 große, die den **Loben** eines nicht einheitlichen Gletscherrandes entsprächen. Beim Baltischen Höhenrücken ließen sich unterscheiden eine **Äußere Baltische Endmoräne**, die Folge des Eisvorstoßes des 'Brandenburgischen Stadium', und von dem sich umstritten (Wikipedia 2013) ein 'Frankfurter Stadium' abtrennen läßt.

Weiter im Norden, also näher dem Baltikum, liegt die **Innere Baltische Endmoräne**, das 'Pommersche Stadium' der Eisvorstöße (s. K. VON BÜLOW 1952, S. 35). Manche Eisrandlage war nur auf kürzeren Strecken vorhanden, und es gab auch Nebenendmoränen (TH. HURTIG 1957). Für VON BÜLOW gab es (1927, S. 282) in Norddeutschland keinen "eigentlichen - kontinuierlichen oder rhythmischen - Rückzug des Eisrandes, sondern eine Schritt für Schritt fortschreitende Abspaltung toter Randstreifen, deren Vorhandensein den Abtransport des Moränenmaterial's hinderte und so u. a. zur Anhäufung von Endmoränenzügen führte." Einem nochmaligem Eisvorstoß vor etwa 13.700 Jahren verdanken ihre Existenz die **Brohmer Berge** (u. a. Wikipdeia 2013), eine Stauchendmoräne, als ein 'Mecklenburger Stadium' bezeichnet, bis 153,1 m hoch. Gestaut wurde dieser Gletscher durch die vor ihnen liegenden Hinterlassenschaften des Pommerschen Stadiums, Endmoränen



Abbildung 229: Bei Lebus Abfall zum Urstromtal/Oder.

und Grundmoränen. Tertiär wurde emporgerissen. Im Hinterland gab es Stauseen. In neuerer Beschreibung der Endmoränen (G. KATZUNG et al. 2004, S. 287) und den sie auch anzeigenden vorgelagerten Sandern der Weichsel-Eiszeit folgt von Süd nach Nord in der 'Äußeren Baltischen Endmoräne' auf eine Brandenburger Randlage eine Frankfurter Randlage und nördlich davon liegt die Mecklenburgische Seenplatte. Es folgt eine 'Frühpommersche Endmoräne' und fast lückenlos, in Loben gegliedert, folgt die '**Pommersche Hauptrandlage**', also die 'Innere Baltische Endmoräne', die sich als das blaue Band hinzieht. Aber eine volle Klarheit, eine Übereinstimmung mit all den Erhebungen, wurde nicht erreicht (G. KATZUNG et al. 2004, S. 285 ff.). Weitere Randlagen sind undeutlicher (S. 290), als Endmoränen angesehene Höhenzüge auf **Rügen** enden seitlich an der Ostsee.

Endmoränen, und vor allem die jüngsten - sie formen die Landschaftsschönheiten, ja die landschaftliche Lieblichkeit einiger Teile des nördlichen Mitteleuropa - bis 125 m hoch westlich des Kummerower See, 144 m hoch die 'Hohe Burg' unweit Bützow (K. VON BÜLOW 1952, S. 35), reichlich 153 m an Höhe die Brohmer Berge (K. VON BÜLOW 1952), gar 331 m hoch im Turmberg/Wiezyca, südwestlich von Danzig/Gdansk.

Die großen Güter der mecklenburgischen Großgrundbesitzer liegen vor allem auf der flachen Grundmoräne. Abwechslungsreicher war der Besitz und vor allem die wunderschöne Landschaft im Gebiet der Endmoränen, namentlich der jüngsten. Der Mecklenburg-Geologe VON BÜLOW (1952, S. 38) schildert: "Kein Weg, keine Straße vermögen längere Zeit ohne Krümmung zu verlaufen. Zahlreiche kleine Waldstücke auf steilen Kuppen durchsetzen die Landschaft; andere Steilkuppen und stark geneigte Hänge tragen Dauerweiden. Die Dörfer sind durch Feldstein-



Abbildung 230: Märk. Schweiz Frankfurter Stadium.



Abbildung 231: Meckl. Baltische Endmoräne.



Abbildung 232: Am Horizont die Baltische Endmoräne.



Abbildung 233: Endmoräne 'Hohe Burg' b. Bützow.



Abbildung 234: Brohmer Berge.



Abbildung 235: Brohmer Berge. Meckl..



Abbildung 236: NO-Pommern.



Abbildung 237: Glaziallandschaft Gdansk.

bauten und Mauern von Findlingen ausgezeichnet.” Und die Endmoränen sind -
 ”die Heimat unserer schönsten Buchenwälder.”

Zwei parallele Endmoränenzüge im südlichen Finnland, die Salpausselkä, erreichen bis 233 m Höhe. Die Eisscheide der letzten Vereisung erkannte ARVID GUSTAV HÖGBOM (E. L. JUNGNER 1940), der 'Altmeister der Geologie Schwedens', als sehr östlich, unabhängig von der heutigen Wasserscheide (W. CREDNER 1940).

Im Vorland der letzten Eiszeit überwiegt trotz Sandanhäufung die Nivellierung, aber gibt es auch Erosionsformen der von den älteren Vergletscherungen stammenden Ablagerungen. Außerhalb der jüngeren Moränengrenze fanden sich Erscheinungen des Erdfließens, gab es also während der letzten Vergletscherung Periglazialerscheinungen, dort hielten sich, wenn etwa überdeckt, ebenso Windschliffe (K. GRIPP 1925). Etwas unsicherer war, die Grenze zwischen den beiden letzten Eisvorstößen durch die Verbreitung der Sölle zu ermitteln. Die Grenze zwischen älteren Vereisungen und jüngeren erschien namentlich in Schleswig-Holstein deutlich, wo unter Wirkung des strömischen und feuchten Seeklimas (W. WOLFF 1915) die Umbildung der älteren Bildungen besonders stark gewesen sein sollte.

Die Interglaziale, auch genannt Zwischeneiszeiten, Warmzeiten

Als **Interglazialbildungen** wurden in der nordmitteleuropäischen Tiefebene festgestellt: Grauer feinsandiger Ton mit zahllosen Konchylienschalen als die sogenannte 'Paludinenbank', Torflager wie bei Lauenburg an der Elbe, Süßwasserkalke,

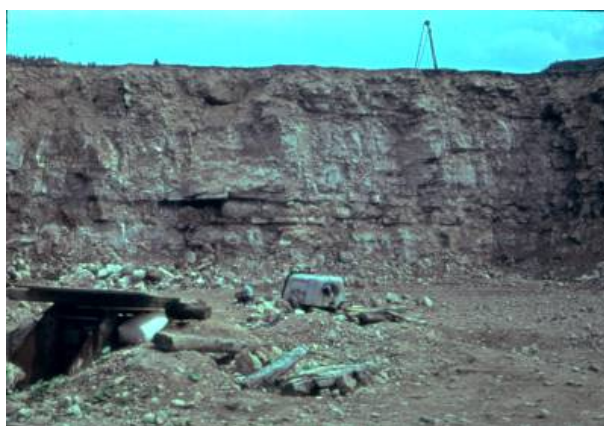


Abbildung 238: Travertin Weimar-Ehringsdorf.

Kieselgurlager (P. WOLDSTEDT 1929). Kalktuff. Kalktuff **Travertin**, wurde abgesetzt auch etwa Ilmtal südlich von Weimar mit dem Zentrum um Ehringsdorf, hier als dekoratives Gestein abgebaut seit 1734 (Wikipedia 2013). Hier wurden seit 1908 auch 7 Vormenschenreste geborgen, 1925 eine weibliche Schädelkalotte mit zugehörigen Skelett-Teilen. Lebten ihre Trägerin in der Eem-Warmzeit, mindestens 120.000 Jahre zurück, oder eine Warmzeit früher? (Wikipedia 2013).

Auf den an der Landoberfläche befindlichen Ablagerungen traten in den Warmzeiten auch Verwitterungshorizonte auf. In den Interglazialzeiten breitete sich das Meer teilweise auf Gebiete aus, die in den Glazialzeiten und teilweise auch heute Festland sind. Während der Interglaziale gab es auch in Mitteleuropa eine reiche Pflanzenwelt, eine manchmal fast an die Subtropen erinnernde Tierwelt.

So wie nach dem letzten Eisrückzug aus Pollen die Florenabfolge ermittelt wurde, ließ sich eine solche Veränderung der Pflanzenwelt mit Hilfe von Pollen, palynologisch, auch für das Holstein- und das Eem-Interglazial ermitteln. es konnte so die **Warmzeitflora** ermittelt werden. Schon im **Holstein-Interglazial** gab es auch in mittleren Breiten neben viel Fichte/*Picea* und Tanne/*Abies* auch *Buxus*, *Vitis*, Flügelnuß/*Pterocarya* (Wikipedia u. a. im Internet 20189).

Die unvollständigen Profile mußten einander ergänzen. Im **Eem-Interglazial** zeigen *Buxus*, *Vitis*, *Ligustrum* u. a. "in Zone 6" das Klimaoptimum

Nach der letzten Eiszeit gab es manche klimatischen Wandlungen, von der letzten Dryaszeit bis heute. und das spiegelt sich in der Flora wider, von nordischen Arten in Mooren bis wärmeliebenden etwa im mitteldeutschen Trockengebiet. Was die Interglazialflora in unserer gegenwärtigen Vegetation betrifft, also nun wieder in einer Warmzeit: Etwa Wassernuß/*Trapa natans* L., Krebschere/*Stratiotes*

aloides L., sind im heutigen Mitteleuropa wenig verbreitete Gewässerpflanzen, die auf wärmere Perioden nach der letzten Eiszeit deuten. Sicherlich gibt es, auch für die *Cladium mariscus*/Cyperaceae, auch andere Gründe, aber eben wohl auch Klimawandel. Die einer kleinen Familie, den Cabombaceae/Haarnixengewächse innerhalb der Ordnung Nymphaeales/Seerosengewächse angehörende *Brasenia*, aus dem Eem-Interglazial bekannt, findet sich in Mitteleuropa gar nicht mehr, trat also nacheiszeitlich nicht mehr auf.

#*Trapa natans* L. Bot. Gart. Halle

Interglazial-Ablagerungen sind aber seltener als glaziale, waren auch angezweifelt als Gebilde wirklicher Warmzeiten (H. GALLWITZ 1937), wurden am ehesten an den Terrassen der Flüsse im Gletschervorland festgestellt. Die Monoglazialisten, welche nur eine große Eiszeit mit etlichen Oszillationen anerkannten, sahen die Interglazialgebilde nur als Ergebnis von Oszillationen mit erhöhter Wärmzufuhr denn als eigenständige 'Zeiten' an. Es wurde sogar diskutiert, ob im Vorland unweit der Gletscher stets normale Verhältnisse herrschten, wie gegenwärtig in Neuseeland, wo auf der Südinsel Gletscher bis an als Regenwald zu bezeichnende Vegetation reichen. Aber Inland-Eis war kein Gebirgsgletscher (C. GAGEL 1913, S. 332). Und die Interglazialpflanzen sowie Interglazialmuscheln und -schnecken sind **keine** Eisrandwesen, die es zweifellos gibt. Und die arktischen Tiere weisen nicht auf die Nähe normaler Vegetation.

Die **Warmzeiten oder Interglaziale** zwischen den nun anerkannten Glazialzeiten in Mitteleuropa und den Alpen sind nach der Elster-Eiszeit resp. Mindel-Eiszeit die **Holstein-Warmzeit** resp. das Holstein-Interglazial, nach der Saale-Eiszeit/Riß-Eiszeit die **Eem-Warmzeit** resp. das Eem-Interglazial. Das **Holstein-Interglazial** wird nun (2018, Wikipedia) auf vor etwa 340.000 bis vor ungefähr 325.000 Jahren angesetzt.

Eem-Ablagerungen wurde als eigene stratigraphische Einheit 1874 erkannt von dem ansonsten als Mediziner tätigen Niederländer PIETER HARTING bei Bohrungen bei Amersfoort in den Niederlanden, wobei sich eine von der heutigen Nordsee-Fauna abweichende Fauna fand, vor allem bei Mollusken (Wikipedia 2013), wobei er bei diesen Ablagerungen noch nicht an eine Einordnung bei Glazialzeiten dachte. Um 1908 wurde die "Eem-Zone" in Holland **zum Interglazial** (P. WOLDSTEDT 1929). Nunmehr werden 7 Interglaziale gesehen (S. L. LEWIS et al. 2015, S. 174). Eem-Ablagerungen (U. MÜLLER in G. KATZUNG et al. 2004, S. 234 ff.), marine, wurden 1893 von Schwaan südlich Rostock bekannt, und fanden sich in Mecklenburg namentlich nahe Flußmündungen



Abbildung 239: Zungenbecken-See Tollensesee.

Die weiteren Bildungen der Vergletscherungen - auch Zeugnisse der verschiedenen Glazialzeiten

Vor allem Ausräumungsprodukte: Seen

Zu den Landschaftsformen im jüngeren Vergletscherungsgebiet gehören vor allem auch die verschiedenen **See**-Typen, deren Entstehung früh debattiert wurde. RAMSAY gehörte zu den ersten, die Seen durch Eis ausgehobelt sahen. Wo das Eis Loben oder Zungen vorschub, dort wurde das Land ausgehobelt und wurden an den Rändern eines solchen Beckens Randmoränen und Endmoränen angehäuft. Als ein solcher **Zungenbecken-See** gilt der Tollensee bei Neubrandenburg. Sein Boden liegt bei etwa 31,2 m höchster Wassertiefe unter dem Meeresspiegel, nur wegen des Wasserspiegels fällt das nicht auf, ist also eine Kryptodepression (Wikipedia 2013).

LOGAN hielt in Kanada die großen Seen nicht für Ergebnis von geologischen Strukturen, sondern, wie AGASSIZ, von Denudation.

In Mecklenburg liegen die schönsten Seengebiete zwischen der Südlichen und der Nördlichen Baltischen Endmoräne (E. GEINITZ 1922, I). **Seen** rückwärts der Endmoräne sind flache Stauseen. **Durch** und vor **Endmoränen** ziehen schluchtartig im engen Tale die tieferen Auswaschungs-Seen, **Rinnenseen**, so der wunderschöne Schmale Luzin bei Feldberg. Südlich von ihm, Richtung Südliche Baltische Endmoräne liegt der 'Breite Luzin', bei Carwitz.



Abbildung 240: Kummerower See.



Abbildung 241: Großseen Masuren.



Abbildung 242: Rinnensee Schmäler Luzin.



Abbildung 243: Breiter Luzin b. Feldberg.

Zurückgebliebenes Eis? - Toteis

Gerade im Zusammenhang mit Seen wurde über das **”Toteis”** diskutiert, nämlich beim Gletscherrückzug zurückbleibende, größere unbewegliche und erst allmählich abschmelzende Eismassen. Hervorgehoben haben das zuerst vor allem W. WOLFF, JOHANNES KORN (MICHAEL 1928), P. WOLDSTEDT (s. 1929, 1948) und KURD VON BÜLOW (1927). VON BÜLOW suchte nach Kriterien, welche auf Toteis und dessen Größe hinwiesen (S. 274). Wo Toteis-Massen waren sollten Sandr fehlen, weil eben kein ausreichender, nur in einer Richtung verlaufender Wasser- ausfluß gegeben war und eine Toteisscholle ”zentripetal” zerfiel. Aber das Fehlen der Sandr sollte auch kein allgemeingültiges Kriterium sein. Bei Totseis sollten Osern/Asarn entstanden sein und sich erhalten haben, sollte es ”tiefe oder breite, weit im Inneren der Hochflächen beginnende Täler” geben, ”steil und tief eingeschnittene, trockene Randschluchten (”Gründe”, ”Rummeln”); Sollrinnen und zahlreiche geschlossene Geländemulden” (S. 274). Vertiefungen konnten zu wasser- gefüllten Becken werden und kleinere Toteis-Vorkommen sollten zu den zahlreichen mehr oder weniger runden kleineren wassergefüllten Vertiefungen, den **’Söllen’** geführt haben, auf der Grundmoräne etwa.

Entstand der See Großer Stechlin aus einer bedeckten Todeismasse in einem Sandr- Gebiet? (Wikipedia 2013). Auch die wesentlichen Züge der kuppigen Grundmoränenlandschaft wurden auf Toteis zurückgeführt. Das Abtauen und Tieftauen des verschütteten Toteises ”im Spätglazial und frühern Holozän” gelten für Mecklenburg (G. KAT- ZUNG et al. 2004, S. 281) als ”die letzten glazialen Veränderungen in der Land- schaft”, und kam dadurch, ”zu einer erheblichen Belebung des glazialen Reliefs, z. B. zur ”Wiedergeburt” von Rinnen und zur Entstehung der Sölle, seit dem Nieder-



Abbildung 244: Soll in Grundmoräne.

tauen des jüngeren Eises aber auch zum Ausgleich durch gravitative Umlagerung bzw. Resedimentation bei Ausbildung von Fließmoränen.”

Durch vom Gletscher wegfließendes Wasser entstandene Formen: Sandr und die windgeschaffenen Dünen

Aus den Endmoränen führte das von ihrer Vorderfront wegfließende Wasser zur Anhäufung von Sand- (Sandr-) Ablagerungen im Vorland. Auch diese sind den einzelnen Vergletscherungen zuzuordnen.

KEILHACK führte den Begriff ”**Sandr**” für die teilweise weitausgedehnten Ablagerungen von sandigem Material im Vorland der Gletscher ein, abgesetzt offensichtlich von aus dem Gletscher ausfließendem Wasser. Die Sandrflächen wurden gefunden als aus einzelnen flachen Schwemmkegeln zusammengesetzt, die von den auf eine Unterbrechung in der Endmoräne bestimmten Rinnentälern ausgehen (P. WOLDSTEDT 1929). Diese Sandr (Sander) verbinden sich mit den noch weiter im Gletschervorland liegenden Urstromtälern, durch welche welche dann die Gletscherwässer meist rechtwinklig zum Gletscherrand abflossen.

Auch KEILHACK war aktualistisch an die Erforschung der Gletscherablagerungen und der Glazialformen herangegangen. Im Sommer 1883 (K. KEILHACK 1883) hat er auf Island die Sandr-Bildung untersucht, wobei ihm zwei große Tiefebene im Süden und im Westen der Insel ’lehrten’, ”was für Sedimente auf ebenem, wenig geneigtem Boden wie der Norddeutschlands vor der Vergletscherung war, sich bilden konnten” (S. 160). An der Südküste Islands fand sich ein 350 Kilometer langer und bis 30 Kilometer breiter, vor dem bis nahe ans Meer herantretenden,



Abbildung 245: Sandr, S Vatnajöküll. Isl..



Abbildung 246: Langweilig Sandr b. Pritzwalk.

mit dem Gletscher Vatnajöküll bedeckten Gebirge ein ziemlich eingeschränkter Streifen von Land, "der ausschliesslich aus aufgeschütteten Gletscherstromsanden und Kiesen besteht" (S. 164). Es ist, entsprechend Islands dunklem vulkanischen Gestein, ein dunkles sandig-gerölliges Material, wie es der Tourist heute durchfährt. Auch an der Nord- und an der Ost-Küste von Island fanden KEILHACK Sandr nur an den Mündungsgebieten der Gletscherströme.

Die noch größeren Sandr-Flächen Norddeutschlands waren nach dem Eisrückzug oder sind auch heute von Heide oder Kiefernwald bestanden, und KEILHACK sprach von 'Heidesandlandschaften'.

Im Vorland der rund 700 Kilometer langen, in einer langen Stillstandszeit entstandenen baltischen Endmoräne gibt es nach KEILHACKs (1899) Feststellung 650 Kilometer lange Sandebenen. Diese Sandr enden an dem von BERENDT als Thor-Eberswalder-Haupttal genannten Urstromtal. Südlich von ihm gibt es dann keine



Abbildung 247: Dünen bei Gommern.



Abbildung 248: Glimmersand Altranft.

sandrartigen Flächen mehr. Zur vorletzten Vereisung wird der Sand der Lüneburger Heide gestellt, eine Region, die KEILHACK (1883, S. 160) noch als zu "trauriger Berühmtheit gelangte" Landschaft beschrieb.

Der Wind wehte im Vorland der Gletscher Sand auch zu **Dünen** zusammen (K. KEILHACK 1898, F. SOLGER 1910), und die "großen Dünengebiete Norddeutschlands" (K. KEILHACK 1917) stehen in Beziehung vor allem zu den Sandr-Flächen.

Die Zusammenwehung der Dünen mag dann im Postglazial bei noch schütterer Vegetation geschehen sein, und im oberen Teil der Dünen wurden öfters neolithische Waffen und Geräte gefunden, immerhin ein recht hohes Alter für Dünen. Dünen boten, wie KEILHACK (1917, S. 18) vermutet, in der nacheiszeitlichen Landschaft "oft den einzigen trockenen Wohnsitz in nassen oder sumpfigen Land-



Abbildung 249: Im Baruther Urstromtal.

schaften”.

Die Urstromtäler

Besonders klärte BERENDT (1881 / 1882) dann die großen, in West-Ost - Richtung ziehenden Längstäler des nördlichen Mitteleuropa und ihren Zusammenhang mit den Endmoränenzügen. Zuerst wurde auf diese 'toten' Talungen von HOFFMANN eine bescheidene Aufmerksamkeit gelenkt und wurden sie auch von H. GIRARD 1855 (P. WOLDSTEDT 1948) gesehen. BERENDT prägte für diese Talungen den Begriff '**Urstromtäler**' und erklärte ihre Entstehung durch die Eisschmelzwässer, die von längeren und mit Endmoränenbildungen verbundenen Eisstillstandslagen herausflossen. Von Süden konnten ebenfalls Wasser hineinfließen. Von den 4 von BERENDT unterschiedenen Urstromtälern war ihm das **Thorn-Eberswalder Tal** das nördlichste. Am weitesten im Süden lag nach BERENDT das Breslau-Hannoversche Urstromtal. Ihm folgte nordwärts das Glogau-Baruther Urstromtal, darauf das Warschau-Berliner Tal (K. KEILHACK 1899).

Die Urstromtäler entstanden nicht durch einen einheitlichen geschlossenen Strom, sondern man muß sie sich als ein Gebiet mit zahlreichen Gerinnen zwischen stehengebliebenen höheren Regionen vorstellen. Zu den beiden nördlichen Urstromtälern, dem Berliner und dem Eberswalder Urstromtal oder Seitentälern gehören die **Luche**, jene einst versumpften und dann von Menschenhand weit meliorierten Niederungen, die in der Grundmoräne der vorangegangenen Gletschervorstöße, ihren höheren 'Ländchen' liegen und aus denen die 'Ländchen', teilweise 10 m höher, emporragen, etwa 'Ländchen Bellin', Lebus, Barnim.



Abbildung 250: Rhinluch.

Reguläre Abfolge der landschaftsbildenden Elemente: Glaziale Serie

Von den Moränen über die Sandr bis zu den Urstromtälern war damit ein Zusammenhang hergestellt (P. WOLDSTEDT 1948), und mit der hinter den Endmoränen liegenden Grundmoräne ergänzte sich so die **'Glaziale Serie'**, die Abfolge der durch die Gletscher geschaffenen Strukturen jeweils vor und hinter den Gletschern. Als besonders einprägsam ausgebildet gilt die 'glaziale Serie' vor der Nördlichen Baltischen Endmoräne, auch an weiterer Ausdehnung gehemmt durch die Südliche Baltische Endmoräne (K. v. BÜLOW 1952,; Internet).

Gebilde von nicht so weiter Verbreitung

Im Grundmoränenland, also unter dem vorrückenden oder stillstehendem Gletscher bildeten sich wenigstens örtlich weitere auffallende Strukturen.

Drumlins - Aufwölbungen in Wal-Rücken-Form

KEILHACK verwies auf die wie walfischartige Rücken, wie Schildkrötenbuckel oder Schildrücken (P. WOLDSTEDT 1929) wirkenden elliptische Hügel in ehemaligen Gletschergebieten, die **Drumlins**.

Sie bilden, wie KEILHACK 1896 formulierte, ganze 'Drumlinlandschaften' (K. KEILHACK 1898, F. W. P. LEHMANN 1928), bestehend aus Grundmoränenmaterial, so im unteren Odertal. Die einzelnen Drumlins haben Ausmaße von 800 bis 2600 Meter Längserstreckung und 300 bis 400 Meter Breite, wobei die Längserstreckung in Richtung der Eisbewegung liegt. Meistens wurden die Drumlins als Aufschüttungsformen



Abbildung 251: Drumlin? Malchin.



Abbildung 252: Wallberg Gatschow.

betrachtet. Aber es wird auch an einen Zusammenhang mit Längsspalten der Gletscher gedacht, so bei GRIPP (P. WOLDSTEDT 1929).

Oser: Dammartige Gebilde

Eine weitere typische Bildung der Vergletscherung sind die **Oser** oder Asar (Åsar) (K. KEILHACK 1898, J. KORN 1913) auch 'Os' genannt. Es sind schmale, langgestreckte, eisenbahndammartig wirkende Kiesrücken, von etwa 5 Meter oder gar etwas größerer Höhe. Die Gesamtlänge eines Os-Zuges kann, wie JOHANNES KORN (1913) von Westpreußen beschrieb, über 36 Kilometer betragen. Sie wurden zunächst in Skandinavien in ehemals vergletscherten Gebieten festgestellt. F. EU. GEINITZ stellte Oser nach einer Mitteilung von 1888 erstmals auch für Norddeutschland in der Gegend von Gnoyen und Schwaan in Mecklenburg fest (G.



Abbildung 253: Oser, Brietzig.

BERENDT 1889). SCHRÖDER fand solche 'schmale, scharfe, meilenlang zu verfolgende Kiesrücken in der Uckermark (G. BERENDT 18), KORN (MICHAEL 1928) beschrieb 18 Oser im Gebiet der großen mittelpolnischen Endmoräne. Als wahrscheinliche Entstehungsursache sahen HOLST und BERENDT ihr Hervorgehen aus dem Geröll von großen, auf der Oberfläche des Eises fließenden Schmelzwassergerinnen. R. BÄRTLING, der ein etwa 20 Kilometer langes, mehrfach unterbrochenes Os an der Grenze von Mecklenburg und Lauenburg untersucht hatte, plädierte für die Entstehung der Oser in geschlossenen Kanälen am Grunde des Inlandeises. Dafür sollte die wechselnde Höhe des Oses sprechen (P. WOLDSTEDT 1929). Daneben wurde debattiert, dass manche Oser durch Aufpressung des Untergrundes unter dem Eis zustandekamen. Da Rinnen und Oser oft verknüpft sind, erschienen die Oser auch als die Akkumulationsformen der Rinnen, die wiederum im unbewegten, nicht mehr sich bewegenden, 'toten' Eis gelegen haben (P. WOLDSTEDT 1929).

Da Oser leichten Kiesabbau bieten, wurden sie namentlich von Dorfbewohnern gern dafür genutzt und blieben so oft nur stückweise erhalten. Der Abbau von Osern wird bedauert und es heißt (nach. BRAUER 1961, 1963; SCHULZ 1967, 1970, in G. KATZING et al 2004, S. 290/291 (von den Osern: "... handelt sich wohl um die am präzisesten definierten glazialen Formen, ... gelten als Zeugen des Eiszerfalls ... dokumentieren ... eine frühe Abtau-Phase, in der der Abfluß der Schmelzwässer in engen Rinnen oder subglazialen Tunneln erfolgte. Infolge des Schmelzwasser-Abflusses bestehen sie überwiegend aus gröberen klastischen Sedimentenfolgen und werden im Idealfall beidseitig von Gräben begleitet.

Namentlich in Nordamerika wurden die '**Kames**' beschrieben, "meist in Gruppen auftretende Hügel und Wälle aus geschichteten Sanden und Kiesen (P. WOLDSTEDT 1929).



Abbildung 254: Oser Borrentin/Demmin.



Abbildung 255: Abbau Oser? Borrentin/Demmin.



Abbildung 256: Kaschubische Schweiz.

Beziehung der Eiszeit-Hinterlassenschaften zueinander: Die "Glaziale Serie"

Die von den Gletscher geprägten Landschaftsformen und Ablagerungen stehen in Beziehung zueinander. **Seit 1888** kartierte KEILHACK einen **Streifen** in Nord-Süd-Richtung, also quer zum Eisrand und längs dem Gletscherlauf, **durch die pommersche Moränenlandschaft** und deren **Vorland**. Die Ergebnisse wurden 1909 in KEILHACKs "Karte der Endmoränen und Urstromtäler Norddeutschlands" eingearbeitet. Gerade aus dieser Kartierung quer zum Eisrand ergab sich das Landschaftsbild der "**Glazialen Serie**", der Abfolge der Landschaftsformen bei allerdings möglichst ungestörter, nur einmal stattgefundener Vergletscherung. Geht man von den Endmoränen als besonders auffälligen Landschaftsformen aus, so liegt rückwärts von ihnen die Grundmoräne, und im Vorland der Endmoränen, also außerhalb vom Eisrand, finden sich Sandr und Urstromtäler. Auch die verschiedenen Seentypen sind in Beziehung zu diesen Bildungen zu setzen. Aus dem Vor- und Hinterland der Endmoränen wie aus ihren Überresten werden die ehemaligen Eisrandlagen abgeleitet (P. WOLDSTEDT 1926, 1929), wobei Endmoränen nicht immer die Eisrandlagen bezeichnen.

Allerdings ist das **Idealbild** der "Glazialen Serie" vielfach **modifiziert**. Der Eisrand oszillierte. Der Gletscher rückte nicht in gerade Front vorwärts, sondern in großen **Loben**. Zwischen den Loben entstanden augenscheinlich die Rinnenseen. Beim Zurückweichen zurückbleibendes Toteis in wohl unter dem Eis gefrorenen Hohlräumen gab Grundlage zu anderen Seen und nicht jede Hohlform mußte zu einem mit Wasser gefüllten See werden und Abtragung, etwa durchrinnende Flüsse, ließ Teile der Endmoränen auch wieder verschwinden. Und dann entstanden je-

ne doch nicht so schulbuchartigen glazial geformten Landschaften wie sie PAUL WOLDSTEDT (1926) um Berlin und Potsdam, in Ostpreußen und Nordschleswig erfaßte. Wie war es nun mit dem Müggelsee bei Berlin, den Großseen Ostpreußens? In **Schleswig-Holstein** befinden sich die Endmoränenzüge wegen der hier gewendeten Gletscherbewegung in Nord-Süd-Richtung, und die Moränen der vorletzten Eiszeit mit einer Höhe von 130 - 300 m etwas weiter westlich und die der letzten Eiszeit 40 - 238 m sind einander genähert. Auf einer Breite von etwa 100 km sind "sämtliche Glieder des Diluviums von den ältesten bis zu den jüngsten" vorhanden, "vom Kaiser-Wilhelm-Kanal" - dem heutigen Ostsee-Nordsee-Kanal - "mit seinen ausgezeichneten Aufschlüssen quer durchschnitten ..." (C. GAGEL 1913, S. 337). Das "vor der Endmoräne liegende, zum Teil ältere Diluvialgebiet ist hier auf einen erheblich engeren Raum zusammengedrängt wie sonst in Norddeutschland und daher sind die ganzen Verhältnisse in Schleswig-Holstein erheblich übersichtlicher und klarer wie sonst irgendwo in Norddeutschland."

Wirtschaftliche Nutzung der Eiszeit-Hinterlassenschaften

Zahlreiche Spuren der Vergletscherung, so zahlreich sie noch sind, wurden durch die Wirtschaft verschoben, vielfach gelöscht. Schon 1832 berichtete F. K. KLÖDEN (S, 42 / 43): "Man erwäge nur, daß in Gegenden, wo kein Felsboden vorhanden ist, jedes feste Gestein immer einigen Werth für die technische Anwendung hat, und daß nun schon Jahrtausende hindurch diese Benutzung unserer Gesteine fort dauert, ..." Nur wenige konnten deshalb "die ihnen von der Natur angewiesene Lage behaupten ..." Die größten Steine wälzte man "nach den Gräbern der Verstorbenen , ...

Überall wo größte Steine auf den Aeckern lagern, sind diese möglichst als Prellsteine zur Einfassung der Wege gebraucht worden, ... Eingefaßte Wege dieser Art findet man oft von Dorf zu Dorf reichend, und nicht selten bilden die Steine förmliche Mauern ...

Die Städte der Mark sind sämtlich mit Geschieben gepflastert, nicht minder ganze Strecken in den Dorfstraßen, und durch fortdauernde Abnutzung des Pflasters ist eine stete Ergänzung nöthig ..."

Lehm und Ton diente als gebrannter, nunmehr rötlicher Ton als roter Backstein, aus dem auch große Gebäude, die hohen Kirchen norddeutscher Städte und Wehranlagen, wie in Prenzlau und Pasewalk, errichtet wurden. Das Fundament wurde aus Findlingssteinen errichtet, Dorfkirchen teilweise bis obenhin. Die etwas kleineren Findlingsblöcke dienten als Straßenpflaster. Auf dem holprigen 'Kopfsteinpflaster' rumpelten noch bis in die Mitte des 20. Jh. auch Kraftfahrzeuge.

Nicht nur herumliegende, auch schon etwa für vorzeitliche Gräber benutzte Steine wurden auch wiederverwendet. K. C. VON LEONHARD bemerkte schon 1856 (S.8). "Dahin die Hünen- oder Riesen-Betten, die sogenannten Heiden-Gräber. Durch vielfache Verwendung, seit undenklichen Zeiten dauernd, hat die Menge der Blöcke nach und nach abgenommen. Spätere Geschlechter lernen die Tatsache nur aus Büchern kennen; einst wird das Studium unserer Findlinge zum Zweige der Althertumskunde werden." In der neueren Zeit hat sich die Nutzung der Eiszeit-Hinterlassenschaften eher noch verstärkt. Oser, die in Mitteleuropa nun nicht häufig sind, dienten teilweise als Sandlieferanten und wurden so merklich zerstört. Namentlich nach 1945 mit der Anlegung großer Ackerflächen wurden Sölle zugeschüttet. Gerade auch im Inlandeis-Gebiet ist geologischer Naturschutz Not. Mancher wird sagen: Verrückte Geologen. Wozu brauchen wir die Zeugnisse der längst erforschten Eiszeit? Aber: Wozu brauchen wir Kultur? Geschichte? Alles?

Geomorphologische und geologische Erscheinungen in eisnahen, aber eisfreien Gebieten, noch außerhalb der Sandr - Die Periglazialerscheinungen

Wirkten die Riesengletscher ins Vorland? - Die weitere Umwelt in den unvergletscherten Gebieten in Zeiten der Eisvorstöße

Zwischen den vergletscherten Bereichen, im Vorfeld der Gletscher, geschah auch allerhand, kam es zu Sedimentation, Bildungen etwa von Böden, Zerstörungen (s.a. P. VAN DEN BOGAARD et al. 1988, S. 75 u. a.). Was die Umweltbedingungen in nordalpinen Europa im Eiszeitalter außerhalb der vergletscherten Regionen anbetrifft, so waren sie oft nicht als derartig abnorm vermutet, daß sie alle gewohnten Vorstellungen hinter sich ließen. Es gab keine kaum vorstellbar abnorme Abkühlung, sondern die Wärmeverhältnisse waren, wie schon etwa der erste Klimatologe des Eiszeitalters, EDUARD BRÜCKNER, meinte, nur um wenig gegenüber der Gegenwart verschoben. Die Verhältnisse der Eiszeit bestanden, wie BRÜCKNER meinte (1891, S. 142), "in einer Potenzierung der jetzigen Vergletscherung", wobei diese 'Potenzierung' so groß nicht gewesen sein sollte. Entscheidend für die Zunahme der Gletscher waren nach der Ansicht von Forschern wie LECOQ, DE LA RIVE, TYNDALL, FRANKLAND nicht die Temperaturverhältnisse, sondern die Zunahme der Niederschläge. FRANKLAND meinte sogar, daß "die Eiszeit" bei höherer Temperatur als gegenwärtig stattfand. Durch

Temperaturerhöhung wurde die Verdunstung gesteigert, damit erhöhten sich die Niederschläge, auch die als Schnee. Manchmal war sogar diskutiert worden, ob die eiszeitlichen Gletscher vielleicht wie Talgletscher aus hohen Gebirgen wie im heutigen Patagonien oder auch in manchen Hochgebirgen in eine normale Waldlandschaft hineinflossen und sich ihre Wirkung wie die ihrer Schmelzwässer im wesentlichen nur auf ihnen nahe Fläche beschränkte. Auch PENCK hatte 1882 darauf hingewiesen, daß in nur geringer Entfernung vom Ende des heutigen Aaregletschers erfolgreich Weizen angebaut wird. Wie weit wirkten Gletscher? Wo bei von dem nur durch die Höhenlage bedingten relativ schmalen Aaregletscher in einem heutigen milden Klima kaum jene Einwirkungen zu erwarten waren wie von einer halbe Kontinente erfassenden Vergletscherung.

Um 1906 rechnete A. PENCK mit einer Temperaturabnahme von etwa 2 bis 3 Grad C. Später, so 1938, hat A. PENCK aber doch von 7 bis 8 Grad C Temperatur senkung gesprochen (P. WOLDSTEDT 1948). Also Gletscher in einem ansonsten unserer Landschaft ähnlichem Vorland - bei der doch anzunehmenden Temperaturabsenkung wohl kaum! Wie stark immer die allgemeine Abkühlung etwa in Mitteleuropa war: Es wurden ausreichend Zeugnisse bekannt, welche für Mitteleuropa dafür sprachen, daß die großen Gletscher der Eiszeit sich auch auf ihre weitere Umgebung auswirkten, namentlich über das Klima, vor allem über die Temperatur und deren Wechsel, daß also während der Diluvialperiode große Teile von Mitteleuropa, aber auch im Gletschervorland gewesene Gebiete anderswo auf der Erde, durch Periglazialerscheinungen geprägt wurden. Zogen sich Gletscher zurück, dann wurden die nunmehr gletscherfreien Gebiete bei noch bestehender Gletschernähe auch zu solchen mit Periglazialphänomenen.

Die Periglazial-Phänomene wurden später bekannt als die Glazial-Phänomene.

Die Periglazial-Phänomene wurden vielfach erst im 20. Jh. entdeckt. Geographen mit Kenntnis polaren Regionen etwa auf Spitzbergen waren an ihrer Erschließung mehr beteiligt als Geologen im e. S. Man kann während der Vergletscherung von 2 Fazies sprechen. 1. Dem Vergletscherungsgebiet und 2. der Vorlandfazies (H. GALLWITZ 1937, S. 612).

In weiten Teilen des flacheren Sibirien und in Nordkanada ist das Inlandeis weit entfernt. Aber die dortige Landschaft trägt wohl wegen dem freien Zugang der Winde und Stürme aus der Arktis die Züge, die im Vorland des Inlandeises für Mitteleuropa anzunehmen sind. Und hier wie auf Nowaja Semlja, auf Spitzbergen, auch auf Island, konnten jene Phänomene untersucht werden, die als Periglazialerscheinungen für das eiszeitliche Gletschervorland auch in Mitteleuropa anzunehmen sind. Die Meeresnähe und die Luftströmungen spielen eine wichtige Rolle, denn auf der geographischen Breite, auf der in Labrador kein Baum wächst, auch heute trotz Gletscherferne periglaziale Zustände bestehen, gedeihen auf derselben

Breite in Großbritannien und Dänemark Ulmen und Weizen.

Erforschung der Periglazialerscheinungen

Polarforschung - die galt schließlich nicht nur den eisbedeckten Gebieten. Es wurde deutlich, "daß die Inlandeiskfelder von einem breiten, kalten und trockenen periglazialen Gürtel umgeben sind" (R. BRINKMANN 1948, S. 29), sich die Gletscherwirkung nicht auf das vom Gletscher überrollte Gebiet beschränkt. Rings um die Gletscher oder wenigstens nach der freien Festlandsseite - das war eine in manchen Regionen weithin durch das nähere oder fernere Inlandeis geformte Region, war und ist das **Periglazial**. Kurz nach 1900 untersuchten die schwedischen Geologen J. G. ANDERSSON (1906) und ARVID BERTIL HÖGBOM in **subpolaren** Regionen, zuerst auf Spitzbergen und vor allem auf der Bäreninsel, die Wirkungen des Frostes beziehungsweise des Wechsels von Auftauen und Gefrieren des Wassers. Diese 'subpolaren' Gebiete liegen in höheren Breiten, tragen jedoch seit längerem keine volle Bedeckung mit Inlandeis mehr (W. SALOMON 1917). ANDERSSON wie dann etwa W. von LOZINSKI und SALOMON-CALVI (1917) verwandten die in der Gegenwart in Kaltgebieten erfaßten Erscheinungen zur Erklärung von Dingen, die offenbar im weiteren Vorland der Gletscher während der Diluvialzeit zustandekamen (s. a. W. SALOMON 1917, S. 35). Bei den periglazialen Erscheinungen ist es teilweise besser möglich heute noch verlaufende sichtbare Vorgänge heranzuziehen als bei dem, was sich unter dem Gletscher abspielt.

Nicht allein die Kälte an sich ist maßgebend, vor allem auch das zeitweilige Tauen, der Wechsel **von Frost und flüssigem Wasser**. In den arktischen Regionen und anderen Regionen im Vorland großer Gletscher herrscht wie in ariden Trockengebieten mechanische Verwitterung. Im Gletschervorland und kälteren Gebieten durch den Wechsel von Gefrieren und Auftauen, in den heißen Trockenregionen durch die Insolations, das heißt durch die unterschiedliche Ausdehnung der Mineralkristalle in den Felsen bei Sonneneinstrahlung. Die Ergebnisse in den Landschaften sind teilweise ähnlich. Massen grober Gerölle bestimmten die Landschaft. In tieferen Erdschichten ist die Entstehung solcher Geröllmassen dann manchmal schwieriger zu deuten.

Für das von den Gletschern des Weichseleiszeit betroffene **Jungmoränengebiet** wird damit gerechnet, daß die **periglaziale Beeinflussung 5000 bis 6000 Jahre** anhielt und sich in Flugsand-Decken und Dünen niederschlug, und der Anstieg der Ostsee in der Litorina-Transgression sich ebenfalls auswirkte (F. DANN und Mitarbeit von U. RATZKE in G. KATZUNG et al. 2004, S. 489). Auf der durch all das geprägten Oberfläche erfolgte die **Bodenbildung**, zu der dann die Bewaldung und die landwirtschaftliche Kultur hinzutraten.

Der Permafrost-Boden

Eine hervorstechende Erscheinung in periglazialen Regionen ist der tief gefrorene, aber in den oberen Teilen fast jährlich auch auftauende Boden, der **Permafrostboden**, mit dem etliches an Phänomenen in den Periglazialgebieten verbunden sind. Für Messungen der Eigenschaften von Permafrostböden war um 1844 im Permafrostboden bei Jakutsk (Das Ausland, 1844) ein Schacht ausgebrochen und wurden in die Wand in verschiedener Tiefe Thermometer eingetrieben, verschieden tief, um den Einfluß der Luft im Schacht auf den Boden festzustellen. In Küstenabschnitten auf Spitzbergen wurde bis weit in den Juni bis in 0.5 m Tiefe Gefrorenis festgestellt, und schon in etwa 1 m Tiefe überdauerte Gefrorenis den Sommer (W. MEINARDUS 1912).

Die Diskussion um die Phänomen auf der Erdoberfläche im Periglazialgebiet, so über Erscheinungen auf den Böden, wurde stark angeregt durch Geologen, die im Anschluß an den Internationalen Geologen-Kongreß in Stockholm im August **1910** an einer **Exkursion** an einige Küstenstellen auf Spitzbergen teilnahmen. Die Erforschung der **mit dem Permafrostboden zusammenhängenden** Periglazialerscheinungen bekamen damit Auftrieb, ja traten in ein neues Stadium. Etliche deutsche Teilnehmer trafen sich am 18. Dezember 1911 zu einer Fachsitzung zu "Diskussion über Bodenfluß", welche die Gesellschaft für Erdkunde in Berlin durchführte. Da man in der ersten Augushälfte auf Spitzbergen gewesen war, so war den Exkursionsteilnehmern klar, daß man zu einer Jahreszeit dort die Dinge besah, als das wohl die Phänomene hervorrufende Auftauen für dieses Jahr abgeschlossen war. Beobachtungen in der Auftau-Phase wären also wünschenswert.

Ob die Phänomene im Periglazialbereich mit Permafrostboden verbunden waren, blieb immer noch ungeklärt, und CARL SCHOTT seit 1955 Geographie-Professor in Marburg, hatte 1932 (S. 299) gemeint: "Es gibt aber auch keinen Gegenbeweis. Die Möglichkeit eines Dauerfrostbodens besteht daher weiter. Wir können ihn aber nur als Arbeitshypothese verwenden und müssen weiterhin nach eindeutigen Zeugnissen für sein Vorhandensein suchen."

Bodenfließen - Solifluktion

Überall, wo Lockermaterial, auch weicher, wasserdurchtränkter Boden, auf einer harten, geneigten Unterlage ruht, kann das Lockermaterial ins Fließen, ins Rutschen kommen. Das geschieht auch in unseren Breiten, kann auch sehr langsam geschehen, als "Gekriech". Werden auf solchen "kriechendem" Boden wachsende

junge Bäume schräg gestellt, wachsen sie infolge der geänderten Schwerkraftwirkung auf den jungen Baum mit Knie, mit Biegung im Stamm.

Im Periglazialgebiet erfaßten namentlich die schwedischen Geologen JOHAN GUNAR ANDERSSON und A.B. HÖGBOM (1913/1914) das 'Fließen', die Selbstbewegung der oberen, aufgetauten Teile des Bodens gegenüber dem weiterhin gefrorenen unteren Teil des Bodens, der 'Tjäle'. Letztlich war das eine Sonderform des Bodenfließens überhaupt. ANDERSSON führte bei seinen Beobachtungen im Periglazialgebiet für das Bodenfließen 1906 (S. 95 / 96) den Terminus '**Solifluktion**' (solum = Boden, fluere = fließen) ein. War das Phänomen auch schon manches Mal beachtet worden, so kam sie mit der Prägung einer bleibenden eigenen Bezeichnung zu stärkerer Erörterung (u. a. K. SAPPER 1913). Der durchnäßte und oft vegetationslose Boden im subpolaren Land fließt an Hängen selbst bei relativ schwacher Neigung abwärts, wobei auch Felsblöcke mitbewegt werden. Es entstehen dann 'Ströme' aus Erde und Steinen (mud streams), die kleineren Gletschern ähnlich sehen, ohne aus Eis zu bestehen. Es kommt auch zur Entstehung regelrechter 'Pseudomoränen' (P. WOLDSTEDT 1929). Die Faktoren des Bodenfließens wurden etwa unterschiedlich gesehen. Es wurde angenommen, daß der durchnäßte obere Boden auf dem vereisten unteren Boden gleitet. Aber etwa K. SAPPER (1913) meinte, daß der ständig gefrorene Unterboden weniger als Gleitplan dient, sondern, daß dessen Bedeutung für das Bodenfließen darin besteht, daß in ihn das Wasser nicht einsickern kann und deshalb der obere Boden von Wasser erfüllt bleibt. Somit ist der obere Boden selbst bei relativ geringen Niederschlägen, wie auf Spitzbergen üblich, durchnäßt.

Strukturböden

Als offensichtliche Folge der Bewegungen im oberen auftauenden Boden erschienen Steine und Bodenstücke in oft eigenartiger Weise angeordnet, gab es Steinstreifen, aber auch Steinringe, teilweise in Polygonform, als **Polygonböden**. Was auffiel, waren die Steine, nicht der erdige Boden. Gern abgebildet, waren diese Steinanordnungen allerdings nicht überall anzutreffen, manche nur an wenigen Orten. Wie kamen solche Steinbewegungen zustande, durch welche Vorgänge in dem auftauenden Boden geschah diese auffällige Anordnung? Es gab 1910 keine Einigung.

Eine hypothesen- und theoriefreie Bezeichnung zu geben, schlug WILHELM MEINARDUS 1912 den Terminus '**Strukturböden**' vor. MEINARDUS (H. POSER 1953) war namentlich in Klimatologie forschender Geograph, 1906 Extraordinarius, 1909 Ordinarius in Münster, 1920 in Göttingen. Aus Schiffsdaten erschloß er die Windverhältnisse im Indischen Ozean, am Schreibtisch berechnete er aus den mitgeteilten Daten vieles über die Klimaverhältnisse in der Antarktis, ja leitete aus

Windverhältnissen die noch unerschlossenen Küstenverhältnisse ab. 1911 war er im Sommer kurz auf Spitzbergen. Die dort von ihm beachteten 'Strukturböden' sind ausgezeichnet durch auffällige Lagerung von Steinen an der Oberfläche, etwa in Gestalt von Polygonen, Polygonböden nach HÖGBOM (A. MIETHE 1912, K. SAPPER 1913). Zu diesen Strukturböden sind auch die 'Steinfelder' oder 'Blockmeere' zu rechnen, von denen im folgenden die Rede sein soll.

Wirkungen des subpolaren Klimas auf anstehende Gesteine, auf Felsen

Blockmeere der Mittelgebirge

In den mitteleuropäischen Mittelgebirgen Felsengruppen etwa auf den Höhen der Harzes, in den Vogesen, im Lausitzer Bergland, besonders großartig am Felsenberg im Odenwald und anderswo gibt es oft Haufen von losen, mehr oder weniger zerfallenden Felsblöcken. Diese Steinanhäufungen befinden sich oft noch in der Nähe von den Felsgruppen, von denen sie offensichtlich ausgingen, von denen aus sie öfters auch in fast stromförmiger Anordnung selbst an relativ flachen Hängen weit hinabziehen (W. v. LOZINSKI 1911). H. MORTENSEN (1944) und andere mochten unmittelbar unter einer Felswand liegende Blöcke nicht zu den Blockmeeren rechnen. Wie MORTENSEN (1944, S. 50) bemerkt, habe PENCK diese Blockmeere noch nicht als Problem gesehen. Aber alles sieht man eben nicht sofort in seiner Problematik. Man dachte auch, daß die Blockmeere sich auch in der Gegenwart bilden, also kein erwähnenswertes geologisches Problem sind.

W. v. LOZINSKI 1911, HÖGBOM und WILHELM SALOMON-CALVI (1917), HANS MORTENSEN (1932, 1944) erklärten diese '**Blockmeere**', die 'Felsenmeere' der Mittelgebirge. als fossile, auf das Eiszeitklima zurückgehende und in der Gegenwart nicht mehr fortgebildete Erscheinungen (s. a. W. SOERGEL 1921). W. v. LOZINSKI sprach (1911, S. 644) von einer "periglazialen Facies der mechanischen Verwitterung".

LOZINSKI und auch andere beschrieben die Blockmeere von Mittelgebirgen in Mitteleuropa, etwa vom Odenwald mit seinem heutigen Naturschutzgebiet "Felsenmeer", dem Riesengebirge, vom Zobten in Schlesien, vom Harz, vom Lausitzer Bergland, gerade LOZINSKI auch aus den Karpaten und dem polnischen Mittelgebirge sowie vom Ural.

Vor LOZINSKI und anderen war allgemein angenommen worden, daß diese 'Blockmeere' "durch Akkumulation kleiner Vorgänge der Gegenwart langsam entstanden seien" und ihre Bildung weiterging (W. SALOMON 1917, S. 31). Ohne ein gewisses



Abbildung 257: Lysa Hora, Polen.



Abbildung 258: Kahleberg, O-Erzgeb..



Abbildung 259: "Felsenmeer" Odenwald.

gegenwärtiges 'Gekriech' in Abrede zu stellen, erwies sich jedoch, daß diese Ströme von Felsblöcken heute vielfach bewaldet sind und sich offensichtlich an ihnen in der Gegenwart nichts mehr 'rührt', ja von der Vegetation immer mehr 'erobert' werden (W. v. LOZINSKI 1911, S. 642).

Die Entstehung der Blockmeere unter den Bedingungen nicht weit entfernter Gletscher wurde deutlich besonders in den schönen, zusammenfassenden Darlegungen von SALOMON (1917). Vor allem 2 Faktoren sollten wahrscheinlich gewirkt haben, nämlich 1. die durch den Temperaturwechsel hervorgerufene Zerspaltung der Felsen in teilweise grobe Stücke und 2. den Transport durch das Bodenfließen, die Bewegung manchmal nicht gefrorenen Bodenschicht auf dem gefroren gebliebenen Untergrund, der "Tjäle", also durch Solifluktion. Studien an gegenwärtigen Phänomenen in der subpolaren Zone widersprachen dem nicht. Die Blöcke wurden mit dem rutschenden Lehm bewegt. Der Lehm wurde später weggespült. Die das Blockmeer bildenden Blöcke lagen frei. Hangneigung und auch die spezifische Verwitterung der betroffenen Felsen wirkten bei der Bildung der auch unterschiedlich eindrucksvollen Blockmeere mit: am 'Felsenmeer' im Lautertal im Odenwald ziemlich einzigartig mit großen Blöcken aus Melagranit (a. Wikipedia 2017), sanfter so etwas auf Buntsandstein bei Heidelberg. Auf flacherem Gelände mündete der Gesteintransport auch in weniger eindrucksvolles "Gekriech".

Im Hin und Wieder der Diskussionen wurden manche Dinge angeführt. Die 'Blockbildungen', die 'Felsenmeere' in Mitteleuropa folgen einer Zone am Südrande des diluvialen Inlandeises, was ihre diluviale Entstehung nahelegt. Ausgang der 'Blockmeere' in den Mittelgebirgen waren anstehende oder in geringer Tiefe befindliche Felsen beziehungsweise Felsgruppen. Die mechanische Verwitterung ließ die Felsen zerfallen und in einem Mantel von Trümmern verhüllen. Wenig widerstandsfähige Gesteine zerfielen natürlich viel mehr in feinkörniges Material. Die 'Felsenmeere'



Abbildung 260: Odenwald Felsenmeer.



Abbildung 261: Harz, Ilse-Oberlauf.

mit großen Blöcken entstanden aus widerstandsfähigem Gestein, also aus Granit wie im Riesengebirge, und (unterdevonischem) Quarzit (harter, metamorphosierter Sandstein), wie im Polnischen Mittelgebirge (Sw. Krzyw'-Rücken). Das 'Bodenfließen' erkläre auch die 'Stromform' sowie die oft weite Entfernung "der Felsenmeere von ihrem vermutlichen Ursprungspunkt" auch über flache Stellen hinweg, wo ein einfaches Herabrollen durch die Schwerkraft also nicht möglich war. Daß die Bildung der 'Felsenmeere' mit dem Ende der Diluvialzeit aufhörte, erklärte LOZINSKI (1911) aus den Verhältnissen an Kare. Diese Kare, Ergebnis der letzten Vergletscherung, sind etwa im Riesengebirge "rein" und schuttarm, und zwar, weil nach dem Ausfegen durch die Gletscher in der postdiluvialen Zeit keine Schuttneubildung in größerem Ausmaß stattfand. Karausfüllung gäbe es in trockeneren Gebieten, wo aber ehemals ebenfalls Kare entstanden, heute aber wiederum vor allem mechanische Verwitterung herrscht. Die Diskussion um die Entstehung der "Blockmeere und Felsburgen in den deutschen Mittelgebirgen" (H. MORTENSEN 1932) war damit noch nicht beendet, da immer wieder einmal ihre Bildung bis in die Gegenwart behauptet wurde und die verschiedenen Gesteine unterschiedlich stark zur Blockmeerbildung neigen. Aber, so antwortete etwa 1932 HANS MORTENSEN, daß manche Gesteine eher als andere Blóckmeere bilden schließt die entscheidende Rolle des Klimas nicht aus, so wie auch einigen Böden vor allem gesteinsbedingt sind, jedoch für die meisten Bodentypen das Klima der erstrangige Bildungsfaktor ist. Über die Unsicherheiten im Urteil etwa über Dauerfrostböden äußerte sich 1932 CARL SCHOTT, denn Brodelböden könnten auch noch bei einem Jahresmittel von + 6 Grad Celsius auftreten. Bemerkt sei, daß in Gebirgswüsten wie im Süden Marokkos auch Blockanhäufungen zu beobachten sind, so in den Wadis, wo Eis keine Rolle spielte. Es fehlt ansonsten das langgezogene Gekrieche. CARL TROLL verfolgte die Periglazialerscheinungen auf der ganzen Erde (P. WOLDSTEDT 1948). Nicht jeder Felstransport mußte bis zu "-meeren" führen. Und der Übergang zwischen heutigen Periglazialgebieten und solchen, die es nicht mehr sind, ist wohl fließend.

"Steinströme"

J. G. ANDERSSON, welcher die Solifluktion und die damit verknüpften Steinströme auf der Bäreninsel beschrieben hatte, untersuchte und beschrieb die beeindruckenden 'Steinströme' auf den Falkland-Inseln im südwestlichen Atlantischen Ozean. Sie waren schon CHARLES DARWIN aufgefallen und von ihm geschildert worden. DARWIN beeindruckte auch das Wasser, das tief unter den wasserlaufartig angeordneten Steinen rauschte. DARWIN fand keine befriedigende Erklärung dafür, wie diese Steinströme entstanden. ANDERSSON erkannte, daß diese fast ohne gleichwertige Parallelbeispiele gebliebenen 'Steinströme' auf den Falkland-



Abbildung 262: Naumann-Heim-Felsen.

Inseln in der Gegenwart nicht fortgebildet werden, sondern aus Zeiten stammen, da auch die Südhalbkugel ihre Eiszeit hatte und die Inseln in den südlichen höheren Breiten von Gletschern überdeckt waren. Diese 'fossilen' Steinströme warfen ein Licht auch auf ähnliche Erscheinungen in Mitteleuropa, namentlich in den Mittelgebirgen.

Windschliffe

Unweit der Gletscherschliffe auf dem Kleinen Berg **bei Hohburg** sind an einem standörtlichen Quatzporphyrfelsen Windschliffe vorhanden, welche der letzten Eiszeit angehören mögen, als das Gebiet nicht von Gletschern erreicht wurde, aber hier Periglazialklima herrschte, Wald fehlte, der auch den Löß bringende Wind hier an der höher gelegenen kahlen Bergklippe sich austoben konnte. F, NAUMANN und der Schweizer A- HEIM haben an den Felsen diskutiert und nach ihnen ist der Felsen daher benannt worden.

Talgeschichte im Wechsel von Kalt - und Warmzeiten

Die Aufklärung der **Talgeschichte und ihre Verknüpfung mit den Gletschervorstößen** hatte etwa 1879 PENCK begonnen, als er im Auftrage der geolo-

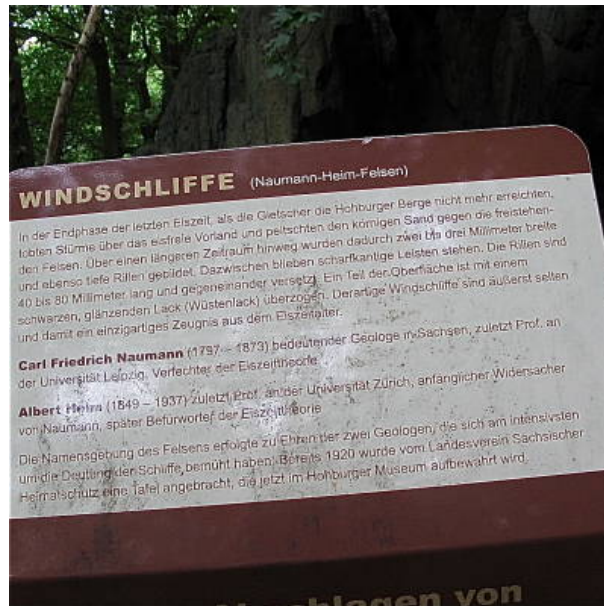


Abbildung 263: Für NAUMANN und HEIM.

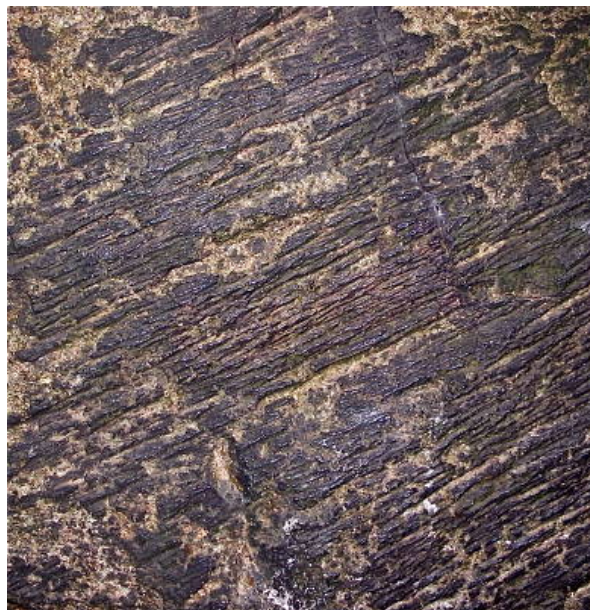


Abbildung 264: Windschliffe, Hohburg.

gischen Landesuntersuchung Sachsens die Täler der beiden Mulden, der Zwickauer und der Freiburger Mulde, in ihrem Mittellaufe untersuchte. PENCK hat seine Ergebnisse 1884 in einer klassisch zu nennenden Arbeit "Ueber Periodicität der Thalbildung" veröffentlicht. Die ihn zum Nachdenken anregenden Terrassen befinden sich 30 bis 40 Meter über dem heutigen Flußbett. Die Geröllterrassen sollten anzeigen, daß der Fluß einst um etliches über dem heutigen Talboden floß und sich zunehmend eintiefte. Seine über dem heutigen Flußbett an den Seitenhängen erhalten gebliebenen Ablagerungen von einst wurden also alle als Erosionsterrassen angesehen, "Überreste von alten Flußbetten eines höheren Niveau, entstanden in jenen Zeiten, während welcher die Thäler noch nicht bis zu ihrer heutigen Tiefe eingeschnitten waren" (S. 40). PENCK kam bei den beiden Muldenflüssen jedoch zu der Schlußfolgerung, daß diese Geröllterrassen aber wenigstens nicht allein aus den Zeiten stammen, als einfach das Land höher lag, sondern, daß **während der Kaltzeiten die Flüsse ihre Betten** nicht weiter ausräumen konnten, es dafür jedoch **mit viel Geröll anfüllten**. Das Geröll entstand durch die Art der Verwitterung während der Kälte im Flußeinzugsgebiet, durch die Frostwirkung beziehungsweise den Wechsel von Frost und Auftauen. Das waren Verhältnisse wie sie heute in den Oberläufen von Alpenflüssen vorkommen. Flüsse konnten so viel Material aufschütten, daß sie wie auf einem Damm aus ihren eigenen Anhäufungen fließen. Als diese Geröllanhäufung mit dem Aufkommen einer Kaltzeit begann, war das Tal viel tiefer. Dieses Tal wurde dann mit Geröll aufgefüllt, bis zu der Höhe, in die diese Terrassen heute reichen. Wie später anzunehmen war, wurden die einem Gletscher entgegenfließenden Flüsse durch diesen gestaut und mußten dann vor dem Gletscher ihr Material ablagern (G. MILDENBERGER 1950, S. 9). Mit wärmerem Klima, mit reicherer Wasserführung und andersartiger Verwitterung schnitt sich der Fluß in seine in der Kaltzeit gebildeten eigenen Gerölle ein. Die stehengebliebenen Reste dieser Geröllmassen, nunmehr Flußterrassen, sind dann nicht Erosionsterrassen, also allein durch Einschneiden etwa verbunden mit Landhebung gebildete Terrassen, sondern "**Aufschüttungs-oder Accumulations-Terrassen**", also gebildet nach einer vorangehenden Aufschüttung. Es ließen sich vielerorts mindestens 3 solche Terrassen unterscheiden, die dann ineinander geschachtelt sind. Die älteste Terrasse liegt dabei oben. Die meisten Flußterrassen Europa sollten nach PENCKs Meinung solche Akkumulationsterrassen sein. Am Rhein nördlich von Frankfurt am Main fand PENCK, daß dort während der Quartärzeit 35 Meter Geröll und Sand von Rhein aufgeschüttet wurden, zum Teil mit Schottermaterial aus dem Taunus. Nach dieser Aufschüttung schnitt sich der Rhein 70 Meter ein, also bis unter diese Terrassen. Als solche Aufschüttungsterrassen nannte PENCK dann die in den nordfranzösischen Tälern, etwa im Sommetal zwischen Amiens und Abbeville mit ihren zahlreichen "diluvialen" Tierresten. Am mächtigsten erschienen solche Aufschüttungsterrassen in den Alpen, im Inntal eine Schotterter-



Abbildung 265: Ilmterrasse Weimar.

rasse mit einer Mächtigkeit von 300 bis 400 Meter, großartig auch an der Rhone. Das Haupttal konnte mit seinen Geröllen auch Nebentäler abdämmen. Die Il-ler dämmte so den Alpsee ab. Im Alpenvorland könnte nach PENCK von einer "förmlichen Ueberdeckung ... mit Quartärschottern gesprochen werden." Sie sind das "zeitliche Aequivalent der Vereisung." Es gibt auch Flüsse, die heute noch auf dem Bett fließen, daß sie während der letzten Eiszeit aufschütteten. Auf hoch aufgeschüttetem Bett fließende Flüsse konnten auch ihren Lauf ändern oder Tal-aufschüttung brachten auch Bifurkation und damit Deltabildung. Die Frage nach der Weite der Gültigkeit dieser Auffassung blieb allerdings unbeantwortet.

In Mitteldeutschland, wo die Gletscher selbst nicht hinkamen und sich dennoch die Terrassenbildung abspielte, wurde die Talgeschichte in den 20er und 30er Jahren des 20. Jh. namentlich von W. SOERGEL (1921, 1924) erneut und weiter erforscht. Seine Untersuchungen legten ihm noch einmal nahe, daß nur in einem kalten, trockenen Klima die diluviale Aufschotterung stattfinden konnte. Nur in solchen Perioden wirkte der Frost, griff die mechanische Verwitterung die freiliegenden Gesteinsmassen am stärksten an, wobei die Aufschotterung weit vor dem Maximum einer Vereisung einsetzte. Das Alter der Schotter bestimmte SOERGEL auch an Hand der Reste von diluvialen Säugetieren. Ältere Schotteraufschüttungen erwiesen sich auch als stärker und tiefer verwittert als die nächstjüngeren. In den Zeiten des Flußeinschneidens, der Erosion, überwiegt auch die chemische Verwitterung. Hoch über der heutigen Ilm bei Süßenborn bei Weimar liegen dann präglaziale Terrassen und in ihnen fanden sich auch zeitgemäße Fossilreste.

Hochliegende Schotterlagen erscheinen nunmehr ohne **tektonische Hebung** des Landes kaum denkbar, wären also nicht allein durch die Eiszeiten bedingt.

#Eingetieftes Saale-Tal. Saaleck



Abbildung 266: Lehm über Würm-Schottern b. Zeitz.



Abbildung 267: Schotter-Abbau Rochlitz/Mulde.



Abbildung 268: Mächtige Schotter Penig.

Löß - im Gletscher-Vorland

Zu den Vorlanderscheinungen der Vereisung in Mitteleuropa wird auch der feinschluffige, nicht geschichtete, hellgelbliche, als **äolische** Bildung gesehene **Löß** gerechnet. Auffallend ist der Löß einerseits im mitteldeutschen Braunkohlengebiet, andererseits im Süden als auffallend hervorgehoben schon bei GÜMBEL 1877 (S. 39) etwa nördlich der Donau . Im Südwesten, hier also wohl im Zusammenhang mit der Glazialzeit in den die Alpen, ist Löß beeindruckend am **Kaiserstuhl** westlich Freiburg i. Br., wo Schluchten und Hohlwege "sich landbeherrschend Geltung verschaffen" (H. SCHMITTHENNER 1933, S. 208). Das Gelände wird hier vor allem durch Weinberge genutzt und Hohlwege im Löß dienen zur Anfahrt zu den Weinbergen. Am Niederrhein werden für vor allem spätglazialen Löß 1- 2 m angegeben (Wikipedia 2017).

Die Mächtigkeit der Lößablagerungen in Mitteleuropa reichen bei weitem nicht an die in China, wo auch nicht Gletschernähe die Lößablagerung hervorrief (H. SCHMITTHENNER 1933).

Löß in Mitteleuropa verwittert oberflächlich, wird mit zu **Lößlehm**. Löß ist keine Gletscherablagerung, aber wie das Gletscher-Schmelzwasser von den Riesengletschern herkommt, kam durch die Riesengletscher wohl viel von dem Feinmaterial für den Löß zustande und gab es infolge der Riesengletscher jenen von den Gletschern nunmehr angenommenen wegführenden Wind, der das Feinmaterial transportierte und dann im Vorland ablagerte. Für die Lößbildung in Mitteleuropa wird angenommen, daß von den Gletschern wehende Winde feines Material aus den vegetationslosen Vorlandflächen wegführten und wo schon eine Grasdecke bestand ablagerten. Löß konnte es demnach nur im eisfrei gebliebenen, ja vom Eise



Abbildung 269: Löß. Kaiserstuhl.



Abbildung 270: Löß b. Zeitz.

entfernteren Raum geben, was sich auch so fand.

Der Obere Geschiebemergel, die Grundmoränenablagerung der jüngsten Eiszeit war also lößfrei, nur südlich lagerte Löß (F. KLOCKMANN 1883). Die Lößablagerung sollte namentlich nach dem Beginn des Gletscherrückzuges stattgefunden haben, also einst vor dem folgenden Interglazial. Dabei wurde auch anerkannt, daß nicht jede feinschluffige Ablagerung, die man als Löß ansah, derselben Entstehung sein mußte. Der Löß, so des Weichsel-Glazials, war die letzte Ablagerung, die wenigstens indirekt noch mit den Gletschern zu tun hatte.

Mancherorts fand sich Löß in zwei oder **mehreren Lagen**, die voneinander durch Verwitterungsrinden und Denudationsdiskordanzen getrennt sind. "Zeiten der Lößbildung", so wurde deutlich (W. SOERGEL 1924), "wurden abgelöst von Zeiten intensiver Oberflächenverwitterung". Beobachtet wurde eine Zweigliederung



Abbildung 271: Löß auf Glazial. Böhlen.

des Lößes im Mittel - und Oberrheingebiet (K. KEILHACK 1898). K. KEILHACK berichtete 1898, daß in einem Aufschluß bei Altenburg in Ostthüringen zwei Lagen von Löß übereinander auftreten. Auf dem älteren Löß fand sich eine Verwitterungsrinde, welche die doppelte Mächtigkeit der Verwitterungsrinde des jüngeren Lößes besaß. Daß der ältere Löß tiefer reichend verwittert ist und eine dunklere Verwitterungsrinde trägt als der ihn überdeckende jüngere Löß wurde hier (K. KEILHACK 1898, S. 180) wie bei später anderswo untersuchten Lößprofilen auf die längere Dauer der seiner Bildung folgenden Warmzeit im Vergleich zur letzten Nacheiszeit zurückgeführt (W. KÖPPEN et al. 1924). EWALD WÜST beschrieb 1909 für Thüringen und das östliche Harzvorland **3 Lößhorizonte**, 'Lößformationen', den 'Älteren Löß' nach der Mindel-Eiszeit, den 'Jüngeren Löß' nach der Riß-Eiszeit, den 'Jüngsten Löß' nach der letzten, der Würm-Eiszeit. WÜST fand zudem und konnte damit die Altersstellung der 3 Löß'formationen' belegen, daß "jede Nordgrenze einer Lößformation wenigstens im großen und ganzen mit der Südgrenze einer Vereisung zusammenfällt" (S. 389), also eine Vorlanderscheinung vor einem großen Inlandgletscher war: **gletscherbedingt** und dennoch **kein Gletschersediment**. Innerhalb des Ablagerungsgebietes der letzten, der Weichsel-Vereisung, gibt es dementsprechend keinen Löß (P. WOLDSTEDT 1929), nur im Vorland. W. SOERGEL (1924) untersuchte die Gliederung bei Lößvorkommen in Thüringen.

Eiskeile

Gefüllte keilförmige, im allgemeinen senkrecht verlaufende und sich von den benachbarten Schichten absetzende Füllungen wurden als Eiskeile gedeutet, als im Permafrostboden entstehende Gebilde, die einst auch im Vorland der Gletscher in Mitteleuropa entstanden. Die Eiskeile sind die Querschnitte von längeren Spal-



Abbildung 272: Eiskeil.

ten. Wie man nun deutet: Solche Spalten rissen den gefrorenen Boden auf, füllten sich mit Wasser und dessen Gefrieren und Tauen und Füllen mit andersartigem Material wirkte auf die Nachbarschaft (H. GALLWITZ 1937).

Eiskeile waren etwa 1915 in Alaska beschrieben worden. W. SOERGEL (1936) erkannte sie im Deckschichtenprofil des Travertins zu Ehringsdorf bei Weimar. Er hat solche Eiskeile auch anderswo gesucht, gefunden und beschrieben. Manche zweifelten sie an. SOERGEL begründete die Natur von solchen Spalten als Eiskeile etwa, indem er das Auftreten solcher keilförmigen Spalten auch in Gesteinen sah, bei denen "eine gleichzeitige oder nachträgliche Füllung mit Löß unter Erhaltung scharf absetzender Spaltenränder auf andere Weise unmöglich ist" (1936, S. 246). SOERGEL verwies auch auf den Umriß dieser Spalten, bei Lößfüllung auf Art und Verteilung lößfremden Materials in der Füllmasse und auf die Verpressung des Nebengesteins. SOERGEL schloß aus rezenten Beobachtungen, daß zur Bildungszeit der tiefsten Keilspalten der Dauerfrostboden in Thüringen mindestens 5 Meter tief gereicht hat.



Abbildung 273: Gletschertopf im Huy.

Gletschertöpfe - das durch in fließendem Wasser rotierende Gesteine getriebene Mahlwerk am Gletscherboden

Unter dem Eis kann fließendes Wasser einen Stein oder Steine zum Rollen bringen und diese können im steineren Untergrund einen Kolk ausschleifen, und das ergibt **Gletschertöpfe**, wie sie etwa BERENDT beschrieb. Wie bei Gebirgsgletschern hat man Beispiele für eiszeitliche Gletschertöpfe auch in Mitteleuropa gefunden, so im Huy, dem Höhenzug nahe Halberstadt.

#Huy Gletschertopf)

Auch in oberirdischen Flüssen können immerzu ins Rollen gebrachte Steine Strudellöcher auskolken.

Zusammenfassung: **Formenschatz und Reste der Inlandvergletscherung**

Durch die Gletscher selbst

Schleifspuren auf anstehendem Fels

Endmoränen

Grundmoräne



Abbildung 274: Kolk. Hohe Tatra.



Abbildung 275: Strudeloch, Schwarzatal.

Oser

Drumlins

Im unmittelbaren Vorland der Gletscher, durch die Gletscher bewirkt

Sandr - (Flächen)

Urstromtäler

Seen

Paralleles Nordamerika

Die Moränensysteme in **Nordamerika**, so im südwestlichen Ontario, erfaßte FRANK BURSLEY TAYLOR (F. LEVERETT 1938). Von dem ehemals eisbedeckten Labrador gibt ein älteres Lexikon die Schilderung: "kahle, gerundete Felsrücken mit reichlichen Gletscherschrammen, zahllose Findlingsblöcke von riesiger Größe, kleine Linsenhügelgebirge (Drumlins) und eisenbahndammartige Aufschüttungen (Es-kers) aus Gletscherschutt, beträchtliche Anhäufungen von Blocklehm (boulder clay) und Geschiebemergel (till) in den Tälern." Also auch hier dieselben Erscheinungen wie im einst gletscherbedeckten Europa.

Mehrere Gletschervorstöße im Quartär für **Nordamerika** fand T. C. CHAMBERLIN, veröffentlicht 1894 (s. R. T. CHAMBERLIN 1932). Es wurden unterschieden das Kansas Stadium, Illinoian Stadium, Iowan Stadium, Wisconsin Stadium, beziehungsweise: **Nebraska Glacial, Kansas Glacial, Illinoian Glacial, Main Wisconsin Glacial** (D. B. ERICSON et al. 1968). Die Interglaziale heißen von unten nach oben Aftonian Interglacial, Yarmouth Interglacial, Sangamon Interglacial.

Eiszeit auf der Halbinsel Kola - ideales Forschungsterrain

Auf der für die Gletscherforschung fast idealen Kola-Halbinsel fanden schon WILHELM RAMSAY (M. SAURAMO 1943, S. 20) eindrucksvolle "schrammige Rundhöcker, Findlinge, verschiedenartige Moränenablagerungen und vom Schmelzwasser aufgeschüttete typische Längsosse und Runddeltas insbesondere an den Fjordbuchten", und alles hier "weit deutlicher" als in Süd-Finnland, "weil auf der Tundra der Wald als hindernder Faktor" der Sicht "nicht in Betracht kam" (S. 20), und hier

auch postglazial nie Wald wie im übrigen Europa aufgekommen war. Die Quartär-Ablagerungen haben als "Unterlage .., dasselbe kristallinische archaische Urgestein wie in Finnland." Der finnische Geologe MATTI SAURAMO (1943) hat die Forschungen auf der Kola-Halbinsel dann fortgesetzt, besonders auch hinsichtlich der Strandhebung..

Anderswo als Nord- und Mitteleuropa und Nordamerika - Eiszeit-Glazialerscheinungen auf anderen Kontinenten - oder dort eben auch nicht

Wie in Europa und dann Nordamerika wurde auch auf anderen Kontinenten nach Glazialerscheinungen gesucht und wurden diese gefunden, erfaßt und kartiert. Von großer Bedeutung ist aber auch, daß es während der großen Gletscherausdehnung im Pleistozän auch **gletscherfrei gebliebene nördliche Regionen** gab, nämlich im Unterschied zu Rußland ganz **Sibirien**, also Mammutland, trotz seiner Permafrostböden und gletscherfrei waren außer den Hochgebirgen ebenso Inner-Asien und das nordwestliche Nordamerika, also vor allem Alaska (A. P. COLEMAN 1926, S. 53 u. a.). Sibirien hat demgemäß auch seine eigene Vegetationsgeschichte. Von **Hochasien** berichtete PUMPELLE (G. C. AMSTUTZ 1975) mit seinem Team über verschiedene Glazialzeiten. Keine Diluvialablagerungen konnten lange in Japan gefunden werden und ebensowenig in der Mandschurei (R. LEPSIUS 1912). Allerdings gab es später doch auch in diesen Gebieten Hinweise auf Gletschervorstöße aus den Gebirgen. Die Kalotte von Inlandeis in Nord- und Mitteleuropa war also mehr eine Randerscheinung in einem gewiß von Kälte geprägtem Eurasien, aber bedeutete von dem Gesamtgebiet aus gesehen fast nicht mehr als Grönland heute. Aber erdweit war es sicherlich kälter, der tiefere Meeresspiegel zeugt doch von viel gebundenem Wasser. Diese Dinge wurden wichtig bei der Überlegung über die möglichen Ursachen der Eiszeiten. Ohne Eis in Sibirien: Wie tief war also der Schnee, den die Mammute mit ihren gebogenen Stoßzähnen wegschoben? In **Rußland** reichen Blöcke aus finnischen Gesteinen bis Zentralrußland, und weiter süd-östlich fanden sich nur aus Zentralrußland stammende Blöcke (C. E. P. BROOKS 1926, S. 310).

Von deutschen Geographen untersuchte die Eiszeit-Zeugen **anderswo auf der Erde** FRITZ KLUTE (W. PANZER 1953, 1957). Er wurde nach dem Ersten Weltkrieg auf den Geographie-Lehrstuhl an der Universität Kiel berufen und bald auf den in Gießen. Promoviert hat KLUTE bei dem Geographie-Professor LUDWIG NEUMANN in Freiburg i. Br., der von dort aus den Schwarzwald erforschte. Dort, in Freiburg, war im Winter 1906/1907 ausnehmend viel Schnee gefallen, gerade auch im benachbarten Schwarzwald. Es wurde untersucht, an welchen Stellen, in

welchen Dellen etwa, der Schnee noch sehr lange liegen blieb, da diese Stellen bei kälterem Klima als Anfangslokalitäten für Gletscher hätten dienen können. Dort war zu erwarten, daß in der Glazialzeit Kare und Moränen, in kleinerem Maße, sich gebildet hatten und man sie in Resten finden mußte. KLUTE war mit der Datenzusammenstellung beauftragt. Gewiß taute damals der Schnee schließlich nahezu überall weg. KLUTE aber erhielt einen Blick für mögliche Glazialerscheinungen. 1912 erkundete KLUTE an dem in 3° südlicher Breite liegenden **Kilimandscharo** in viele Monate dauernder Arbeit in über 3000 m Höhe als Begleiter des Offenbacher Chemie-Industriellen EDUARD OEHLER die in Spuren erhaltene einstige und heutige Gletscherausdehnung, was genauestens kartiert wurde. Das war der Arbeit von PARTSCH im Riesengebirge 43 Jahre früher zu vergleichen. Die Anreise an das Kilimandascharo-Massiv mit reicher Ausrüstung war möglich geworden mit der neuen Eisenbahn von der Küste bis zum Fuß des ostafrikanischen Riesenberges mit seinen 3 erloschenen Vulkan-Gipfeln. Im Kibo, dem höchsten und jüngsten Gipfel des Kilimandscharo-Gebirges, wurden nach damaliger Bestimmung 6010 m ermittelt. In den Verwitterungserscheinungen war bei dem dauernden Schwanken um den Nullpunkt vieles den periglazialen Zuständen im eiszeitlichen Gletschervorland Mitteleuropas ähnlich, aber es gab doch auch Besonderheiten wie den "Büßerschnee", die figurenähnlichen Schnee-Erhebungen, die auf das besondere Abschmelzen wegen des hohen Sonnenstandes zu erklären waren. Gletscher gab es zur Zeit von KLUTEs Aufenthalt hinab auf 4500 m an der feuchten Süd- und Südwest-Seite des Kibo. Aber es fanden sich Moränen aus früheren Zeiten an allen 3 Gipfeln bis hinab auf 3600 m, und sie konnten als synchron mit der letzten Eiszeit in Europa ermittelt werden. Die eiszeitliche Temperatursenkung wirkte also bis ins zentrale Afrika. 1923/1924 forschte KLUTE 9 Monate im südlichen Südamerika, unter anderem im Nationalpark des Südens Lago Nahuel Huapi bei Bariloche und wies hier, im südlichen **Anden-Vorland**, 3 Vereisungen nach. Und schließlich erfaßte KLUTE heutige und einstige Vergletscherung in **West-Grönland**, wo noch heute auch Gletscher das Land bedecken, aber eben einst weiter reichten.

In **tropischen Regionen** wurde in neuerer Zeit (s. N. TARLING 1992, S. 62) eine 'dramatische' eiszeitliche Ausdehnung der Eiskuppen in den Hochgebirgen Neuguineas und nicht so ausgedehnt auf dem 4095 m hohen Mount Kinabalu in Malaysia und den hohen Vulkanen Sumatras festgestellt.

Mit der Meerwasserbindung durch Eis wurde etwa der **Sunda-Schelf** fast **trockenes Land** und bei der Menscheneinwanderung nach Neuguinea oder Australien ist das zu berücksichtigen (S, 62).

Während manche Forscher meinten, daß die Gletschervorstöße immer nur die eine Hemisphäre der Erde betrafen, wurde aber eher wahrscheinlich gemacht, daß die 'Gletschererscheinungen der Diluvialzeit' in gleichen Zeiten, also synchron, die

Erdoberfläche erfaßten, also von der "Allgemeinheit des Phänomens" auszugehen war (E. BRÜCKNER 1891). Eiszeit-Nachweis in den Tropen und im Vorland der Polargebiete. KLUTE war von der Gleichzeitigkeit der **3 Vereisungen** auf der ganzen Erde überzeugt.

Eiszeitnachweise am Meeresboden

Von Gletschern ausgehende Materialien werden **auch ins Meer** getragen. Abgelagert dort, wenn in der Nähe ein Meer vorhanden ist. Die deutsche Südpolarexpedition führte am Rande von Antarktika über 30 Lotungen durch, die jene Sedimente fassen ließen, die sich heute "vor einem ausgedehnten Inlandeis in der Packeisezone niederschlagen, ..." (E. PHILIPPI 1908). Mit der Entfernung von Eisrand wird feineres Material abgelagert,

Während auf dem Festland jeder jüngere Vorstoß des Inlandeises die Hinterlassenschaften vorangegangener Eisvorstöße zumindestens stark störte, so gibt es **am Boden der Tiefsee ungestörte Ablagerungen**. Durch sie konnte die Abfolge der Glazialzeiten und der Warmzeiten bestätigt werden. Bohrkerne von Tiefsee-Sedimenten hat zuerst SCHOTT auf der Fahrt des deutschen Vermessungs- und Forschungsschiffes "Meteor" in den Jahren 1925 bis 1927 im äquatorialen Atlantik gewonnen (D. B. ERICSON et al. 1968). Aus diesen Bohrproben las SCHOTT ab, daß mit der Erwärmung nach der letzten Eiszeit die planktische Foraminifere *Globorotalia menardii* häufiger wurde. Das Lamont Geological Observatory in den USA besaß bis 1968 mehr als 5000 solche Bohrkerne von mehr als 50 Expeditionen. Aus den Häufigkeitsschwankungen der *Globorotalia menardii* konnte auch das Ende vorangegangener Eiszeiten abgelesen werden.

Nacheiszeit - vor allem nach der letzten Eiszeit: Postglazial

Gletscher wichen nicht ruckartig zurück. Es gab also eine mehr oder weniger längere Periode der oft nicht kontinuierlichen Erwärmung. Auch andere Dinge, so Meeresnähe, haben dabei sicherlich mitgespielt. "Nacheiszeit" muß es nach jedem Rückgang der großen Gletscher am Ende der verschiedenen Eiszeiten gegeben haben. Erforschbar ist für uns vor allem das Geschehen **nach der letzten Eiszeit**, der Weichsel-Eiszeit, dem Postglazial im engeren Sinne. Die Periode nach dem Gletscherrückzug gewinnt eigene Züge, wobei noch etliche Zeit die Fernwirkung der zurückgehenden Gletscher deutlich ist, also die Periglazialerscheinungen noch längere Zeit in den Regionen vorhanden sind, die vor noch nicht allzu langer Zeit

gletscherfrei wurden. Die Wetterabfolge in Mitteleuropa ist schließlich auch heute noch von den niedrigen Temperaturen im arktischen Raum mitbestimmt. Auf Neuseeland, namentlich der Südinsel, spürt man im Wettergeschehen die Antarktis trotz gegebener Entfernung allenthalben. Der englische Amateurgeologe ALFRED TAYLOR (W. H. GEORGE 2004) meinte 1853 in Anerkennung einer für Großbritannien anzunehmenden **Glazialzeit**, daß nach dieser Periode eine durch **viel Regen** ausgezeichnete Zeit, **'pluvial period'**, folgte. Etwa in Sachsen gibt es ziemlich tiefe Täler ohne jetzt von einem Bach durchflossen zu sein, so bei Schloß Döben östlich Grimma. Der Rostocker Geologieprofessor KURD VON BÜLOW (1930, S. 18) meinte für die Zeitspanne nach dem letzten Gletscherrückzug und reichend bis zur Gegenwart (S. 6) sogar eine eigene **'Epoche'/'Abteilung'** innerhalb der Periode/Formation Quartär aufstellen zu dürfen, die im Wert etwa vergleichbar ist dem ganzen Buntsandstein. Die Begründung war (S. 2), "daß das Ende einer Riesenvergletscherung einen derart markanten geschichtlichen Einschnitt bedeutet, daß alles Folgende etwas grundätzlich Neues, also ein neuer Zeitabschnitt mit neuartigen Gebilden sein muß." Zu den Gebilden, bis heute fortdauernd oder zeitlich begrenzt, gehörten Moore, "Raseneisenerz oder Kalkablagerungen", Schuttkegel, Dünen, limnische und marine Sedimente, Fazies im ehemaligen Vereisungsgebiet, aber VON BÜLOW wollte die Epoche 'Alluvium' für die ganze Erde sehen, mit anderswo, etwa in der Sahara, anderen Fazies. Die Lebewelt der großen Räume blieb gleich und es gab kaum neue Leitfossilien, aber es gab "für die Flora und Fauna kleinerer Gebiete" "erhebliche Verschiebungen" (S. 3). Und der höher entwickelte Teil der Geschichte der Menschheit fällt in diese 'Epoche'. Frage war, ob das 'Alluvium' wirklich "als "postglazial" bezeichnet werden darf" oder nur ein 'Interglazial' ist, wie es für Mitteleuropa bedeutend mindestens 2 gab und wie diesen auch dem 'Alluvium' wieder eine Eiszeit folgt. Aber im Falle eines lediglich 'Interglazials' würden erst viel spätere Generationen das Ende erleben (S. 19).

Statt von 'Alluvium' wie bei VON BÜLOW wird nunmehr von 'Holozän' gesprochen.

Nach dem Gletscherrückzug kam die **Ältere Tundrenzeit**, also eine weithin eisfreie Natur, in der es zunächst aussah wie heute im nördlichen Sibirien oder auf Island und dann erst kamen Bäume.

Leitpflanze der Tundrenzeiten ist die ***Dryas octopetala* L.**/Achtblättrige Silberwurz, ein Rosengewächs, die man heute allerorten auf Island oder in höheren europäischen Hochgebirgen antrifft. Wegen der weiten Verbreitung der *Dryas octopetala*, einem Rosengewächs, wird auch von der Dryaszeit, also zunächst der **Älteren Dryaszeit** gesprochen.

Aus Pflanzenresten und dann der **Pollenanalyse** wurde besonders deutlich, die



Abbildung 276: *Dryas octopetala*.

nicht kontinuierliche Temperaturzunahme nach dem letzten Gletscherrückzug. Nach einer wärmeren Epoche gab es noch einmal eine längere Unterbrechung durch eine empfindlich kältere Periode. Die schon wärmere Periode war die **Allerödzeit**, die Allerödsschwankung (P. WOLDSTEDT 1948), Alleröd-Interstadial, benannt nach einem dänischen Ort, nicht nach einer Öde. Hier gab es archäologische Forschungen. Und hier zuerst wurde das Alleröd-Interstadial 1901 von den dänischen Geologen und Paläobotanikern NIKOLAJ HARTZ und VILHELM MILTHERS erfaßt (Wikipedia 2018). Jetzt, in der Alleröd-Zeit, wuchsen allerhand Bäume, so Wacholder, Esche, Weiden, Hasel, viele Kiefern. In Schweden gab es 11.400 - 10.500 die Bromme-Kultur (Wikipedia 2018). In der Allerödzeit gab es auch die von den Gletschern wohl völlig unabhängigen letzten Vulkanausbrüche in Mitteleuropa, wobei in der Eifel der Laacher See und einige kleinere Osteifelvulkane (P. VAN DEN BOGAARD et al. 1988) entstanden sowie etwa weniger große Ausbrüche in Frankreich stattfanden. Die weit verbreiteten Ascheablagerungen des den Laacher See schaffenden Ausbruchs bieten auch anderswo in Ablagerungen einen Zeitpunkt, wenn der Ausbruch zeitlich eingeordnet werden kann.

Nach der Alleröd-Zeit kam eine nochmalige längere Kaltzeit, die **Jüngere Tundrenzeit** oder Jüngere Dryas-Zeit und dann folgte erst die weitere Erwärmung, Daß es nach der Wiedererwärmung nach den Gletscherrückzug noch einem beträchtlich kälter wurde, beschäftigt viele Forscher gerade im Angesicht der Klimaänderungen im 21. Jh.. Großbritannien hatte in der Jüngeren Tundrenzeit wohl eine Durchschnittstemperatur von minus 5° C, Die 9620 v. Chr, endende Jüngere Tundrenzeit dauerte immerhin etwa 1150 Jahre (Internet Wikipedia 2018, Spektrum.de). Ihr Ende fällt schon in die Zeit, als im Nahen Osten die Anfänge der Landwirtschaft geschaffen werden, der Kulturstufe des Natufien. Wie kam so etwas zustande, gab es keine kontinuierliche Wiedererwärmung? Überlegungen führen

die der Alleröd-Zeit folgende erneut kältere Zeit auf die Abdämmung des Golfstromes infolge der Aussüßung des nördlichen Atlantischen Ozeans infolge der Gletscherschmelze etwa in Nordamerika, den Anfall große Mengen von Süßwasser aus der Hudson-Bay, zurück. Aber in der Antarktis gab es den Kälterückfall eher. Es wurde auch erörtert, ob der Ausbruch des Laacher See-Vulkans entscheidend an der Abkühlung beteiligt war. Und ebenfalls wird gedacht an ein Impact-Ereignis, den Fall eines Meteoriten, der vielleicht über Nordamerika, in Kanada, in mehrere Stück zerbarst? (Wikipedia 2018).

Eiszeit und Meere - Änderung des Meeresspiegels und Hebung eis-entlasteten Landes

Die Bindung des Wassers in den Gletschern hatte ein **Absinken des Meeresspiegels** zur Folge, der sich weltweit auswirkte. Mit dem Abschmelzen der Gletscher, mit der Rückkehr von großen Wassermengen in die Ozeane, stieg der Meeresspiegel. Man spricht von **glazialeustatischen Schwankungen des .Meeresspiegels**. Es wird nach dem Ende der Gletscherzeit eine Steigung des Meeresspiegels um 100 - 150 m angenommen. In Südfrankreich gibt es Höhlen tief unter dem heutigen Meeresspiegel. Einst lagen sie wohl über ihm, an der Küste. In der Nordsee gibt es ein Untiefen-Gebiet mit 13 m Tiefe und in West-Ost-Richtung 300 km und rund 100 km breit, **die Doggerbank**. Um 8000 v. Chr. lag das Gebiet noch über dem Meeresspiegel. Erst um 6000 v. Chr. wurde Großbritannien zur Insel. 1931 hatte dort ein englischer Fischtrawler, die "Colina", die Harpune eines mesolithischen Jägers und Sammlers aufgefischt, die ins Museum von Norwich kam. Daß in warmen Ozeanen Korallen ihre Bauten erhöhten, wird wenigstens zu einem Teil ebenfalls auf den steigenden Meeresspiegel zurückgeführt (H. LOUIS 1979, S. 551).

Sinkender Meeresspiegel senkt die Wolkenbildung, damit die Niederschläge, und es kann Dürre entstehen,

Die Eismassen banden also zu gewissen Zeiten gewaltige Wassermassen. Die von der Natur bewirkte Schmelze ließ die gebundenen Eismassen wieder zu Wasser werden. Die Massen von gebundenem Kohlenstoff führt der Mensch zu CO₂ zurück, löst also hier die Bindung Nunmehr wird befürchtet, daß der menschenverursachte Anstieg von CO₂ in der Atmosphäre die Temperatur erhöht und der Spiegel der Ozeane jetzt menschenverursacht weiter steigt.

Trotz dieses allgemeinen Anstiegs des Meeresspiegels **stiegen Küsten** nach dem Gletscherrückzug in Skandinavien, auf der Kola-Halbinsel und auch auf Spitzbergen empor, also ragten immer mehr aus dem Meer heraus. und das wurde zurückgeführt auf die **Entlastung** des durch die schweren Gletscher niederge-

drückten Landes. Erfolgte die Hebung in der Zeitfolge nicht gleichmäßig, gab es wegn manches Stillstandes in der Hebung unterschiedlich hoch liegende Strandterrassen an der heute niedriger liegenden Küste. Von der schwedischen Küste beschrieb das 1834 LYELL und konnte sich auch auf ältere auch wissenschaftliche Beobachtungen stützen. An Küstenstrecken der Halbinsl Kola fand RAMSAY (M. SAURAMO (1943, S. 21) eine "oberste Strandlinie" und sie "vertrat ein erheblich höheres Niveau." Diese höhere Strandlinie wurde einem Interglazial zugeordnet. Auch in den Interglazialzeiten hatte es also demnach Landhebung gegeben.

Eiszeit-Relikte in der Lebewelt

Aus der Eiszeit und Nacheiszeit, im periglazial bestimmten Raum, blieben nicht nur von der Geomorphologie zu erforschende Zeugnisse, sondern auch **an kältere Klimaverhältnisse** als heute **angepaßte Lebewesen**, erhielten sich an manchen Standorten als **Eiszeit-Relikte**. Die Relikt-Theorie geht zurück (s. o.) auf LOVÉN. Relikte müssen unter den heutigen Bedingungen lebensfähig sein. sonst könnten sie an ihren Standorten nicht auftreten. Aber die heutige Verbreitung der Relikte, ihr diskontinuierliches Vorkommen fern von ihrem Hauptverbreitungsgebiet, kann wohl auf die Eiszeit zurückgehen. Aber (s. a. F. DAHL (1921, S. 76). Relikte sind mache Tierarten in den Tiefen von Seen, Tiere in kalten Bächen, es sind darüberhinausgehend Pflanzen an noch an die Tundra erinnernden Standorten, Manche an das Postglazial erinnernden Pflanzen gedeihen in den **im Postglazial** entstandenen **Mooren**. Solche Reliktstandorte und ihre Vegetation breiten sich vor allem auch nach der anthropogenen Entmoorung heute nicht mehr aus, müssen oft durch Schutzmaßnahmen erhalten werden. Im Hochgebirge haben sich periglaziale Verhältnisse und auch die an Tundren erinnernde Vegetation reichlicher erhalten. Im süddeutschen Vereisungsgebiet hat der **Federsee** bei Bad Buchau in Oberschwaben ein wechselvolles Schicksal von einem rißeiszeitliche Ausräumungsbecken eines Gletscherlobus zum vermoorenden See der letzten Nacheiszeit mit archäologischen Funden und dem Erhalten des einmal künstlich abgesenkten nun 1,4 Quadratkilometer großen Sees als Naturschutzgebiet (u. a. Wikipedia 2013).

Wandel schon im 18. und 19. Jahrhundert entdeckt

Den Wandel der Vegetation und damit auch der Klimas in der Nacheiszeit lassen sich am besten erfassen in den Mooren. Sie sind so etwas wie die Sedimente der jüngsten Erdgeschichte. In der Zeit nach dem Gletscherrückzug wuchsen in feuchten Regionen mit undurchlässigem oder wenig durchlässigem Untergrund sowohl



Abbildung 277: Federsee. Bad Buchau.



Abbildung 278: Moor Isergebirge.

im Tiefland wie in den Mittelgebirgen **Moore** (J. STOLLER 1911) empor. Die vor allem aus Torfmoos/*Sphagnum* spec. gebildeten **Hochmoore** werden so genannt nach ihrer öfters uhrglasförmigen Wölbung. Sie können eine Gesamtmächtigkeit bis 10 bis 12 Meter aufweisen, sind aber etwa in Westpreußen 2 bis 4 Meter stark. Vor 1919 waren etwa rund 23.000 bis 27.000 Quadratkilometer des deutschen Territoriums, also etwa 4,2 bis 4,9 Prozent von Mooren bedeckt (K. VON BÜLOW 1927). Am moorreichsten war Nordwestdeutschland. Moore entstanden auch auf den Höhen der **Mittelgebirge**. In der Hohen Rhön mit einem Jahresniederschlag bis 1200 mm liegen die Hochmoore auf dem lehmigen Basaltboden beziehungsweise dem tertiären Ton.

Funde von Holz und Zapfen der Waldkiefer in Mooren in Holland, Dänemark und Nordwest-Deutschland außerhalb des heutigen Verbreitungsgebietes der Waldkiefer wurden schon im 18. Jh. beachtet und wiesen auf **Waldveränderungen in historischen Zeiten**, und auch unabhängig vom Menschen, damals, als von Eiszeiten noch nichts bekannt war (F. FIRBAS 1949, S. 2). 1841 erfaßt der in Norwegen geborene Däne JAPETUS STEENSTRUP in seeländischen Mooren Waldperioden, von unten nach oben folgen die Perioden der Espe, der Kiefer, der Eiche, der Erle. Wechselnde **Ablagerungen in den Mooren**, auch etwa Stubben von Bäumen, verweisen auf ein **Wechsel des Klimas** (F. FIRBAS 1949, S. 65/66). Der Göttinger Botaniker GRISEBACH deutete das als Folgen einer Erwärmung nach dem immerhin angenommenen kälteren Diluvium (S. 3). In Schweden verfolgt das ELIAS FRIES.

1867 hat J. GEIKIE Stubbenschichten "in schottischen Mooren auf einen Klimawechsel zurückgeführt. Einen Wechsel von kontinentalen und ozeanischen Klimaperioden las aus skandinavischen Mooren der dann Uppsalaer Botanikprofessor AXEL G. BLYTT (Wikipedia engl. 2016) heraus, vorgestellt **1876** in seinem Buch 'Essay on the Immigration of the Norwegian Flora during Alternating Rainy and Dry Periods'. RUTGER SERNANDER, ebenfalls Professor in Uppsala, hat das ergänzt. Bekannt wurde das als die '**Blytt-Sernander-Theorie**'. Auf eine **kühl-feuchte subarktische Periode** folgt eine **trockene boreale**, dann folgen eine **feuchte atlantische**, eine **trockene subboreale**, eine **feuchte subatlantische** Zeit. Zu jeder Periode konnten sich bestimmte Pflanzenarten weiter ausbreiten und blieben in der folgenden Periode oft als 'Relikte' nur an speziellen Standorten. Bei allen unsicheren Ergebnissen in den Mooren der verschiedenen Regionen, weit verbreitet fand sich der '**Grenzhorizont**', so genannt von dem Moorforscher CARL ALBERT WEBER (F. FIRBAS 1954, S. 66), der 30 Jahre lang an der Preußischen Moor-Versuchsstation in Bremen tätig war. Austrocknung trennt einen "stark zersetzten "älteren"" und einen schwach zersetzten "jüngeren Moorstorf". Der Grenzhorizont besteht vor allem aus Wollgras- und Heide-Torf. Der allerdings



Abbildung 279: Hochmoor im Vogtland/Holzhorizont.

nur in manchen Regionen (E. H. L. KRAUSE 1910) vorhandene und nicht einheitlich gedeutete Grenzhorizont wurde der **subborealen Trockenzeit** zugerechnet. Der **ältere Spagnum-Torf** ist etwa 2 bis 3 Meter hoch und wurde **vor** der subborealen Trockenzeit gebildet. Der **jüngere Sphagnum-Torf** wird bis 5 bis 6 Meter hoch und repräsentiert das bis zur Gegenwart andauernde kühlfeuchte **subatlantische** Klima, was also einem Rückgang der einst stärkeren nacheiszeitlichen Erwärmung entspricht.

Besonders seit Ende des 20. Jh. wurden durch mehr Annehmlichkeiten und mehr Nachteile gekennzeichnete Perioden in der Menschheits-Geschichte auf günstigeres oder weniger günstigeres Klima zurückgeführt. Was mußten unsere fernen Vorfahren erleben? Aber auch: wenn an die gegenwärtigen **ansprechenden Landschaftsbilder Mitteleuropas** gedacht wird: **Was** würde **ohne die 'Eiszeit'**, und vor allem auch **ohne den letzten Inlandeis-Vorstoß** fehlen: Kein Schweriner See und keine Müritz, kein Masuren, kein Gardasee und Lago Maggiore! Kein solch fruchtbarer Boden, wie im mittleren und nördlichen Mitteleuropa besteht. Mitteleuropa - ein Tertiärsumpf? Oder mit etlichen Bergzügen ein 'Neuguinea'? **'Was wäre wenn?** oder "wenn nicht?" - oh, ohne diese Frage für alle Geschichte wäre die Beschäftigung mit 'Geschichte' viel sinnloser!

Pollen von unterschiedlichen Bäumen in den verschiedenen Schichten der Moore - Pollenanalyse - palynologische Zonengliederung

Die Erfassung der nacheiszeitlichen Vegetations- und damit Klimageschichte war nicht auf größere Pflanzenreste allein angewiesen. In den Mooren werden **Pollen**

konserviert, infolge des gegen Abbau sehr resistenten **Kutin** oder Exin (H. MOLISCH 1933, S. 39) des die Pollen umschließenden Häutchens. Jahrtausende bleiben die Pollen in Torflagern erhalten. Die **Pollen** der verschiedenen Pflanzenarten und auch der Waldbäume haben **unterschiedliche Gestalt** und lassen sich im Mikroskop mehr oder weniger gut unterscheiden und ihren Herkunftspflanze zuordnen. Aus der Häufigkeit, mit der Pollen der einzelnen Arten etwa der Waldbäume, aber auch anderer Blütenpflanzen in den Lagen der Moore von unten nach oben auftreten, konnte die **Wald-** und überhaupt Vegetations-**Geschichte** und von da ausgehend auch die Klimageschichte der Nacheiszeit besonders umfassend rekonstruiert werden. Pollen sind fast so etwas wie die Leitfossilien der Nacheiszeit. Auch archäologische Funde ließen sich einordnen. Am Beginn der Pollenanalyse (Wikipedia 2018) steht mit einem ersten Diagramm 1916 der schwedische Botaniker LENART VON POST. Bald folgte am Federsee-Ried bei Buchau CARL ALBERT WEBER. WEBER gibt dabei 1918 eine von seinem im Ersten Weltkrieg gefallenen Sohn, HELMUT ALBERT, verfaßte Schrift heraus (F. FIRBAS 1949, S. 4). Auch am Federseeried begann die Pollenanalyse KARL BERTSCH. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Pollenanalyse versuchte 1930 der an der Universität Prag wirkende KARL RUDOLPH (F. FIRBAS 1949, S. 4). Besonders ausgebaut wurde die 1944 in den USA Palynologie genannte Methode von FRANZ FIRBAS (1949, 1952), zuletzt in Göttingen. Zahlreiche Doktoranden und andere waren auf solche Pollenanalysen angesetzt. Zahlreiche Autoren sind noch dabei (F. FIRBAS 1949, S. 4). Zu berücksichtigen waren unter anderem, daß die Bäume und auch andere Pflanzen sehr unterschiedliche Pollenmengen erzeugen, daß manche Gewächse näher an Mooren wachsen als andere, daß die unterschiedliche Schwere der Pollen die Entfernung ihres Transports beeinflußt. Aber auch auf den Höhen der Rhön, immerhin umgeben von landwirtschaftlich nutzbaren Gebieten, wurden in historischen Zeiten Getreide-Pollen in die Moore hineingetragen. Die Archäoöologie ließen sich in den Zeitbestimmungen von Pollenanalyse gern inspirieren. Auch für die Vegetationseinänderungen in den Interglazialen ließ sich die Palynologie benutzen.

Baumjahresringe werden in ihrem Wechsel gedeutet: Dendrochronologie

In jedem Jahr wird im Holz ein Zuwachs mit einem Jahresring festgehalten. Je nach Witterung sind diese Jahresringe unterschiedlich stark und zeugen also vom Klima und auch dessen Wechsel. Kann eine besonders starker Jahresring auf einen bestimmten Zeitpunkt festgelegt werden, dann kann in den anderen Bäumen einer Region an Hand eines solchen Jahresringes das Alter ebenso ermittelt wer-



Abbildung 280: Jahresringe, Voraussetzung der Dendrochronologie.

den.

Meere, gerade auch Randmeere, nach dem Gletscherrückgang

Mit dem Gletscherrückzug gab es Veränderungen des Meeresspiegels in allen Teilen der Erde, weil die abgeschmolzenen Wassermassen den Meeresspiegel steigen ließen. Und zwar wohl beträchtlich, wie einstmals bewohnte Höhlen in Südfrankreich unter dem Meeresspiegel und die Beendigung der Landverbindung der britischen Insel mit Mitteleuropa nahelegen. In Nord-Europa und bis auf die Kola-Halbinsel stieg das von der Gletschermasse befreite **Land empor**, nachweisbar durch teilweise hoch über dem heutigen Meeresniveauf liegende Strandterrassen.

Für das mittlere und nördliche Europa gab es im Gefolge der Inladeisvergletscherung und dem Eisrückzug Veränderungen in der Ausdehnung von **Nordsee und Ostsee**. Das wurde vor allem von skandinavischen Forschern untersucht.

In der im ersten Jahrzehnt des 20. Jh. festgestellten **Yoldia-Zeit**, benannt nach der Muschel *Yoldia arctica*, strömte von Westen Salzwasser in die Ostsee ein. Mit der Entlastung Fennoskandias vom Eis hob sich das Gebiet, wurde die Verbindung von Nordsee und Ostsee unterbrochen und wurde die Ostsee der süße **Ancylus-See**. Der Name stammt von der Schnecke *Ancylus fluviatilis*. Absinken im Süden verband die Ostsee wieder mit dem Weltmeer und das Ergebnis war das



Abbildung 281: Land/Torf wird See: Darß.

Litorina-Meer, benannt nach der Schnecke *Litorina litorea* (P. WOLDSTEDT 1929). Gleichzeitig wurde das Klima in Mitteleuropa feuchter, führte zu der atlantischen Klimaperiode, das offensichtliche Klimaoptimum der Nacheiszeit. Am Schluß der Bronzezeit gab es eine neue Wärmeminderung. Für die Ostsee kam mit verstärktem Süßwassereinfluß die salzärmere **Limnaeazeit**, benannt nach der Schneckengattung *Limnaea*.

Die Küste auch der Ostsee ist immer wieder Änderungen unterworfen.

Postglazial außerhalb der Vereisungsgebiete

So wie verfolgt wurde, was während des Hochstandes der Vereisung im Norden in den nicht vergletscherten Gebieten geschah, so wurde auch an ausgewählten Stellen, in **Seen**, noch bestehend oder verschwunden, die jüngere Entwicklung während und seit dem Gletscherückzug im Norden verfolgt. Etwa am Lake Valencia in Venezuela (J. P. BRADBURY et al. 1981), im Iguala Valley in Mexico (D. R. PIPERMO et al. 2007). Die zahlreichen an den Arbeiten beteiligten Personen, am See Valencia 9 Namen, zeugen von der Zusammenarbeit von Spezialisten, derer für die Alterbestimmung mit C14, für die Untersuchung der Sediment-Abfolge, der für die Pollenstimmung. Auch in die dort von anderen Arten als in Mitteleuropa stammenden Pollen war sich einzuarbeiten.

Ihr eigene nacheiszeitliche Klimageschichte hat Sahara, In ihrem Grün lebten Viehhalter. Diese Ergrünung eines Teiles der Sahara war allerdings nur eine kurze Eiszeitperiode. Schon vorher bestand die Wüste. Ab 5000 v. Chr. folgte die zunehmende erneute Austrocknung. In Felszeichnungen hielten sie zahlreiche Bilder der

zu ihrer Zeit dort lebenden Tiere fest. Von europäischen Forschern sah erstmals solche Feldbilder HEINRICH BARTH im tiefen 19. Jh. Wenn die **zeitliche Einordnung** der **Felsbilder** (so etwa YouTube Phönix 2008, abrufbar auch 2019), möglich ist, wenigstens ihre **zeitliche Abfolge** deutlich ist, dann zeigt der **Wechsel** der dargestellten wilden und auch jagdbaren **Tiere in der** vergehenden **Zeit**, die zunehmende Austrocknung, von der Savanne zur Trockenwüste, von Elefanten, Nashörnern, Giraffen und anderen zur späteren armen Fauna. Die Abfolge der Felsbilder mit dem, was sie zeigen, ist gemäß ihrer zeitlichen Stellung eine Quelle, eine Dokumentation, der **Klimageschichte**, hier der Sahara. Oasen mit Vieh, wenn sie nicht wie die Nilländer Flußoasen sind, leben vor allem von fossilem, nicht ersetzbarem Wasser im Untergrund,

Vor den "diluvialen" Eiszeiten - Abkühlung wie rasch?

Eine interessante Frage war, wie rasch die Temperatur-Absenkung ablief, die zu der großen Inlandeis-Ausdehnung führte. An der Pflanzenwelt des **Tertiär** hat man abgelesen eine **Abkühlung**, man spricht von "Klimaverschlechterung", vom Oligocän über das Miocän zum Pliocän. Im Miocän setzte eine lebhaft vulkanische Tätigkeit ein, die wenigstens mit zu den Vereisungen führen konnte (E. PHILIPPI 1908).

Aber wie stand es dann mit der mehrfachen Vereisung?

Nur stückweise wurde zunächst bekannt: Was liegt unter den mächtigen Quartär-Ablagerungen im nördlichen Mitteleuropa?

Nördlich etwa der Ober-Lausitz gibt es den Lausitzer Hauptabbruch und überhaupt ist das nördliche Deutschland gegenüber dem südlichen abgesenkt und auf ihm vor allem rückte das Inlandeis von Norden vor. Bevor Geophysik und Bohrungen mehr Aufschluß brachten, konnte man nur in manchen Regionen und weithin lediglich an einzelnen Orten ältere Gesteine antreffen und mußte von diesen Orten her auf wohl weite Ausdehnung auch früherer Formationen, so des Mesozoikum, unter dem norddeutschen Quartär schließen (D. HENNINGSEN et al. 2002, S. 166 ff., bes. S. 167). Unüberehbar war die Kreide auf **Rügen**. Von Salz im Untergrund, Zechstein womöglich, wurde **Lüneburg** reich. Unverkennbar war der mächtige Mittlere Buntsandstein von **Helgoland**, und einst vorhandener Muschelkalk war nur etwa für Hamburg so gut wie restlos abgebaut worden. **Aufgepreßtes Salz** hatte solche

älteren Gesteine emporgeholt. In **Rüderdorf** 25 km östlich von Berlin wurde Muschelkalk abgebaut. Und hier wurde mit Schrammen auf dem Muschelkalk, auf die TORELL verwies, die Eiszeit-Theorie für Norddeutschland begründet. Anhydrit und Gips aus dem Zechstein bilden den **Segeberg** und andere Orte in Schleswig-Holstein und finden sich bei **Sperenberg** in Brandenburg. Von etwa 200 solchen Diapiren ist heute die Rede (S. 171). In einer Ziegeleigrube bei **Dobbartin**, etwa 12 km entfernt von Krakow am See, fand 1879 F. EU. GEINITZ (1922, II, S. 81), daß es sich um Tone aus dem **Lias** handelt und das galt auch für den nahen Posidonienschiefer., herausgepreßt aus dem Untergrund. An Fossilien fanden sich Belemniten, Ammoniten und vor allem, in den Mergelkonkretionen, **Insekten** (s. d.). Lias fand sich auch bei Grimmen. Als vom Eis mitgerissen müssen die Stücke des '**Sternberger Kuchens**' aus dem Oligozän gelten (s. d.). Und je mehr man von der Tiefe erfuhr, desto deutlicher wurde, welche Massen an Sedimenten im Untergrund liegen: Salze in einigen Trögen bis mehr als 2000 m Mächtigkeit (S. 171). 'Helgoland' wird dann verstehbar. Und Regionen mit Jura über 1000 m, Unter- und Ober-Kreide 2000 m, "Tone und Sande des Tertiär" bis 3000 m (S. 172). Und wie Bohrungen nahelegen: Die Kaledonische Orogenese äußerte sich auch weit im Altpaläozoikum tief unter Norddeutschland, viel weiter südlich als einmal angenommen. So interessant das Quartär ist, bis auf einige Gebiete wie Rügen oder Helgoland verhüllt es also eine lange erdgeschichtliche Entwicklung, welche weiter im Süden, im Mittelgebirgs-Deutschland, erschlossen wurde.

Es gab Eiszeiten auch in viel früheren Perioden der Erdgeschichte - die Erklärung von "Eiszeit" wird schwieriger

Die Entdeckung von "Eiszeiten", von weiten Vergletscherungen auch in fern zurückliegenden Perioden der Erdgeschichte erschien als neue, aufregende **Herausforderung der Erdgeschichtsforschung**. "Eiszeit", "Eiszeiten" - das war also **nicht nur ein Endstadium in der** angenommenen **Erdabkühlung**. Starke Abkühlung wenigstens weiter Gebiet und erneute Erwärmung - das erschien als immer wieder lange unterbrochene Wiederkehr. Wenn auch noch ältere wahrscheinliche Eiszeiten beachtet wurden, so gab es auch keine rhythmische Abfolge der Kälteperioden (A. P. COLEMAN 1926, S. XXIII). Die Erdgeschichtsforschung war auf ein **neues interessantes Kapitel** gestoßen! Noch bei der Entdeckung der reichen Flora auf Grönland war mit der fortlaufenden allmählichen Abkühlung der Erde gerechnet worden und galt nördliche fossile Flora als Zeugnis einer vorher nie unterbrochenen höheren Wärme (C. E. P. BROOKS 1926, S. 20/21).

Mit Eiszeit in ferner Vergangenheit und nicht nur in jungen Zeiten erhielt die also nicht so andersartige ferne Erdgeschichte durch größere Gleichheit einen aktua-

listischen Zug. Aber verbunden auch mit einem in manchem katastrophistischen Moment. Von größeren Vergletscherungen südlich des Äquators kam eine Vorstellung auf bevor 1875 die pleistozäne Inlandeisbedeckung für Mitteleuropa anerkannt war.

Es war ANDREW C. RAMSAY, der **1855** über Konglomerate des **Perm** in Mittelengland in Shropshire und einigen Orten in der Nachbarschaft berichtete, welche durch Eistransport herbeigeführt worden sein müßten. Das mußten keine kontinentumspannenden **Gletscher** gewesen sein. Zu denken war auch an nicht allzu weit entfernte Gebirge. Der Botaniker JOSEPH DALTON HOOKER hatte auf Neuseeland gesehen, wie nahe Gletscher sich nahe subtropischer Vegetation befinden können und auch heute ist das zu beobachten, etwa am Franz-Josephs-Gletscher auf der Südinsel von Neuseeland. RAMSAYs Artikel löste starke Diskussion aus (s. u. a. A. GEIKIE 1892, S. 41 ff.). Bei aller Strittigkeit hatte RAMSAYs Arbeit die Augen dafür geöffnet, daß Gletscherzeugnisse auch in ferner erdgeschichtlicher Vergangenheit, im Perm etwa, erwartet werden durften. Schrittweise wurden schon ab 1850 **Gletscherzeugnisse im Carbon und Perm auf der Südhalbkugel** nachgewiesen und erstand bis um 1900 für die Südhalbkugel das Bild einer ehemals weite Räume erfassenden Inlandeisvergletscherung, welche in der Ausdehnung die Gletscher des eiszeitlichen Europa übertraf. Das alles war schließlich fast so bedeutungsvoll wie die Entdeckung der quartären Eiszeiten im Norden. Inlandeis im Paläozoikum und danach höchstens begrenzte Gletscher im Mesozoikum, es war also die spät-paläozoische Eiszeit offensichtlich abgelöst worden durch eine für Millionen von Jahren vor allem auch paläobotanisch. von den Pflanzenfossilien und deren Verbreitung her naheliegende weitgehend **eisfreie Erde**, wohl sogar ohne Eiskappen an den Polen. Das durfte sogar als **Normalzustand** gelten, nur **unterbrochen durch wenige kältere Episoden** (C. E. P. BROOKS 1926, S. 19). **Unsere Zeit** wäre dann also eine **Ausnahmezeit**, "we are living in an abnormal climatological age" zwischen "a stage of milder glaciation or partial glaciation." Und auch das Bestehen von Klimazonen und biogeographisch unterschiedlichen Regionen wäre nicht der irdische Normalzustand (J. H. F. UMBGROVE 1942, S. 124). Also ganze Erzeitalter vergingen, ehe es nach dem Perm wieder Großgletschern kam. Das zeugte **gegen die Annahme einer gleichmäßig fortschreitenden Abkühlung der Erde**. Auch Klimatologen und Meteorologen wurden in die Forschung gerufen. Ältere Inlandvergletscherungen bedeuteten aber auch, daß Eiszeiten eher in ein aktualistisches Bild von der Erdgeschichte mit der großen Ähnlichkeit von Vergangenheit und Gegenwart paßten als Eiszeiten nur am Ende der langen Erdgeschichte. Aber gab es offensichtlich nur manchmal Eiszeiten, was wiederum die allzu aktualistische Vorstellung korrigierte.

Im einzelnen: Gletscherschliffe wurden in **Vorder-Indien 1856** gefunden. Glet-

schierhinterlassenschaften des Carbon wurden dann nachgewiesen **1859** in dem im Pleistozän außer Tasmanien von der Eiszeit nicht betroffenen **Süd-Australien** durch den von England nach Victoria in Australien entsandten ALFRED RICHARD CECIL SELWYN (A. P. COLEMAN 1926, S. 139; A. PENCK 1900, W. SALOMON-CALVI 1933). SELWYN wurde bei Schliffen in Süd-Australien an die ihm bekannten Gletscherspuren in Nord-Wales in Großbritannien erinnert, wo eine eher lokale Vergletscherung angenommen worden war. Im Jahre 1877 wurden weitere Gletscherspuren in Australien südsüdwestlich von Adelaide gefunden und es wurden, von anderen Beobachtern, auch Zeugnisse für 2 ausgedehnte Interglazialzeiten nachgewiesen, die als ausgedehnteste Interglazialformationen der Welt gesehen wurden (A. P. COLEMAN 1926, S. 141). In **Süd-Afrika** wurden auf Glazialbildungen deutende Phänomene in den Jahren 1868, 1871 und 1886 beschrieben. Der aus Schottland stammende, an der Arktisforschung beteiligte und dann nach Pietermaritzburg in Natal übergesiedelte PETER COMAC SUTHERLAND (Wikipedia engl. 2016) sah **1870** (A. P. COLEMAN 1926, S. 115) in Natal in für vulkanisch gehaltenen Konglomeraten Glazialzeugnisse: "... The boulder-bearing clay of Natal is of analogous nature to the great Scandinavian drift ... a vast moraine of olden time" (zit. b. A. P. COLEMAN 1926, S. 116). SUTHERLAND starb 1900 bei einem Autounfall in Pietermaritzburg. Jedoch, wie WILHELM SALOMON-CALVI wußte (1933, S. 123), trauten sich zunächst schon in Erinnerung an die Kohlelager dieser Zeit "meist die Beobachter selbst nicht an alte Gletscher zu denken,..." Zuletzt kam die sichere Entdeckung spätpaläozoischer Gletscherzeugnisse in **Südamerika**. **1906** gab es nach vorher nicht beachteten Glazialzeugnissen solche durch den 1904 - 1908 für Brasilien forschenden USA-Erdölgeologen ISRAEL CHARLES WHITE (Wikipedia 2016) in Süd-Brasilien (A. P. COLEMAN 1926, S. 154 ff.). Noch bestehende Zweifel wurden behoben durch den Bericht einer geologischen Expedition nach Brasilien durch J. B. WOODWORTH **1912**. Außer den Tilliten wurden auch eisgeritzte (striated) Steine angeführt (A. P. COLEMAN 1926, S. 155).

Die **weite Anerkennung** einer weitausgedehnten **permokarbonischen Vereisung** geschah erst an der **Wende vom 19. zum 20. Jh.** Manche Forscher blieben skeptisch. In Nordwest-Indien hat in der Salt Range im Winter 1902/1903 ERNST KOKEN (F. v. HUENE 1912, E. KOKEN et al. 1903, E. KOKEN 1904, 1907, E. SUESS 1912) zusammen mit Dr. NOETLING vom Geological Survey of India die glazialen Ablagerungen als solche zur Anerkennung gebracht. KOKEN (F. WAHNSCHAFTE 1912 b), der ansonsten namentlich als vielseitiger Paläontologe tätig war, wurde am 29. Mai 1860 in Braunschweig geboren und studierte Geologie und Paläontologie bei VON KOENEN in Göttingen, in Zürich bei ALBERT HEIM und bei BEYRICH und DAMES in Berlin. DAMES hat ihn besonders gefördert. Als Ordinarius wirkte KOKEN ab 1891 in Königsberg und ab 1895 in Tübingen. Er

starb im Alter von nur 52 Jahren am 21. November 1912, wobei sich eine schwere innere Krankheit ab Frühjahr 1911 abgezeichnet hatte.

Bei den alten Vergletscherungen blieb wenig oder nichts in der Landschaft erhalten und **die Gletschespuren waren mehr im Untergrund**, auch in Aufschlüssen, zu **suchen**, etgwa auf Konglomerat auf geschrammter Oberfläche sehr viel älterer Gesteine. Umstritten waren die sogenannten '**Facettengeschiebe**', die in den quartären Gletscher-Hinterlassenschaften wenigstens zunächst so nicht bekannt waren, wie A. PENCK festgestellt hatte (1900), aber dann doch "vielfach in diluvialen Geschiebemergel der Nordhemisphäre und in antarktischen Eisbergen gefunden wurden" (E. PHILIPPI 1908, S. 353). Sie hatten eine Schlifffläche erhalten, "wenn sie für längere Zeit unter dem Inlandeise in der gleichen Lage festgehalten wurden" (S. 355)- Der viel mit Paläoklimatologie befaßte EMIL PHILIPPI war Professor der Geologie und Paläontologie an der Universität Jena, nahm teil an der deutschen Südpolar-Expedition mit dem Schiffe "Gauß" und starb 1910, 39 Jahre alt, im oberägyptischen Assuan.

Die **verfestigten Moränen** der Carbon-Perm-Eiszeit in Südafrika wurden, unter anderem bei PENCK 1906 '**Tillite**' (R. P. BECKINSALE 1974) genannt (so a. A. P. COLEMAN 1926), abgeleitet von dem Terminus 'Till', mit dem AGASSIZ für Schottland die unter den Gletschern mitbewegten Gesteinsschichten bezeichnet hatte. Neben den glazialen Ablagerungen fand man auch die für das Gletschergleiten typischen Streifen auf unter dem Eise befindlichen Felsen (A. S. ROMER 1968), ja das an Grundmoränen erinnernde Lockermaterial und die Schrammen auf darunterliegenden Felsen gemeinsam schienen der Beweis für Gletscher zu sein. Lockermaterial allein konnte auch anders entstanden sein. Das erratische Material zeigte sich außerdem als ortsfremd, war weit transportiert.

Die Permo-carbonische Vergletscherung erfaßte ein nach der heutigen Landverteilung ungeheuer großes Gebiet, weitaus umfassender als das der quartären Vereisung. KOKEN (1907) erkannte das Boulder Bed der Saltrange über eine Ausdehnung von etwa 200 km, eine weithin ziemlich gleichartige Ausbildung, kontinuierlich abgelagert, die für eine einheitliche Entstehungsursache sprach. Die Permo-carbonische Vereisung hatte auch eine längere Dauer. Sie war offensichtlich ebenfalls durch Schwankungen unterbrochen. Für das heute nachweisbare riesige Vereisungsgebiet erhob sich zum einen die Frage, ob die Vergletscherung über gleichzeitig stattfand. Und in Verbindung mit anderen, mit paläobotanischen Zeugnissen wurde diskutiert, ob vielleicht ein riesiger zusammenhängender Südkontinent bestand, das Gondwanaland (s. u.), aber die heute getrennten Kontinente und Inseln der Südhalbkugel zusammenhingen und dann das Vereisungsgebiet gewaltig, aber doch nicht ganz so riesig war. Debattiert wurde auch eine Polverlagerung. mit dem Südpol im Zentrum des Vereisungsgebietes. Hätte der Südpol im Mittelpunkt

des riesigen Vereisungsgebietes gelegen, so hätten jedoch dennoch die Eisfelder Indiens, Südafrikas und Australiens von ihm so weit entfernt gelegen wie derzeit Tunis und Algier vom gegenwärtigen Nordpol (E. KOKEN 1907, S. 539). Ein so weiter Einfluß der Kälte eines Pols wäre kaum denkbar gewesen. Und vor allem hätte dann der damalige Nordpol im nördlichen Atlantik gelegen. Hier fehlen alle Gletscherzeugen für das Perm (A. PENCK 1900). Dortige fossile Fusulinen und Korallen verwiesen eher auf Wärme.

Noch ältere verbreitetere Gletscherspuren wurden später im frühen **Cambrium** (E. PHILIPPI 1910) und auch im Präkambrium festgestellt, Zeugnisse sogar einer offenbar einzigartig weit ausgedehnten Vereisung (s. T. S. WESTOLL 1965). Sie festzustellen, war insofern schwieriger, weil .worauf ERICH KAISER 1931 (S. 396) nicht zu Unrecht verwiesen hatte, daß vor der Bedeckung der vieler Teile der Erde mit einer Pflanzendecke überall Wüste war, unabhängig von den Niederschlägen, und daß unter diesen Umständen ungeschichtete und auch gekritzte Felsmassen entstanden sein können, die man irrtümlicherweise auf Gletscher zurückführen könnte.

Keine Gletscherspuren fanden sich im Mesozoikum (P. M. S. BLACKETT 1961) und es gab offenbar ein ganzes Erd-Zeitalter ohne Gletscher auf der ganzen Erde, mit einem milden, ja tropischen Klima so ziemlich weltweit, was auch andere Zirkulationsverhältnisse in den Meeren und in der Atmosphäre bedeuten mußte.

Nunmehr gibt es Aufschlüsse über **erdweite Eispanzer in der Frühzeit** der Erde, so vor 635 Millionen Jahren, die "**Snowball-Earth**" (s. U. LINNEMANN et al. 2010). Der Begriff stammt von JOSEPH L. KIRSCHVINK (Wikipedia 2018), 1969, vom Caltech. Zurückgeführt wird die große frühe Erdvereisung, falls sie in dem angenommenen Ausmaß stimmt, auf die Entstehung chlorophyllhaltiger Lebewesen, Blaubakterien, welche nahezu alles Kohlendioxid und damit den Wärmeschutzschild aufbrauchten und auch auf die Bindung von Kohlendioxid in der Verwitterung. Damit beruht das Geschehen auf nachvollziehbaren chemischen und auch physikalischen Vorgängen, entspricht so dem **Aktualismus**, wenn auch die Erdoberfläche noch nicht in dem von LYELL angenommenen Aktialismus/Uniformitarismus angekommen war. Vulkangase durchbrachen schließlich den Eisschild und führten wieder Kohlendioxid in die Atmosphäre. Ein fast abenteuerlich wirkendes Szenarium.

Zusammenfassung: **Zunahme der Erkenntnisse über die Eiszeiten auf der Erde**

Vergrößerte Gebirgsgletscher

Inlandeis

mehrfach im Quartär

mehrfach in der **Erdgeschichte**

Noch immer nicht eindeutig: Ursachen der Eiszeiten

Viele geologische Phänomene, auch schlimme, liegen Jahrmillionen zurück. Dann mochte man sich zurücklehnen: In unserer kaum 100-jährigen Lebenszeit müssen sich die schlimmen Dinge nicht noch einmal ereignen. Aber vor 10.000 Jahren endete der große Gletscher noch in Süd-Finnland. Gewiß, auch das ist lange her. Aber **kältere Perioden** gab es **auch in historischen Zeiten**. HANNIBAL zog mit Elefanten über die Alpen. Gab es nur wenig Schnee? Und auch die Herrscher der Zeit der Hohenstaufen erlebten wohl milde Winter. Aber im Spätmittelalter wurde es kälter. Es kam die "Kleine Eiszeit". Die Wikinger in Süd-Grönland konnten kein Vieh mehr durchbringen, kein Gemüse mehr anbauen. Die angeblich so starken, als blond angenommenen Nordmänner mußten den einem Schnee- und Eisland besser angepaßten Inuit/Eskimo weichen. Später wurde es wieder milder. Klimaänderungen gibt es also in historischen Zeiten und ihre Nähe zur Gegenwart muß zum Nachdenken über Klimaänderungen überhaupt führen. So kann man fragen: Leben wir nur in einer "Zwischeneiszeit", also einer Warmzeit? Wie lange dauert sie? Was bedeutet es, wenn der CO₂-Gehalt der Atmosphäre seit der großen Nutzung der fossilen Brennstoffe ständig steigt, falls eine Klimaänderung durch Veränderungen der Atmosphäre auch relativ rasch eintreten kann?

In weiten Perioden der Erdgeschichte herrschte wohl weltweit ein mildes Klima, fehlten große Eispanzer. Warum änderte sich das zeitweise? Zahlreich sind die **Hypothesen und Theorien** über die zur weiteren Gletscherausdehnung führenden Faktoren. Erklärt werden mußten ebenso die großen Vergletscherungen in ferner Vergangenheit sowie die eindeutig nachgewiesene mehrfache Wiederkehr der Vereisung im Pleistozän. Eine **kontinuierliche Abkühlung der Erde** war also augenscheinlich **nicht** vorhanden. Die Theorien und Hypothesen behandeln **oft** nicht nur eine mögliche Ursache, sind nicht **monokausal**, sondern überlegt wird auch das zeitweilige Zusammentreffen mehrerer Faktoren. Das zu untersuchen war nicht nur eine Angelegenheit der Geologie, sondern auch die Meteorologie mit ihrer Erforschung etwa der Zyklonen an der Polarfront oder dem Einfluß des Golfstroms hatte mitzureden (C. E. P. BROOKS 1926),

Wegen der Synchronizität der Vergletscherungen auf der ganzen Erde nahm BRÜCKNER 1890 (1891) an, daß nicht irdische (tellurische), sondern **kosmische Ursachen** in Frage kommen. BALFORD rechnete mit einem plötzlichen Wechsel der von der Sonne ausgestrahlten Wärmemenge (A. PENCK 1882, S. 443). FRIEDRICH NO-

ELKE (1941) etwa dachte an ein Durchlaufen der Sonne durch kosmischen Staubwolken, 'Dunkelwolken', die sie durch ihre Gravitation zusammenzog und so deren Leuchtkraft minderte. Viel diskutiert wurden Veränderungen in der **Exzentrizität der Erdbahn**, so durch MILANKOVITCH. Aber diese Erdbahnänderungen hätten durch die ganze Erdgeschichte hindurch stattfinden müssen. Jedoch nur zu bestimmten Zeiten gab es Eiszeiten, was zusätzliche Faktoren erforderlich machte.

Einflüsse aus dem Weltall, **kosmische Ursachen**, etwa geänderte Sonnenstrahlung mochte mitwirken, aber auch auf der Erde liegende Ursachen, **irdische Faktoren**, wurden als ausreichend für eine Gletscherausbreitung vermutet. Eine die Erde ziemlich weit erfassende **Absenkung der Mitteltemperatur** war sicherlich vorhanden, worauf etwa KLUTE verwies, und hierfür kamen die einen wie die anderen Ursachen in Frage. Die Betrachtung heutiger Gletschergebiete legte vielen Forschern nahe, daß es offenbar **keiner sehr starken allgemeinen Erdbabkühlung** bedurfte, um **die Gletscher wachsen** zu lassen.

Bei aller Temperaturerniedrigung, zur Bildung großer Eispanzern sollten etwa gemäß des Glazialgeologe ARTHUR PHILEMON COLEMAN (1926, S. 52 u. a.) **spezifische geographische Bedingungen** hinzutreten müssen: "The production of important ice sheets was, however, dependent on the arrangement of land and sea, on winds and of ocean currents, and on the relative position of mountain chains, tablelands and plains." Die großen Gletscher waren nicht nur eine Angelegenheit der Entfernung von den Polen, von Klimazonen. COLEMAN war Geologieprofessor in Toronto gewesen. Zu beachten war (C. E. P. BROOKS 1926, S. 209; A. P. COLEMAN 1926), daß Sibirien und Innerasien abgesehen von Hochgebirgen in den Mitteleuropa betreffenden 'Eiszeiten' frei von Inlandeis waren. Nach Nord-Asien kamen wohl nur unzureichend Niederschläge, die auf dem Permafrostboden hätten große Eismassen entstehen lassen und fehlte ein Nährgebiet für Eismassen im Norden. Weil die Vergletscherung in Nord- und Ost-Asien fehlte oder die Kälte wenigstens das heutige Maß nicht weit unterschritt, schienen kosmische Ursachen auszuschließen (R. LEPSIUS 1912). Wegen der nicht von Eispanzern belegten Gebiete in Nord-Asien wird es also zweifelhaft, ob wegen der Eiskappen in Nord- und Mitteleuropa und Nordamerika von einer besonderen 'Eiszeit' gesprochen werden darf oder ob bei der Ausdehnung von Inlandeis auch heute nicht immer noch 'Eiszeit' auf der Erde herrscht, oder wenigstens 'Kaltzeit', nur eben mit anderer Eisschildverteilung als im Pleistozän (F. W. JUNGE et al. 2003). 'Eizeit' ist immer, wenn auf der Erde irgendwo größere Eismassen liegen, die sich nur manchmal vergrößern und dann verkleinern oder anderswie verteilen. Nur Mitteleuropa und Nordamerika zum Maßstab für die Definierung einer 'Eiszeit' zu verwenden wäre dann Anmaßung von bestimmten, sich als Maßstab setzenden Regionen. Wirkliche

'Warmzeiten', das waren vielleicht nur jene wohl langen Perioden, als es nirgendwo auf der Erde größere Eismassen gab oder nur sehr begrenzte. Eiszeiten waren nur unterschiedlich. Die Temperaturen überschritten niemals gewisse Grenzen und niemals wurde das Leben völlig unterbrochen. '**Eiszeiten**' liegen bei solcher Betrachtung **völlig im Normbereich des Aktualismus**.

Wo es einen **Anstieg der Niederschläge** gab, bei durchaus den heutigen vergleichbaren oder gar höheren Temperaturen, sollte das ausreichen, daß die **Firnmassen so zunahmen**, daß sie im Sommer so unvollständig abschmelzen, daß sich Gletscher bilden. Nicht kalte Winter, sondern kalte Sommer sollten die Entwicklung von Gletschern begünstigen oder wenigstens im gleichen Sinne wirken wie kalte Winter (C. E. P. BROOKS 1926, S. 302). Die Ausbildung einer Inlandeiskappe mußte fernerhin abhängig sein von einer genügenden Landmasse in den Polargebieten (W. KÖPPEN und A. WEGENER 1924), und das mußte keinesfalls immer der Fall gewesen sein. Heute bestehen schließlich große Landmassen-Unterschiede zwischen der Arktis und der Antarktis und die Vergletscherung ist erheblich unterschiedlich. **Meer-Land-Verteilung** sollte wichtig sein für Gletscherbildung.

Für das Carbon und **Perm** wurde eine einheitliche große Landmasse im Süden angenommen. Wenn angenommen wurde, daß die Vergletscherungen der Perm-Zeit kein größeres Ausmaß als im Pleistozän besaßen, dann wurde eine einstmals andere Landverteilung oder eine Verschiebung der Pole erörtert. So wurde von OLDHAM, KREICHGAUER, PENCK diskutiert, daß zur Permzeit der Südpol in der Mitte des heutigen Indischen Ozeanas lag (s. a. S. ARRHENIUS et al. 1912) und daher die Südländer wie die gegenwärtige Antarktis aussehen mußten. In der Antarktis herrschte im Mesozoikum andererseits ein reiches Tier- und Pflanzenleben. War der Südpol im Perm im Indischen Ozean, dann wäre aber der damalige Nordpol in Zentral-Amerika zu erwarten. Dort aber deutet die Fauna des Perm, Fusulinen und Brachiopoden, auf ein warmgemäßigtes Klima. Der als zusammenhängend gedachte Südkontinent sollte gemäß WEGENER und anderen ab dem höheren Mesozoikum auseinandergedriftet sein und die Hinterlassenschaften der Carbon-Perm-Eiszeit wurden viel weiter verteilt als sie einst vorhanden waren, verlagert nach Südamerika wie nach Australien. Wer die Kontinentaldrifttheorie nicht mochte, stand da mit größerer Schwierigkeit da. Als möglicher weiterer Grund für die Eiszeiten wurde die **Existenz recht hoher Gebirge** erörtert (H. GERTH 1952), so hoch, daß sich in ihnen auch in relativ niederen Breiten bei hohen Niederschlägen gewaltige Gletscher bildeten. Das betonte etwa C. E. P. BROOKS 1926, wiederholt u. a. UMBGROVE (1942, S. 154). BRÜCKNER spekulierte über einen erneuten Alpenaufstieg während des Mindel-Riß-Interglazials (zit. b. C. E. P. BROOKS 1926, S. 310). Warmzeiten, so lange sie auch währten, waren Zeiten mit erdweit

niedrigem Relief. Die Meere waren dann aufgefüllt, Festlandsränder überflutet. Die Gebirge mußten nicht unmittelbar vor einer Eiszeit entstanden sein. Das Eintreten einer Eiszeit mochte lange verzögert sein (C. E. P. BROOKS 1926, S. 219). Eine einmal **entstandene Eiskappe** konnte **sich verstärken** (J. H. F. UMBGROVE 1942, S. 128) und mit der Ausbreitung von Großgletschern kühlte die Erdoberfläche immer mehr,. Der wegen der Bindung von Meerwassers in Großgletschern **fallende Meeresspiegel**, bis 100 m, und der so **schrumpfende Meeresraum** ließ den Temperatenausgleich zwischen Festland und Ozean sinken und mußte die Gletscherausdehnung begünstigen (S. 129). Bis die Wärme in niederen Breiten dem allem doch ein Ende setzte

Erwogen wurde auch die Atmosphäre oder gar die Stratosphäre durchziehende und das Sonneneinstrahlung mindernde feine **Vulkanasche**. Sowohl in dem dem Pleistozän vorangehenden Tertiär hatte es zahlreiche Phasen in der Entstehung von Hochgebirgen gegeben und vor allem auch den Aufstieg der Alpen. Und Gebirgsbildungen hatte es ebenso im Carbon gegeben.. Aber ziemlich lange lagen Gebirgsbildungen vor dem Beginn der Eiszeiten: Und welche Gebirge gab es vor der spätpaläozoischen Eiszeit auf der Südhalbkugel?

Bedeutsam war und blieb die Diskussion um das **Kohlendioxid für die Entstehung der Eiszeiten** Der schwedische Physikochemiker SVANTE ARRHENIUS brachte den Gehalt der Atmosphäre Kohlendioxid auf den Wärmehaushalt zur Diskussion.. Mehr, auch nur wenig mehr Kohlendioxid in Atmosphäre, ließ die infraroten, die Wärmestrahlen, die Atmosphäre schwerer verlassen, heizten auf. Es kam der "Treibhaus-Effekt". Die Fähigkeit des Kohlendioxid, die 'dunklen Wärmestrahlen' bis zu einem "gewissen Grade" zu absorbieren wurde schon von TYNDALL entdeckt (E.PHILIPPI 1910). Abnahme des Kohlendioxid-Gehalts bewirkte das Gegenteil. Wie ARRHENIUS mitteilt (1909) wurde in der Stockholmer physikalischen Gesellschaft über die möglichen Ursachen der Eiszeiten diskutiert und hat ARRHENIUS 1896 den ersten Versuch unternommen, den Einfluß des "Kohlensäuregehaltes auf die Temperatur der Erdoberfläche zu berechnen" (S. 481). Er benutzte dabei die kurz vorher veröffentlichten Messungen von LANGLEY über die Wärmestrahlung des Mondes "als experimentelles Material". Streit gab es mit dem zuerst zustimmenden ANGSTRÖM. Experimentaluntersuchungen in Deutschland durch RUBENS und LADENBURG hätten dann gezeigt, daß die Kohlensäure der Atmosphäre etwa 22,5% der Erdstrahlung absorbiert und ihre Verdoppelung die Absorption um etwa 1/10 vergrößert. Gibt es infolge Verminderung des Kohlensäuregehaltes Abkühlung, vermindert sich auch der Wasserdampf-Gehalt in der Atmosphäre und verstärkt die Abkühlung. Nach seiner Berechnung von 1906 meinte dann ARRHENIUS, daß ein Sinken des gegenwärtigen Kohlendensäure-Gehaltes der Atmosphäre um 54% wieder zu Eiszeit-Temperaturen führen

würde. Die durch den Menschen durchgeführte Verbrennung von Kohlen sah er für die nächsten 100 Jahre noch ohne bemerkenswerten Klimaeinfluß. Jährlich würde zur Zeit durch die Kohleverbrennung die Atmosphärentemperatur um 0.001° steigen.

Eine offene Frage war, woher das Kohlendioxid in der Erdatmosphäre kam und auch aus der Erdsatmosphäre verschwand. Woher also jene natürlich nie gleichzeitig in der Atmosphäre gewesenen Mengen, die sich mit dem Kalk und Dolomit niederschlugen und etwa 25000mal die jetzige Kohlendioxid-Menge ausmachen. Nur das Erdinnere, der Vulkanismus, kam in Frage. Und der in der Erdgeschichte wechselnde Vulkanismus mochte Ursachen für den Wechsel des Kohlendioxid in der Atmosphäre sein.

Mit dem Kohlendioxid rechneten CHAMBERLIN und FRECH. Dagegen sprachen, ohne die ausreichenden physikalischen Kenntnisse, KOKEN und E. KAYSER. KOKEN (1909) forderte einen geologischen Nachweis für niedrigeren Kohlendioxid-Gehalt in der Atmosphäre vor Vergletscherungen, verwies auf die wohl doch begrenzte Ausdehnung der Perm-Eiszeit. Der Geologe, wenn er nicht auch Physiker ist, muß sich in der Frage nach der Wirkung des allerdings auf die experimentellen Ergebnisse der Physiker verlassen. Aber wie ist eben der Kohlendioxid-Gehalt durch die ganze Erdgeschichte hindurch feststellbar, um die Beziehung Kohlendioxid - Lufttemperatur unabhängig nachzuweisen?

Für die Zukunft sah noch ohne Einbeziehung des anthropogen erhöhten CO₂-Gehaltes C. E. P. BROOKS (1926, S. 218/219) ein nicht-glaziales Stadium voraus.

Eiszeit-Forschung ohne Ende

Mit der Diskussion um die mögliche baldige Klimaänderung durch den menschlichen Kohlendioxid-Ausstoß wird die Erfassung auch kleinster Schwankungen in der Temperatur während der Kaltzeiten und der Warmzeiten und besonders der Nacheiszeit hochinteressant und wichtig. Die **Eisbohrkerne** von Grönland liefern da wichtige Befunde. So fanden sich in der letzten Eiszeit auch rasante Klimaschwankungen, Perioden schneller Erwärmung und erneuter langsamer Abkühlung, die Dansgaard - Oeschger-Ereignisse, benannt nach 2 Forschern: der Däne WILL DANSGAARD und der Schweizer HANS OESCHGER (s. Internet, Wikipedia 2018). Nach OESCHGER war während der letzten Kaltzeit der CO₂-Gehalt der Atmosphäre 50% niedriger als heute, und ihn besorgte der CO₂-Anstieg wegen der anzunehmenden Erderwärmung.

Von den einst ausgedehnten Gletschern blieb etliches erhalten. Im Eisschild **Grönlands**

beträgt die durchschnittliche Dicke etwa 1673 m. Aber es gibt auch maximale Stärken von 3.365, 5 m. Wie war es einst im vergletscherten Mitteleurop? Das Eisschild der **Antarktis** ist etwa 2126 m stark und hat maximale Dicken von 4.897 m. Das antarktische Festlandseis zusammen mit dem Schelfeis und dem Eis auf dem Meere enthält etwa 70% allen Süßwassers der Erde.

12. Die Herausbildung der Landschaften - Geomorphologie

Landschaftsformen - Geomorphologie

Geomorphologie - Allgemeines - Verbindung Geographie-Geologie

Die Geomorphologie ist die Wissenschaft von den Formen der Erdoberfläche (F. AHNERT 1996, S. 17). Die **Morphographie** ist die Beschreibung der Formen. Es hat sich für die Formen, die Formenelemente, eine ziemlich verbindliche Terminologie durchgesetzt, und allgemein bekannt sind Begriffe wie 'Moräne', 'Kar', 'Inselberg' und zahlreiche andere. Eine nicht geringe Anzahl von Form-Begriffen geht auf volkstümliche Bezeichnungen zurück. Volksmeinungen zur Entstehung mancher Formen werden mit Legenden verbunden, über Mitwirkung vom Teufel und anderen mythischen Gestalten. Überhaupt wird von Laien gern großzügig über die Entstehung von Landschaftsformen geurteilt, die im Unterschied zu Dingen in der Chemie wie selbstverständlich erklärbar erscheinen, ein 'Tal' eben weil hier Wasser ist und ein 'See' schlechthin wegen einer Vertiefung. Die Komplexität der Faktoren bei der Gestaltung der Landoberfläche läßt hier vieles schwierig entscheiden. Die **funktionale Morphologie** folgt den Beziehungen von Formen, den 'Funktionalbeziehungen', so der Beziehung zwischen den Tälern im Gebirge, die Erosionsformen sind, und den Schwemmfächern der aus dem Gebirge austretenden Flüsse, also Ablagerungsformen. Mit den Veränderungen im Flußlauf sind Größe und Zersetzungsgrad der Flußgerölle verbunden. Für die Erdgeschichte ist das Ziel, die Entstehung der Formen, also der Gebirge, Täler, Vulkane und anderer Formen zu ergründen und das leistet die **Geomorphogenie**, die **historisch-genetische Morphogenese**. Sie bestand wohl schon von Anfang an bei der Entwicklung der Geomorphologie mit dabei und im Zusammenhang mit ihr kam es auch zur reinen Formbeschreibung. Die Bestandteile der Geomorphologie greifen ineinander, und die Geomorphologie ist auch Teil der physischen Geographie, der

naturwissenschaftlich ausgerichteten Geographie, wie sie im 19. Jahrhundert entstand (H. SCHMITTHENNER 1956) und namentlich auch Teil der historischen Geologie.

Die Entstehung der Formen der Erdoberfläche, der Gebirge namentlich und der Täler, Senken, Seen und Meere standen von Anfang an in **Beziehung zur Ausbildung der Geologie**, der Erfassung der Gesteinsschichten. Der Naturforscher A. R. WALLACE wies 1876 (S. 262) darauf, daß man "viel von Schichten, Gesteinen, Versteinerungen, von der Ueberlagerung der Schichten und ihrer Biegung, von der chemischen Zusammensetzung und Eintheilung der Gesteine" und auch ihrer Entstehung schrieb, aber es wurde "nicht erläutert, warum hier die Gebirge gerundete Formen, dort jähe Abgründe zeigen, warum hier die Thäler weit und offen, dort eng und felsig sind, ... Ströme so oft eine Bergkette durchbrechen" und andere solche Dinge mehr. Es war ein Rückstand der "Geologie der Oberflächengestaltung (surface-geology oder earth-sculpture). Jedoch ohne den Begriff "Geomorphologie", also **implizit**, wurde **Geomorphologie anvisiert**, wenn etwa in GOETHEs klassischer Walpurgisnacht in "Faust II" die verschiedenen Gottheiten sich über Gebirgsbildung angeifern (F. KRAFFT 2009). Es konnte nicht darum gehen, nur festzustellen, daß sich Kalksteine und Sandsteine bildeten, sondern unter welchen Bedingungen.

Wegen des Einflusses der vergangenen tektonischen Ereignisse und des Gesteinsuntergrundes auf die Formenbildung, so die Gebirgsketten, und andererseits die Erklärung von Gesteinseigenschaften, namentlich der Sedimente, von den heutigen Vorgängen an der Erdoberfläche aus, ist die Geomorphologie die am engsten mit der Geologie verknüpfte geographische Disziplin und umgekehrt die am engsten mit der Geographie verbundene Geologie. Die Grenzen sind fließend wie die Zuordnung der das Bild der Erde ermittelnden Forscher.

Mit der Geomorphologie begann ein neues Stadium der Geologie, ein neues Zeitalter der Erdwissenschaft, die zwar an schon etliches Vorhandene anknüpfte, aber doch nun großzügig gestaltete.

Die Glazialforschung hatte ein erstes großes Beispiel gegeben.

Beginn der modernen Geomorphologie: FERDINAND VON RICHTHOFEN

Der **Terminus "Geomorphologie"** wird zurückgeführt auf JOHN WESLEY POWELL, auch auf RICHTHOFEN (H. SCHMITTHENNER 1956, S. 206). Der bedeutende USA-Geologe POWELL (National Geographic Volume 185, No. 4)

war 1834 als Sohn eines 1830 aus England mit seiner Frau eingewanderten Methodistenpredigers in Mount Morris im westlichen Teil des Staates New York geboren worden. Die Familie des Methodistenpredigers zog dann westwärts. Der junge POWELL interessierte sich schon als Heranwachsender für Botanik. Er nahm im Sezessionskrieg auf der Seite der Nordstaaten bei der Artillerie teil. Dabei büßte er bald den rechten Arm bis zum Ellbogen ein und litt oft Schmerzen. POWELL heiratete seine Abenteuern aufgeschlossene Cousine EMMA DEAN 1861 und zog mit ihr in den Westen. 1865 Professor für Geologie am Illinois Wesleyan College in Bloomington und dann Lektor und Kurator am Museum der Illinois Normal University, leitete der als geeigneter Führer geschilderte Mann trotz seines fehlenden rechten Unterarmes Forschungsreisen nach dem Westen. Er durchfuhr mit Gefährten erstmals den tiefeinschnittenen Colorado-River. Er forschte dann auch über Indianer-Völker und hatte mit ihren Vertretern enge Freundschaft.

Der Terminus 'Geomorphologie' kam zur allgemeineren Verwendung aber erst in den 30-er Jahren des 20. Jh. (R. K. DEFORD 1972), lange nachdem geomorphologische Probleme schon behandelt worden waren. K. F. NEUMANN sprach 1858 von einer "Morphologie der Erdoberfläche" (H. SPREITZER 1951). OSKAR PESCHEL behandelte 1869 in seinem Buch "Neue Probleme der Vergleichenden Erdkunde" geomorphologische Fragen in loser Form und mit manchen bald wieder verworfenen Ansichten. Auf etlichen Gebieten erfolgreicher Publizist wurde PESCHEL 1871 erster Geographie-Ordinarius in Leipzig.

Die Beachtung und Beschreibung der Landschaftsformen wurde erstmals in komprimierter Form gefordert von RICHTHOFEN in dessen "Führer für Forschungsgreisende" von 1886. Er forderte auf, unter anderem zu beobachten Veränderungen an Felsen und am Erdboden, die Wirkung von fließendem Wasser, die Seenbildungen, die Täler und anderes.

Als einer der ersten führenden geologisch ausgebildeten Geographen erscheint FERDINAND Freiherr VON RICHTHOFEN (E. VON DRYGALSKY 1906, F. WAHNSCHAFTE 1905). RICHTHOFEN, der schon im Zusammenhang mit Riff-Forschung in Südtirol behandelt wurde, war am 5. Mai 1833 in Karlsruhe (heute: Pokój) in Schlesien geboren worden, wo seine Mutter, eine frühere Hofdame der Herzogin LUISE von Württemberg, zu Besuch bei ihren Eltern war. Im Jahre 1844 siedelten seine Eltern vom väterlichen Gute Hertigswaldau nach Breslau über. Hier besuchte VON RICHTHOFEN das katholische Gymnasium. Er studierte 1850 bis 1852 in Breslau und dann bis 1856 in Berlin, wobei er sich zuerst namentlich der Mineralogie widmete. Unter seinen Lehrern befanden sich die damals führenden Geologen und Mineralogen VON BUCH, BEYRICH, ROSE, WEISS. Nach der Promotion ging er noch 1856 an die k. k. Geologische Reichsanstalt in Wien und begann von hier aus geologische Untersuchungen in einigen Regionen der Alpen. Der Geograph

A. HETTNER (1906, S. 1) spricht davon, daß sich VON RICHTHOFEN schon hier durch ungewöhnliche Beobachtungsgabe und erstaunliche Kühnheit und Sicherheit wissenschaftlichen Schließens auszeichnete. VON RICHTHOFEN schloß sich 1860 einer preußischen Gesandtschaft an, die unter Führung von FRIEDRICH Graf ZU EULENBURG in China, Japan und Siam. letzteres das heutige Thailand, Handelsverträge abschließen sollte. VON RICHTHOFEN kehrte nicht mit der Gesandtschaft zurück, sondern unternahm unterbrochen durch längere Aufenthalte an der Küste 7 Reisen durch China, von dessen 18 Provinzen er 13 besuchte. Er wurde damit zu einem der besten Chinakenner des 19. Jahrhunderts. China zeigte damals noch manche Spuren der Zerstörung nach dem Bürgerkrieg im Taipingaufstand 1850 / 1851. VON RICHTHOFEN lernte auch große Teile der südostasiatischen Inselwelt kennen, also das damalige "Hinterindien", dort Celebes und Java, reiste auf den Philippinen, war in Japan, zudem auf Ceylon, sowie an der Westküste von Nordamerikas und in den dortigen Kordilleren. Nach 12-jähriger Abwesenheit kehrte er 1872 nach Deutschland zurück. Er wurde 1875 Professor der Geographie in Bonn, nahm sein Lehren allerdings erst 1879 auf. Im Jahre 1883 folgte er einem Ruf auf das Ordinariat für Geographie an der Universität Leipzig. Drei Jahre später, 1886, ging er ebenfalls als Professor der Geographie nach Berlin. Sein großes Chinawerk verbreitete eingehendere Kenntnisse über dieses riesige Land. VON RICHTHOFEN gehörte auch noch zu Gelehrten mit einem vielseitigen Intellekt und auch weiten geistigen Interessen, so wie er auch China vielseitig sah. Der Polarforscher und Geograph ERICH VON DRYGALSKI sagte 1906 (S. 1) in seiner Gedächtnisrede auf VON RICHTHOFEN: "... Erholung war bei ihm nicht Rasten, sondern Tätigkeit auf einem neuen Gebiet, ein Versenken in die Werke der Kunst oder in das Walten der Natur, wobei sein Geist nur von eigenen Schöpfungen ruhte." RICHTHOFEN war am 5. Oktober 1905 in Berlin gestorben. War RICHTHOFEN nun Geograph oder Geologe? Wohl unbedingt beides, das in synthetischer Verknüpfung. Er betonte einmal, daß ohne geologische Unterlage die Erdkunde "eine Schale ohne Kern" ist (S. HEDIN 1938, S. 34). Er suchte etwa dem jungen Geographen HEDIN Geologie nahezubringen, der allerdings noch in jungen Jahren die geographische Erschließung Innerasiens voranbringen wollte und deshalb ein viele Jahre dauerndes geologisches Spezialstudium vermied. Und mit dieser Verknüpfung konnte RICHTHOFEN auch einer der Begründer der Geomorphologie werden, der Wissenschaft von den Formen auf der Erdoberfläche.

VON RICHTHOFEN hatte 1886 die Angabe von **Formen** noch **mit** Überlegungen zu **ihrer Entstehung** verknüpft. So unterschied er bei den Seebecken etwa Abdämmungsbecken und in ihnen Bergsturz- Seen, Schuttkegel - , Eisdamm- , Lavastrom- , Endmoränen- , Hochflut-Seen. Unter den "Abgliederungsbecken" trennte VON RICHTHOFEN Einschwemm-Seen, also etwa durch Flußablagerungen entstandene Becken im Flußlauf, dann Küstenlagunen, Atollseen, Fjordseen. Als "Einbruchsbecken"

wurden vulkanische Einsturzseen, Auslaugungsseen mit vor allem Salzauslaugungsseen

genannt. An "Flachböden" glaubte er trennen zu können Abrasionsplatten, marines Flachland nach Meeresrückzug, Schichtungstafelland, Tafelland mit horizontalem Schichtenbau.

Ein Gesamtbild der Erdoberfläche und ihres Werdens: EDUARD SUESS

Eine die Geologie und die noch nicht so benannte Geomorphologie für etliche Zeit bestimmende Zusammenschau gab das Werk "**Das Antlitz der Erde**", 1. Band 1883, von EDUARD SUESS.

Der in Wien 1831 geborene SUESS war zuerst Ingenieur, hatte dazu studiert in Prag und Wien. 1850 erfuhr er eine Studienunterbrechung, weil in einem konfiszierten Brief etwas über "Erhebung" stand, was auf Aufstand in Mittelitalien bezogen wurde (B. HAMANN 1983). Jedoch SUESS meinte die "Erhebung" von Gebirgen. 1852, rehabilitiert, wurde SUESS, der Autodidakt in Geologie, in der Mineralogischen Abteilung der kaiserlichen Hofmuseen. Seine Verachtung des Polizeistaates blieb. Im Jahre 1857 erhielt SUESS eine unbesoldete außerordentliche Professur für Paläontologie in Wien, 1862 für dieses Fach eine ordentliche Professur, die mit der geologischen Professur an der Universität Wien verbunden wurde. SUESS war auch Mitglied im Reichsrat in Wien. Er trat für ein religionsunabhängige Schule ein, mit 8-jähriger Schulpflicht. Feindschaft blieb nicht aus. SUESS sprach für die Gleichberechtigung aller Menschen, lobte den aus den öffentlichen Schulen so gut wie verbannten Reformkaiser JOSEPH II. Auf SUESS geht die Wiener Hochquellenleitung von 1873 zurück, die trotz der hohen Kosten für die Herleitung des Trinkwasser aus einer etwa 100 km entfernten Bergregion notwendig war, denn bisher durchlief das Trinkwasser für Wien sogar einige Friedhöfe (E. SUESS 1862, S. 323). Die Zahl der Typhustoten fiel nach 1873 auf 1/10. Die von SUESS eingeleitete Donauregulierung für den Hochwasserschutz beendete 1876 die öftere Überflutung von Straßen in Wien zurück. Der von der Mutter her halbjüdische SUESS war Altliberaler, humanistisch gesinnt, Nachfolger - konnte G. HAMANN (1983) sagen - der Aufklärung des 18. Jahrhunderts, Freund des gegenüber seinem Vater FRANZ JOSEPH aufgeklärteren, aber auch leichtsinnigen Erzherzogs RUDOLF. Der Geologe und Politiker SUESS sprach für unbedingte Ehrlichkeit und Vorbildwirkung der Politiker. Aber den Ton gaben in Österreich bald die antisemitisch agierende Politiker an, die Ritter VON SCHOENERER und der durchaus um Wien verdiente Oberbürgermeister LUEGER. Und LUEGER und andere antisemitisch gesinnte

Leute erlebten Wahlsiege. SUESS starb am 26. April 1914 - und ihm blieb wie der großartigen Pazifistin BERTA VON SUTTNER erspart, den Ersten Weltkrieg zu erleben.

SUESS hatte gewiß eigene Kenntnisse von manchen Regionen. Daß die **Gesamtschau** in etlichen Teilen auch bald korrigiert wurde, auch von seinem Sohn FRANZ EDUARD SUESS (etwa 1933), macht eine solche Zusammenfassung, an der sich die Geister reiben können, nicht überflüssig. Mit SUESS "Antlitz der Erde" wie mit der Geomorphologie und in manchem weiteren kann ein **neuer Aufschwung der theoretischen Geologie** gesehen werden, nach den vielen Einzelforschungen im Anschluß an die klassische Zeit, der von LYELL und DE BEAUMONT.

Zusammenhänge zu erfassen wurde dann ein schönes Anliegen genialer Geologen, so von HANS STILLE. Solches Zusammenhangssehen macht einen besonderen Reiz der Geologie aus. Trotz aller notwendigen Korrekturen.

Geomorphologie in der ersten Hälfte des 20. Jahrhundert

Das erste umfassende Handbuch der Geomorphologie aber veröffentlichte 1894 nach mehr als zehnjähriger Arbeit ALBRECHT PENCK unter dem Titel "Morphologie der Erdoberfläche".

Führende Geomorphologen wie der Geograph A. HETTNER (1928) forderten zu Recht eine Trennung zwischen der 'objektiven' Beschreibung der Formen und der Erklärung ihres Zustandekommens. In den letzten Jahrzehnten des 20. Jh. wurde für die Wissenschaft jedoch allgemein bezweifelt, ob sich das Ideal einer hypothesen - oder theoriefreien Beschreibung der Welt überhaupt durchführen läßt. Wenigstens unbewußt, und dann also um so schlimmer, sollten sich hypothetische Elemente in jede Beschreibung einschleichen. Dabei hat HETTNER (1928) sicherlich auch Recht mit seiner Ansicht, daß am Zustandekommen der meisten Formen verschiedene Vorgänge beteiligten. Formen konnten also kaum nur unter der Darstellung einzelner Vorgänge beschrieben werden.

Gedanken über die **Systematik der Formen** auf der Erdoberfläche und damit die Möglichkeit ihrer Erfassung lieferte etwa ALFRED PHILIPPSON 1919. Als Jude wurde der Bonner Geographieprofessor PHILIPPSON 1933 aus seiner Professur entlassen und im Kriege mit Frau und Tochter ins Konzentrationslager Theresienstadt gebracht. Nur weil der nazi-freundliche SVEN HEDIN auf dem Schutz von PHILIPPSON bestand, wurden die PHILIPPSONs nicht in ein Vernichtungslager überführt, er, der einst der gefeierte Geograph der Mittelmeer-Region war und auch zur Geomorphologie beitrug. "Berg", "Tal", "See" sind in der Normalsprache vorhandene und als auch geomorphologisch zu bezeichnende Grundbegriffe,

Aber 'Berg' ist nicht 'Berg' und 'See' nicht 'See' und Begriffe wie "Strandterrasse" oder "Fastebene" sind keine vom Normalbürger gebrauchten Begriffe. Es gibt für die vom Geomorphologen erforschten Formen keine Spezies wie bei Lebewesen und Mineralien. Jede Einzelform zeigt individuelle Züge. Es können nur 'Typen' aufgestellt werden. Und: "Die Systematik der Oberflächenformen muß auf ihre Entstehung begründet werden" (S. 13), muß also von vornherein mit einbezogen werden. Endmoränen sind eben Hügel besonderer Entstehung und nicht schlechthin Hügel.

Ein führender Geomorphologe in der ersten Hälfte des 20. Jh. wurde der als 'eigenartiger Mensch', aber großer Wissenschaftler geschilderte FRITZ MACHATSCHEK (G. FOCHLER-HAUKE 1957), der Verfasser des 2-bändigen großartigen Werkes "Das Relief der Erde", zuerst 1938 resp. 1940. Der 1876 als Sohn eines Eisenbahningenieurs bei Kresmier in Mähren geborene MACHATSCHEK studierte in Wien, geprägt von PENCKs, und dieser ließ ihn über Alpengletscher, die der Sonnblickgruppe, promovieren. Hochgebirge interessierten MACHATSCHEK weiter, er, der in den höheren Schuldienst treten mußte und sich daneben über die Geomorphologie des Schweizer Jura habilitierte. Im höheren Schuldienst kam MACHATSCHEK schließlich wieder in Wien, wurde auch Privatdozent an der Universität. 1915 erhielt MACHATSCHEK den Lehrstuhl für Geographie an der Deutschen Universität in Prag. Vorher war er gereist in Skandinavien, in den USA und im russischen, also dem westlichen Turkestan, mit Durchquerung der Wüsten Kara-Kum und Kysyl-Kum. Das nur kurz war der vom Ersten Weltkrieg und von dem Krieg überrascht wurde er in Rußland interniert und durfte erst dann nach Hause. Seine weiteren Stationen als Professor waren Zürich, Wien, 1935 München und - ab 72-jährig - 1948 - 1951 Tucumán in Argentinien. Im Unterschied zu PHILIPPSON war der dem Nazireich eher verbunden gewesen. Bis 4000 m stieg der alte Mann in Argentinien in den Anden empor. In allgemeinen umfassenden Ideen war er vorsichtig.

Frankreichs führender Geomorphologe war ANDRÉ CAILLEUX, Professor in Paris.

Allgemeines zu den Faktoren ('Kräften') der Landschaftsbildung

Vorgänge, die zu den heutigen Landschaftsformen führten, sind oft schwieriger zu erfassen, als auf den ersten Blick erscheint. Über die Entstehung fast aller Landschaftsformen und über die Wirkung fast aller sie gestaltenden Agenzien wurde oft kontrovers debattiert, standen die unterschiedlichsten Meinungen einander ge-

genüber. Durch RAMSAY, RICHTHOFEN, PENCK und die Geomorphologen wurde seit dem letzten Viertel des 19. Jh. die Klärung der landschaftsgestaltenden Kräfte vorangetrieben. A. PENCK meinte 1883 (S. 78): "Die Erdoberfläche ist in ihrer heutigen Gestalt das Produkt der Geschichte, sie ist das Werk aufbauender und zerstörender Kräfte, das Erzeugnis von Eigenbewegung des Bodens und der Erosion. Diese Erkenntnis, so einfach sie scheint, ist erst in jüngster Zeit als Schlußergebnis nach vielen Irrungen gewonnen, denn keineswegs überall sind die Beziehungen der Erdoberfläche zu dem sie formenden Kräftepaare deutlich zu erkennen, vielmehr bekundet sie bald mehr Abhängigkeit von der Erosion, bald mehr von der Bodenbewegung, bald endlich wird sie zum unmittelbaren Ausdruck der Bodenbeschaffenheit, und so kann es nicht Wunder nehmen, daß im Verlaufe des Wechsels der geologischen Theorien bald diese, bald jene Anschauung zur Geltung kam".

Die Landschaften werden sowohl durch **endogene** (innere, im Sinne von "erdinner") **wie durch exogene** (im Sinne von "erdäußere") **Faktoren** geformt.

In der Terminologie 19. Jh. hieß es noch "**Kräfte**" statt 'Faktoren'. Die Begriffe "endogen" und "exogen" sind wenigstens für die Geologie auf ALEXANDER VON HUMBOLDT zurückzuführen (H. BECK 1961, S. 69). Wirkten nur die **exogenen** Kräfte würde die Erdoberfläche **eingeebnet**. Die **endogenen** Kräfte sorgten für **immer neues Relief**.

Die endogenen Kräfte erschienen nur wenig an deutliche Regeln gebunden und wirkten offensichtlich von den Vorgängen auf der Erdoberfläche weitgehend unabhängig. Erdbeben und Vulkane gibt es in den verschiedensten Klimazonen. Immerhin kann eine massive Inlandvereisung, also ein Phänomen der Erdoberfläche, auf eine feste Landmasse als ihren Untergrund Druck ausüben, wie der Aufstieg von Skandinavien nach dem Rückzug der Eiskalotte nahelegt. Auch haben große Sedimentmassen in Meerestiefen, in Geosynklinalen, Druck ausgeübt und mit zu den dortigen orogenetischen Prozessen offenbar wenigstens beigetragen. Mit der Plattentektonik ist tiefere Kenntnis über die Verbreitung der Erdbeben und Vulkane auf der Erdoberfläche eingezogen.

Für die "erodierenden" Wirkungen, die außenbürtigen, **exogenen "Kräfte"**, sind die **Beziehungen zum Klima** deutlich (a. PENCK 1883). Weil auf der Erde Klimazonen bestehen, gibt es auch für die exogenen Kräfte, ihre Verbreitung auf der Erdoberfläche, eine ziemliche Regelmäßigkeit. Bestimmte Verwitterungsvorgänge und die von ihnen hervorgerufenen Erscheinungen sind gebunden etwa an Sonne oder Schatten, an Frost oder immerwährende Wärme, an Grundwasser, Quellen oder Nebel, an Organismen - und damit an das Vorkommen und die Stärke dieser Faktoren. Die die Landschaft gestaltenden Faktoren galt es zu trennen und zu glied-

dern. Bei RICHTHOFEN wurden als gestaltende Faktoren nicht nur solche Agenzien wie fließendes und gefrorenes Wasser, sondern, wie J. WALTHER (1891, S. 348) hervorhob, auch solche feineren Faktoren wie "Tropenregen" und "Wüstenwind" als eigene Faktoren genannt. J. WALTHER sah als besonderes Problem in Mitteleuropa, daß infolge des im gemäßigten Klimagebiet ausgeprägten Jahrzeitenwechsels mit Hochsommer und Winterkälte recht unterschiedliche 'Kräfte' am Werke sind und es daher gerade hier schwer ist, den Anteil der einzelnen Faktoren an der Landschaftsgestaltung herauszuarbeiten. Die Wirkung der einzelnen Kräfte wäre am besten zu erforschen, wo sie im Extrem wirken, also in extremen Klimagebieten, etwa in den Polargebieten, den Hochgebirgen, auch in Wüsten. In den Wüsten wären etwa die Folgen des oft extremen Temperaturwechsels zwischen Tag und Nacht und die Windwirkungen eindeutig zu erkennen, und WALTHER bemerkte (1891, S. 348): "Die Kenntnis dieser typischen, wenn auch extremen Denudationsprozesse lehrt uns dann leicht die minder bedeutenden Erscheinungen solcher Art in Europa verstehen." Ähnlich schrieb der Geograph BÜDEL, für den die Polargebiete das Land sind, "wo die Eiszeit noch lebt" und die Tropen das, wo die "alte Tropenerde des Tertiärs" noch erfahrbar ist (G. STÄBLEIN 1984). Die Polarregion erscheinen als die exzessive Talbildungszone, in den feuchten Tropen herrscht die stärkste Neigung zur Flächenbildung (J. BÜDEL 1961, S. 315). In hohem Maße war und ist die **Vegetation** am Schutz der Erdoberfläche beteiligt. Wüsten etwa des Paläozoikum einschließlich des Perm und wohl auch Wüsten späterer Zeiten waren eher **biologische als klimatische Wüsten** C. E. P. BROOKS 1926, (S. 24), also Wüsten trotz keiner zu starken Trockenheit.

Über die Abhängigkeit der Morphologie der Landschaften von Klima gab es einleitende eine Vortragsveranstaltung in Düsseldorf, die Beiträge herausgegeben von FRANZ THORBECKE, damals Professor der Geographie an der Universität Köln, 1927.

Ohne endogene "Kräfte", also ohne Gebirgsbildung und auch Vulkane und Erdbeben fänden die exogenen "Kräfte" keine Gebilde, an denen sie angreifen könnten. Wie STILLES Formel lautete: **Der endogene Antrieb ist Voraussetzung der exogenen Dynamik** (O. WAGENBRETH 1977). "Der exogenen Dynamik ist die endogene Dynamik als stets aufs neue auslösender Faktor übergeordnet" (S. 1218). Hebung, also endogene "Kraft", schafft Krustenteile über die Erdkruste, aber sofort setzen dem gehobenen Krustenteil exogene Faktoren zu, und die Abtragungsvorgänge bewirken, daß auf dem Festland "keine Hebungsscholle als epigene Rohform in Erscheinung tritt, sondern immer nur als Abtragungsrest einer solchen" (J. BÜDEL 1961, S. 314). Und weiterhin: "Diese wirklich entstehende Form des Hebungsgebietes ist weitgehend von der Widerständigkeit der Gesteine gegen die Abtragungsvorgänge abhängig, ..."



Abbildung 282: Endogen gehoben, exogen Erosion. Bucegi/Rumänien.



Abbildung 283: In Wind und Wetter, Dolomiten/Langkofel.

Geographische Forschungsreisen und Erkenntnisse über die erdkrustenbildenden Faktoren

Um zu beurteilen, welche Faktoren eine Landschaft gestalten und vielleicht auch früher gestaltet haben, war die nähere Untersuchung in möglichst zahlreiche und verschiedenartigen Territorien der Erde nötig. Mit der Erforschung der Erde wurde also die allgemeine Geologie auf mehr sichere Grundlagen gestellt. Als ein Beispiel hier der Bericht über im Jahre 1862 durchgeführte Beobachtungen von Sir JULIUS HAAST (1863, S. 216), dem ersten Erforscher der Hochgebirge auf der Südinsel Neuseelands, den "Neuseeländischen Alpen" : "Höchst auffallend ist die rasche Zerstörung, die man an den Gesteinen der Centralkette beobachtet. Haast sah Berge, die sich 5 - bis 6000 Fuss über die Thäler erheben, vollständig mit Schutt überdeckt, die ganzen Abhänge vom Gipfel bis zum Fuss bestanden aus Gesteinstrümmern. Die Ursachen sind jedenfalls die häufigen Gewitter mit Blitzen, welche die Felsen zerspalten, die heftigen Regenfälle, welche die losen Steine hinabwaschen, und die bedeutende Differenz zwischen der Temperatur am Tag und des Nachts. Nach den Beobachtungen, welche Haast in dieser Gegend in einer Höhe von mehr als 3000 Fuss über dem Meere anstellte, sinkt die Temperatur des Nachts wenigstens 6 Monate im Jahre meist unter den Gefrierpunkt, während am Tage die Sonne so mächtig wirkt, dass die Temperatur im Schatten selbst mitten im Winter, wo der Himmel meist wolkenlos ist, hoch über den Gefrierpunkt steigt. Dazu kommt der beständige Wechsel zwischen den warmen Nordwest - und den kalten Südost-Winden, welche die Kondensation der Wolken auf dem Gebirge und die Eisbildung in den Spalten der Gesteine befördern. Alle diese Ursachen würden jedoch keine so grosse Wirkung haben, wenn nicht der lithologische Charakter der Gesteine selbst und ihre fast vertikale Stellung dem Zersetzungsprozess den grössten Vorschub leisteten."

Im Folgenden sollen zunächst die erdkrustenformenden Faktoren vorgestellt werden und dann Zusammenfassendes zu den aus ihrer Kombination entstandenen Landschaften.

Endogene Faktoren der Landschaftsgestaltung und vor allem auf sie zurückgehende begrenztere Phänomene - Erörterungen bis etwa 1960, bis zur Plattentektonik

Was sich in der Tiefe abspielt: Endogene "Kräfte"

Die Wirkung endogener Kräfte bestimmte manches in der Vorstellungen der 'klassischen Periode' der Geologie und hier soll über die Vorstellungen bis etwa 1960 berichtet werden, also vor der extra zu behandelnden Plattentektonik.

Die endogenen Faktoren, die endogenen 'Kräfte' der Landschaftsformung waren eher in ihrem Wirken als in ihrem Wesen zu erfassen, hatten sie doch ihren Sitz in jenen Tiefen, in die der Forscher nicht messend hineinkam und über welche nur aus Analogien von Experimenten oder aus allgemeinen Überlegungen spekuliert werden konnte.

Es scheint, daß die endogenen Kräfte in den verschiedenen Perioden der Erdgeschichte unterschiedlich stark am Werke waren. Große Gebirgsbildungen sind an bestimmte Zeiten gebunden, fanden phasenhaft statt. Es wurde angenommen, daß während des Mesozoikum die Oberfläche der Kontinente viel weniger stark gegliedert war, als es nach den tertiären Gebirgsbildungen heute noch der Fall ist, daß dies zu einem erdweit gleichmäßigerem Klima geführt hat und auch die damaligen Ozeane geringere Tiefenunterschiede als gegenwärtig aufwiesen (TH. ARLDT 1912). Es fehlte offensichtlich auch jede größere Eiskappe. Damit könnten manche Besonderheiten des Mesozoikum erklärt sein.

Äußerungen der endogenen Kräfte - Tektonik, Gebirgsbildung, Auffassungen im letzten Viertel des 19. Jahrhundert bis in das 20. Jahrhundert

Was vor STILLE bekannt wurde: Feststellung der zahlreichen Dislokationen, also der Verwerfungen und Spalten

Endogene 'Kräfte' beziehen die Energie für ihre Vorgänge aus dem Erdinneren, auch etwa aus der Abkühlung mit Kontraktion.

Es war schon früher etwa an der Grenze des Lausitzer Granit zum Sandstein der

Sächsischen Schweiz oder im Oberrheintal die Verschiebung von Erdkrustenteilen gegeneinander, längs Dislokationen, in vertikaler oder horizontaler Richtung, erkannt worden (s. dort).

Vorläufer in der **Erfassung von Dislokationen überhaupt** wurde als einer der ersten Geologen überhaupt CARL LUDWIG DEFFNER (F. BURKHARDT 1980, W. CARLE´ 1955, O. FRAAS 1878). Er wirkte in **Württemberg**. Anfänge der Erkenntnis über Dislokationen hier stammen von Graf FRIEDRICH VON MANDELSLOH. Aber DEFFNER baute das weit aus, erfaßte das Verstellen von Teilen des Untergrundes gegeneinander längs Störungslinien. Der am 8. Juli 1817 geborene DEFFNER hatte von seinem Vater eine meistens gut gehende Blechwarenfabrik in Esslingen übernommen. In Berlin hatte er auch Geologie gehört. Als er für des Vaters und seine Fabrik möglichst guten Formsand gewinnen wollte ging er selbst in Württemberg auf dessen Suche im Gelände. Dabei gewann er immer mehr Interesse an der geologischen Erforschung des Landes. Er zeichnete, fertigte Profile an, gemäß seiner Devise "jede gute geologische Theorie muß man auch zeichnen können". Er zeichnete das geologische Atlasblatt Kirchheim, konnte so das Versetzen von Schichtpaketen gegeneinander erkennen. Das war etwas, das dem als Stratigraph so verdienstvollem berühmten württembergischen Geologen QUENSTEDT (so 1858, S. 293) fern lag, und der bei Metzingen sich "treppenförmig mehrmals übereinander" wiederholende Posidonienschiefer als einfache Rutschungen abgetan hatte, ohne Verschiebung durch erdinnere Kräfte anzunehmen. Auch ein Forscher, der **auf einem Gebiet Fachmann ist, sieht oft nur einen Teil der Gegebenheiten**.

1854 trat DEFFNER mit seinen tektonischen Auffassungen in einem Vortrag an die Öffentlichkeit. Die systematische Erfassung der Störungslinien und auch die an den Grenzen der verstellten Schollen kam erst später.

Die **große Zahl an Dislokationen**, in der Hebung und Senkung von Teilen der Erdkruste in "Schollen" gegeneinander oder einfach in der Bildung von Spalten wurde erst mit der Zeit, vor allem seit 1873, auf einer Versammlung der Deutschen Geologischen Gesellschaft deutlich. Auf den geologischen Meßtischblättern Fulda und Groß-Lüder waren die niederhessischen Grabenzonen bewußt geworden und hat dann VON KOENEN für Teile Nordwestdeutschlands gezeigt, "daß Verwerfungen zu den normalen, ganz gewöhnlichen Bauelementen Saxoniens gehören" (F. LOTZE 1948, S. 327). An beiden Seiten einer Dislokation konnten unterschiedliche Geländehöhen noch vorhanden sein. Aber bei älteren Dislokationen wurden diese wieder ausgeglichen, sogar völlig, und legte sich eine Landoberfläche darüber, sind also im Gelände daher oft nicht ohne weiteres zu erkennen, liegen unter Vegetation, vielfach unter Wald. Nur die Feststellung und Kartierung der Gesteine unter den Lockermassen ließ die Störung erkennen. Beim Wiederaufleben einer



Abbildung 284: Verweis auf die Marktplatzverwerfung Halle.

Störung konnte auch die Abtragung bei Hebung oder Senkung einer Seite Schritt gehalten haben. Sprunghöhen bei Erdbeben betragen ja selten auch nur wenige Meter und es kam zu großen Sprunghöhen beiderseits einer Dislokation erst durch Summierung im Laufe von Jahrmillionen, Schritt für Schritt, und immer wieder verebnet.

Niemand der über den Marktplatz von Halle geht, sieht an der Oberfläche, daß ohne jeden heute erkennbaren Sprung eine Verwerfung mit einer Sprunghöhe von 1000 m, also eine Verstellung der Erdschichten in diesem Ausmaß, darunter liegt (B. VON FREYBERG). In einem Glasfenster, durch das man mehr in Dunkelheit als in Erdschichten blickt, ist diese "Halle'sche Marktplatzverwerfung" dem Besucher nahegebracht. Diese "Hallesche Markplatzverwefung" zieht natürlich weithin über den Marktplatz hinaus, wurde aber eben auf dem Marktplatz besonders deutlich erkannt.

Auf die Hallesche Markplatzverwerfung lagerte sich schon das Eozän, also frühes Tertiär, flach auf, und ist der Marktplatz Halle also völlig eben.

Die älteren Dislokationen wurden dann auch zugedeckt durch die "präoligocäne Rumpffläche", die als Folge der Einebnung des Gebietes sich auch über alle einstigen Diskokationen bildete, jene Rumpffläche, die einer Notiz von E. WÜST 1909 folgend, PHILIPPI so bezeichnete (B. VON FREYBERG). Dislokationen, aber auch großräumige faltenartige "Flexuren", bestimmen öfters die Grenzen der

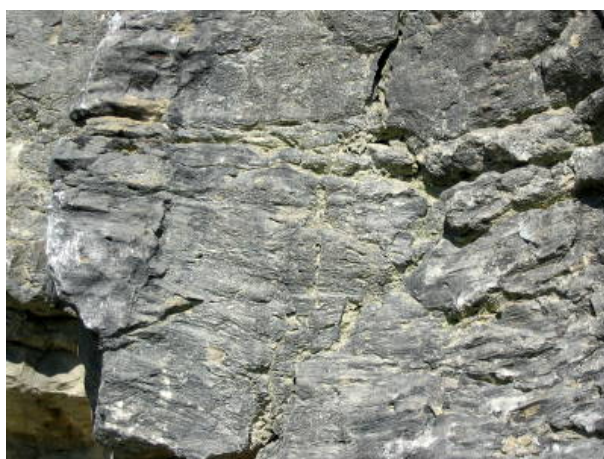


Abbildung 285: Harnisch am Muschelkalk unter Gasthaus Jenzig, Jena.

Mittelgebirge. Innerhalb einer großen Scholle können von Dislokationen begrenzt kleinere Schollen bestehen. Ist keine oder kaum eine vertikale oder horizontale Verschiebung längs einem Bruch, einer Dislokation, eingetreten, gibt es **Spalten**.

Wo sich Gesteinsschichten gegeneinander verschieben gibt es Reibungsnarben, 'Harnische'. Einen solchen Harnisch gibt es im Unteren Muschelkalk unterhalb der Gaststätte am Jenzig in Jena, wobei die eine Seite der Verwerfung nicht mehr besteht.

Ab der **80er Jahre des 19. Jh.** hat vor allem ADOLF VON KOENEN (1887, 1885, 1907, E. DATHE 1887) Störungslinien in **Nordwestdeutschland** verfolgt und aufgezeichnet. VON KOENEN (J. F. POMPECKJ 1915) wurde als "Sproß eines preußischen Beamtengeschlechts" am 21. März 1837 in Potsdam geboren, studierte namentlich bei BEYRICH und setzte dessen Tertiär-Erforschung fort. Er fühlte sich zuerst eher als unabhängiger Forscher wohl, aber auch im Interesse seiner Eheschließung promovierte er 1865 in Berlin, habilitierte sich 1867 in Marburg und wurde hier 1873 außerordentlicher Professor, 1878 ordentlicher Professor. Im Jahre 1881 übernahm er nach dem Tode von KARL VON SEEBACH den Geologielehrstuhl in Göttingen, nahe einer Region, wo Dislokationen, Brüche, viel den Untergrund bestimmen. BEYRICH war in der Anerkennung von Dislokationen, ihrer Aufzeichnung im geologischen Kartenbild sehr zurückhaltend, verlangte ihren Beleg wenigstens durch irgendeinen Aufschluß. Die Geländekenntnis des Mitarbeiters der geologischen Landesaufnahme Kurhessens und Privatdozenten in Marburg FRIEDRICH ANDREAS MOESTA in Hessen, die Geländebegehungen von VON KOENEN in Hessen und Südhannover und dann von FRANZ BEYSCHLAG ließen die durch viele Dislokationen geprägten Lagerungsverhältnisse der 'niederhes-

sischen Grabengebiete' erkennen (H. STILLE 1936, S. 573).

In Nordwestdeutschland hat später namentlich HANS STILLE die Untersuchung der Tektonik mit Schülern fortgesetzt. Was hier entstand, auch an Mittelgebirgsschollen, wurde als '**Saxonische Tektonik**' bezeichnet, von Hebungen und Senkungen und nicht von großen Faltungen bestimmt. Der Ausdruck "saxonisch" stammt von der Erfassung der Dislokationen gerade in "sächsischen" Gebieten, so in Niedersachsen. STILLE suchte nicht nur die Dislokationen schlechthin zu erfassen, sondern, vor allem auch begründete Vorstellungen über ihr **Alter** zu gewinnen. Entgegen von Auffassungen über das allein jungtertiäre Alter der nordwestdeutschen Dislokationen und damit der Herausbildung von "Hoch-" und "Niedergebieten" legte er etwa 1913 dar, daß sich schon im späten Jura, also 'jungjurassisch (präcretacisch), die Dislokationen anlegten und eine stärkere Heraushebung von Krustenteilen stattfand. Diese Dislokationen wurden **mehrfach wieder aktiv**, und die jüngeren Verwerfungen erreichten nicht das Ausmaß derer im Mesozoikum, das damit nicht mehr als tektonisch allein ruhige Periode angesehen werden konnte. Als die Alpen ihre Hauptaufaltung erfuhren, war "das heutige tektonische Bild des mittel- und westdeutschen Untergrundes gegeben" (S. 276). Ähnliche Zeiten für Heraushebungen hatte BERTRAND weiter westlich gefunden. Wie STILLE zeigte, folgte in Mitteleuropa auf tektonische Phasen negative Strandverschiebung, also Meeres-Regression, dem dann wieder Transgression über das erneut abgeflachte Gebiet folgte. Eine tektonische Phase gab es im Alttertiär. Die Meeres-Transgression im Oligocän war dann die letzte Mitteleuropa weithin überflutende, wenn man die Eisbedeckung nicht als Transgression ansieht.

Die **Erfassung und Kartierung der wichtigen Dislokationen** und der **durch sie umgrenzten "Schollen"** blieb eine wichtige Angelegenheit geologischer Forschung und mancher hat mit der Feststellung einer bisher nicht erfaßten Störungslinie oder einer von Dislokationen umgebenen Scholle sich in die Namen der erwähnenswerten Geologen eingefügt. Die Klüfte und Harnische unter besonderer Berücksichtigung des **Rheintalgrabens** wurden ab 1911 durch WILHELM SALOMON (K. ANDRÉE 1948) gemessen und kartiert. Geprägt von Störungslinien und flachen Wellen ist auch das Innere von Thüringen, das **Thüringer Becken**. Im Muschelkalk-Gebiet ist in **Aufwölbungen** der unter dem Muschelkalk liegende Buntsandstein an etlichen Stellen nach oben gekommen und liegt nun an der Oberfläche, so im "Tannrodaer Gewölbe" südlich von Weimar. Als eine weit das nördliche Thüringer Land durchziehende Dislokation wurde ermittelt die **Finne-Störung**, nördlich welcher nach der Namensprägung von RUDOLF HERRMANN (1927) die so nach Süden begrenzte "**Hermundurische Scholle**" liegt. An einem Bahneinschnitt bei Bad Sulza ist diese Störung sehr eindrucksvoll quer angeschnitten. Mit einer solchen Entdeckung einer bisher übersehenen tektonischen Struktur konnte man sich



Abbildung 286: Bad Sulza, Finne Störung.

1927 durchaus noch einen Namen unter den deutschen Geologen erwerben.

JOHANNES WEIGELT erkannte und benannte die "**Mitteldeutsche Hauptscholle**", mit dem Bruch im Norden nördlich des Flechtinger Höhenzuges, ab wo geologisch das abgesenkte, geographisch schon weiter südlich physiognomisch als solches deutliche norddeutsche Tiefland beginnt.

An Dislokationen beziehungsweise Spalten verschiedener Art sollte jedenfalls vorwiegend Lava aufgestiegen sein und sich die Vulkane gebildet haben. Nach v. KOENEN (1885) sollte Basalt dabei eher aus Muldenspalten als aus Sattelspalten emporgedrungen sein. Das Alter von solchen Dislokationen läßt sich aus den mitbetroffenen Schichten ablesen, auch aus einst darüberliegenden und dann in die Spalten hineingefallenen Gesteinen. Dislokationen sollten auch rings um einen Krustenteil führen können und bewirken, daß alles Gelände ringsum sich absenkte. Nach SUESS sollten durch Einstürze nach allen Seiten sogar einzelne Inseln isoliert worden sein. A. v. KOENEN führte den bis 540 Meter hohen Stallberg östlich von Hünfeld in der Rhön auf einen Einsturz des Geländes ringsum längs Brüchen zurück (A. v. KOENEN 1885).

Große, auch kontinentenweite Bruchsysteme - Rheintal, Ostafrika, Libanon

Die Existenz großer, ja **riesiger Bruchsysteme, langestreckter** und wohl in ziemliche Tiefen reichender Dislokationen, die ihrer Entstehung nach zusammengehören, erkannten vor allem E. SUESS und A. v. KOENEN (1885). In der Anordnung der Dislokationen, der großen und auch der kleineren, herrschte also Ordnung,

Beziehung. Das wies wiederum auf tieferliegende, sie alle bedingende Ursachen. So konnte eine **”Nordsüdspalte” von den Alpen durch das Rheintal und Leinetal** bis in die Gegend von Hildesheim verfolgt werden und ging, wie man meinte, unter den Quartärablagerungen offensichtlich nach Norden weiter. KOENEN verband den in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Leinetalgraben, in dem Göttingen liegt, mit dem über den Jura und das Doubsstal verlaufenden Rhône - Saone - Tal, dem Moseltal Nancy - Diedenhofen, der Eifelsenke Bittburg - Hillesheim - Call in einem tektonischen Zusammenhang (POMPECJK 1915). Dieser **”Hauptbruchzone”** parallel laufen, wie VON KOENEN (1885) ausführte, Parallelspalten, im Odenwald und in den Vogesen.

Auch Thüringer Wald und Harz erschienen als Mittelgebirge, die längs parallelen Spalten, hier von Nordwest nach Südost, liegen.

Immer wieder zeigte sich, daß die großen Bruchsysteme, die Störungszonen, Ergebnis einer **”meist langen erdgeschichtlichen Entwicklung”** sind, **immer wieder als Störungszone** in Erscheinung treten, wie H. GALLWITZ etwa (1940) an der Elbtal-Störungszone bei Dresden mit ihren verschiedenen Granit- und Syenit-Intrusionen von Carbon und Perm veranschaulichte. Nach der Ruhe im Mesozoikum lebte die Störungszone am Ende des Kreidezeit wieder auf.

Daß Erdbeben längs einer großen Linie sich auswirken können zeigte das Jahr 1755, als sowohl Lissabon wie die Küste Nordwestafrikas bis nach Dakar von dem Erdbeben betroffen waren, dessen ganzes Ausmaß damals gar nicht bekannt wurde und das vor allem nur mit dem unglücklichen Lissabon verbunden wurde.

Lange tiefe Strörungslinien deuten in der im 20./21. Jh. als die neue geologische Erkenntnis igebildete Plattentektonik auf der Zerbrechen und Trennen von Platten und damit der ihnen aufliegenden Kontinente.

SUESS verknüpfte im Jahre 1891 die einzelnen damals bekannten **Störungszonen Ostafrikas**, erkannte damit das **gewaltigste ”Bruchsystem der Erde”** (F. FRECH 1917). Als Ursache nahm SUESS senkrecht zu den Spalten stehende Spannungen an. Für die meridional, als in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Bruchsysteme des östlichen Afrika, größtenteils 2 Äster, solltegemäß SUESS das Absinken des Indischen Ozeans der Auslöser gewesen sein. Belege für eine Zerrung, wie dann zu erwarten, fanden sich aber etwa nach den Forschungen von O. E. MEYER (F. FRECH 1917) nicht.

Daß im östlichen Afrika ein langer und auch breiter Graben vorliegt, mit steilen, insgesamt von Süd nach Nord streichenden Rändern, wurde durch etliche Expeditionen etwa im damaligen Deutsch-Ostafrika näher aufgeklärt. Der Afrika-Forscher OSCAR BAUMANN schildert eindrucksvoll, wie er auf seiner Expedition

1891 - 1893 von Nairobi aus von Norden an den Grabenrand kommt (1894, S. 34):
" ...

Plötzlich merkte ich eine Bewegung an der Spitze der Karawane, ... Ich beschleunigte meine Schritte und konnte einen Ruf des Erstaunens nicht unterdrücken als ich auf der Kuppe angelangt war. Zu unseren Füßen lag, von steilen, felsigen Hängen eingesäumt, eine ungeheure Spalte, ein Graben im geologischen Sinne, bei dem man förmlich sah, wie ein Stück des Plateaus 1000 Meter weit abgerutscht war. An der Sohle dieses Grabens lag, von sandigen Ufern umgeben, ein blauer See, dessen südlicher Verlauf mit dem Horizont verschwamm. Am Westufer stiegen die Randberge des Serengeti-Plateaus auf, an das Ostufer schloss sich eine Reihe paralleler Ketten an, ... Der See ... von den Massai E yassi-See genannt.
..."

Inmitten des Grabens liegt weiter im Süden auch das vulkanische Virunga-Gebirge, mit dem tätigen Vulkan Kirunga, den die Expedition unter GUSTAV ADOLF Graf VON GÖTZEN 1893 bestieg. VON GÖTZEN erkannte (1899, S. 239): "Die geologischen Störungen, die zu der grossen Grabenbildung geführt haben, sind von gewaltigen Eruptionerscheinungen begleitet gewesen; diesen verdankt wohl auch der Kivu-See seine Entstehung. Wir finden diese Eruptionsstellen jetzt als Kegelberge der Grabensohle aufgesetzt, ohne jede Verbindung mit den Urschieferbildungen der Grabenränder."

Im Ostafrikanischen Graben liegen einige der großen ostafrikanischen See, außer dem Kiwu-See, der Tanganjika-See, der Malawi-See. Die große Bruchzone, teilweise versetzt, setzt sich fort nach Norden über das Rote Meer, den Golf von Akaba, das Tote Meer und den Jordan-Graben und dann nach dem Orontes in Syrien, bestimmt die Grenzen der Gebirge des Libanon und Antilibanon, erforscht von dem Wiener Geologen CARL DIEMER (A. KIESLINGER 1928).

Im **Ostafrikanischen Graben** gibt es schon Straßen quer trennende Spalten, wenn es auch nicht die Trennspalte ist, aber hängt mit der allgemeinen Schwächung zusammen. Es trennen sich in der Ansicht der neueren Plattentektonik eine westliche **Nubische Platte** und die östliche **Somalische Platte**, und im Laufe noch sehr langer Zeiträume wird Afrika und das heutige Kenia zerteilt in einen West- und einen Ost-Teil (Internet 2018).

Der schon von ELIE DE BEAUMONT erkannte, als in Nord-Süd-Richtungen liegende Einsenkung den **Oberrheintal-Graben**. Er wurde noch einmal eingehend untersucht von CLOOS (1951, S. 240 ff.), nachdem er ab Frühjahr 1926 von Breslau kommend Geologie-Ordinarius in Bonn wurde und also rheinaufwärts auch in der Gegend von Freiburg i. Br. forschte: "Hier war der hohe Schwarzwald; drüben," - also im Westen - "bei klarer Luft eine scharfe, blaue Silhouette, waren die Vo-



Abbildung 287: Tektonischer Graben Orontes/Syrien.

gesen, sein Spiegelbild. Dazwischen die Rheinebene, zweitausend Meter tiefer" - geologisch gesehen - "doppelt so tief, wenn man die riesige Füllung mit Sand, Kies und Schlamm abzog, die sie im Laufe von Jahrmillionen erhöhend aufgenommen hatte." Gefüllt mit jugendlichen Sedimenten, und auf den Begrenzungen die "beiden Gebirgen ... aus uraltem Gneis" bis hoch hinauf. Des Tektonikers, also CLOOS' Frage war, ob Pressung oder Zerrung, Zug oder Dehnung der Erdkrinde, die Oberrheinebene hatte absinken lassen. Die Lösung sollte kommen aus der Aufklärung der Neigung der an den Grenzen der Rheintalebene zum Gebirge hin liegenden Sedimente. Die Hilfe kam durch einen **Tunnelbau**, für eine von Freiburg nach Osten in den Schwarzwald hineinführende Eisenbahnlinie. Lange liegengeblieben, wurde der Bau im August 1928 neu aufgenommen. Im April 1929 war der Tunnel durchschlagen. In ihm war es dunkel, aber an der Tunnelwand war doch zu ermitteln, daß die Sedimente "schräg unter einem Winkel von nur 55 Grad vom Gebirges gegen und unter die Ebene" einfallen (S. 245). **Ein Dehnung** hatte wohl die Absenkung der Oberrhein-Ebene bewirkt (S. 246). "Die Randgebirge waren ... nicht einfach stehen geblieben, sondern sie waren selbst gestiegen" und zwischen ihnen sank der Graben ein (S. 247). Und anderswo, an anderen Gräben, erscheint für CLOOS ebenso Dehnung, in der Bildung des von ihm durchfahrenen Roten Meeres, der Fortsetzung des Ostafrikanischen Grabens. In Experimenten mit "nassem feingerührtem Tonschlamm" (S. 246) versuchte CLOOS das nachzubilden und glaubte daran ablesen zu können, daß für die Grabenbildung keine "allzu freien Verschiebungen" nötig waren (S. 332), sondern eine Hebung mit Gewölbeeinbruch wegen Dehnung ausreicht (S. 246).

Das letzte Wort sollte damit nicht gesprochen sein. CLOOS hatte viel mit WEGENER diskutiert.

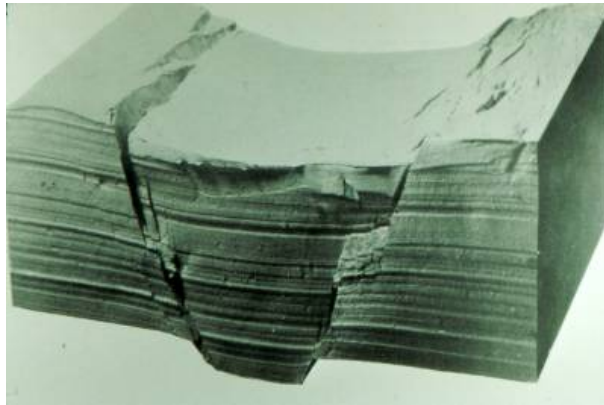


Abbildung 288: Modell Grabenbildung CLOOS.

Gebirgsbildungen / Orogenesen - ein Kernstück der Historischen Geologie

Die Erdkruste wird vielerorts bestimmt durch heutige Gebirge, aber auch durch vergangene und schon vor allem abgetragene, von denen keine äußere Spur blieb. Aber sie bilden den Untergrund, so in Mitteleuropa. Sie waren zeitweilig abgesenkt vom Meer überflutet und bilden mit der Landheraushebung wieder festländischen Untergrund, wie eben in Sachsen und in Mitteleuropa weithin überhaupt. Bei all der Beschreibung muß stets bewußt sein, daß sich die Vorgänge in Millionen von Jahren ereigneten, also oft wohl von Millimeter zu Millimeter, wie Erdbeben mit Spalten und Absenkungen zeigen wohl begrenzt ruckartig. Die salopp zusammenfassenden Darstellungen müssen mit diesem Wissen richtig gelesen werden.

Die Entstehung höherer Gebirge in der Erdgeschichte, namentlich auch der Alpen - Orogenesen: EDUARD SUESS und weitere

Über die Gebirgsbildung und überhaupt über die Tektonik unter Beachtung weiterer Teile der Erde gab der schon behandelte EDUARD SUESS (R. MICHAEL 1914) zusammenfassende Ansichten. Seine Auffassungen über die Entstehung der Alpen und von Hochgebirgen allgemein legte SUESS zuerst 1875 in seinem Buche "Die Entstehung der Alpen" dar und hielt dazu 1883 einen viel beachteten Vortrag auf der Versammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Zürich (F. WAHNSCHAFTE 1905).

Auf seinen zahlreichen Exkursionen in den europäischen Gebirgen und durch seine Literatursauswertung hatte SUESS erkannt, daß die Gebirge nicht symmetrisch gebaut sind, wie es von BUCH und sogar DE BEAUMONT angenommen hatten und so eine Erhebungskraft von unten annahmen. **Kettengebirge** zeigten sich für SUESS als einseitig gebaut, als **asymmetrisch**. Das führte zu der Annahme, daß der sie formende **Druck von einer Seite** wirkte. Damit ergab sich ein Unterschied zwischen dem Außenrand und dem Innenrand der Gebirge. Am Außenrand, also an der Vorderseite der in eine Richtung geschobenen Gebirge, entstanden Falten. An der Innenseite entstanden große Brüche und Senkungsgebiete. Der Gebirgsbildung vorgelagerte, das heißt im Wege stehende ältere Massen, für die Alpen die Böhmisches Masse, beeinflussten den Gebirgsverlauf. Bei den Gebirgsbildungen sollten in der Tiefe jene Tiefengesteine intrudieren, welche, wie der Granit, oft als der Kern eines Hochgebirges erscheinen. Bei SUESS gab es also nicht mehr allein die von HUTTON eingeführte, sehr einfach wirkende Auf- und Abwärtsbewegung der Kontinente. Gebirge schoben sich an bestehende Massen an, so die Alpen an die nordwärts bestehenden Massen.

HANS STILLE - eine Zeit lang Deutschlands führender Tektoniker

Die Gebirgsbildung war wichtiger Forschungsgegenstand bei **HANS STILLE** (F. LOTZE 1941), der wenigstens in Deutschland das Denken über Tektonik einige Jahrzehnte lang bestimmte. Der in Hannover am 8. Oktober 1876 geborene STILLE hat 1895 bis 1899 bei VON KOENEN studiert. Ab 1900 bei der Kgl.-Preußischen Geologischen Landesanstalt führte er die geologische Meßtischblattaufnahme des südlichen Teutoburger Waldes und des Egge-Gebirges durch, die Grundlage für seine immer weiterentwickelten Vorstellungen boten. Nach der Habilitation in Berlin 1904 wurde STILLE 1908 an die Technische Hochschule Hannover berufen, wurde 1912 o. Professor in Leipzig, ging aber schon 1913 als Professor nach Göttingen und war damit seinem nordwestdeutschen Forschungsraum näher, bis er 1932 den bis 1950 innegehabten Lehrstuhl in Berlin übernahm. Forschungseisen hatten STILLE nach Südamerika und Asien geführt. Am 26. Dezember 1966 ist STILLE in Hannover gestorben, wo er nach seiner Emeritierung mit weiterer Verbundenheit mit Ost-Berlin wieder gewohnt hatte. Seine fixistischen Auffassungen mit der sukzessiven geologischen Bildung von Europa bestimmten jedenfalls in Deutschland und besonders auch in der DDR das geologische Wissen bis hinein in die Lehrbücher bevor die Lehre von der Plattentektonik (s.u.) das wesentlich ergänzte und die sich zu Recht durchsetzte, wobei an STILLES Europabild viel erhalten blieb. Was STILLE beschrieb, wurde mit der Plattentektonik umd mit der

für die jüngeren Orogenesen in Europa mit der nach Norden stoßenden Afrikanischen Platte kausal erklärbar. STILLE erörterte für die tektonischen Ereignisse die Konteraktion der Erde infolge der immer noch angenommenen Abkühlung.

Tektonik im Zusammenhang - Epirogenese und Orogenese

Ab dem ersten Jahrzehnt des 20. Jh. wurden die Krustenverformung und damit die Gebirgsbildung in Deutschland vor allem durch STILLE (1920, 1922, 1937, H. GALLWITZ 1952) neu diskutiert.

Von K. G. GILBERT übernahm STILLE die beiden Begriffe **Epirogenese** und **Orogenese**, die er klarer formuliert (F. LOTZE 1941). Epirogenese war die weiträumige Hebung sowie leichte Verbiegung (Undationen) und Verformung von Krustenteilen, welche nicht zu Gebirgen, aber zur Entstehung von Festländern und auch den sich langsam füllenden Geosynklinalen führt. Entstanden vor allem auch Falten wurde von Orogenese gesprochen, jedenfalls für den endogenen, den erdinneren Anteil der Gebirgsbildung.

Gebirgsbildungen/Orogenesen grundsätzlich

Der Terminus "**Orogenese**", **Gebirgsbildung**, wird nicht nur dafür angewandt, daß hohe Gebirge entstanden, '**Orogene**'. Es müssen 2 Vorgänge unterschieden werden (S. VON BUBNOFF 1956), 1. die in der Tiefe stattfindenden Faltungen und Überschiebungen, die dortige "Deformation der Gesteinstruktur und Lagerung", die **Tektogenese**, wie das HAARMANN nannte, und 2. die möglicherweise danach folgende Heraushebung dieses Gebietes, von S. VON BUBNOFF 1938 (s. 1956, S. 52) zu seiner Diktyogenese gerechnet.

Also: **Nicht die Faltungen und Überschiebungen in der Tiefe** führten schon **unmittelbar zum Gebirge**, gar zum Hochgebirge. Das Herausheben wurde in der Geologie einst eher vernachlässigt gegenüber der Tektonik, den Vorgängen in der Tiefe, aber es wurde im 20. Jh. bewußt, daß man aufklären muß, "wie die Alpen nach dem Abschluß der eigentlichen tektonischen Faltung zu dem stolzen Hochgebirge wurden" (F. LEYDEN 1922, S. 18). Um es nochmals mit VON BUBNOFF wiederzugeben (1954, S. 160): "Die Faltung ist mit der Bildung des morphologisch sichtbaren Hochgebirges nicht identisch - sie kann auch unter dem Meeresspiegel stattfinden", wobei Bezug genommen wird auf HAARMANNs "Oszillationstheorie". "Die Hebung des Gebirges ist vielmehr ein späterer (diktyogenetischer) Preozeß, vielleicht im Zusammenhang mit der ungeheuren Verdickung der

Kruste, die eine Umwandlung der Geosynklinale in einen starren Block bedingt." So die Ansicht um die Mitte des 20. Jh. A. RITTMANN (1960, S. 387) sieht 3 Stadien: **Geosynklinale, Tektogenese, eigentliche Orogenese**. Dieser Ablauf in den verschiedenen Teilen eines Orogens findet meistens nicht gleichzeitig statt, gibt also eine "Ungleichzeitigkeit der Entwicklung verschiedener Abschnitte des Orogens" (S. 287).

Erst **am herausgehobenen Orogen** können dann **die außenbürtigen Kräfte**, die 'Atmosphärien', **ansetzen**, geben dem herausgehobenen Gebiet, im Himalaja über 8000 m, den faszinierenden Gebirgscharakter. Aus dem "geologischen Strukturgebirge", dem Orogen, wurde das "geographische Reliefgebirge", das durch innenbürtige Kräfte gebildete "**Tektorelief**", das Großrelief, wurde zum "**Klima**", zum "**Abtragungsrelief**" (E. KRAUS 1959, S. 40).

Erst durch die herausgehobenen und in Abtragung befindlichen Gebirge werden die in der Tiefe alles verändernden erstarrten Tiefenvorgänge, die Tektogenese, sichtbar, und alte abgetragene Gebirge, die des Paläozoikums. können hier besseren Einblick gewähren als manche jüngeren Gebirge (A. BORN 1921). Das noch viel früher durch Gebirgsbildung konsolidierte Skandinavien und Finnland mit ihren dann tief abgetragenen Gebirgen wurde die führende Region der Tiefengeologie, Die Eiszeitgletscher versorgten dann auch Mitteleuropa mit Fels- und Gesteinsstücken der Uralt-Tiefengesteine. Auch während der Faltung im Carbon, also erdgeschichtlich gar nicht so weit zurückliegend, wurden **auch Tiefengesteine** intrudiert, vor allem **Granit**, zwischen Cornwall und der Bretagne bis hin zu den Sudeten mit dem Riesengebirge. In der Oberlausitz oder im West-Erzgebirge gibt es schöne Beispiele, wie die Granitschmelze umgebende Sedimente veränderte, 'metamorphosierte'.

Um die Heraushebung eines Gebirges zu erfassen, müssen andere Dinge beachtet werden als bei der Feststellung der im tiefen Inneren abgelaufenen Tektonik. Die wohl im allgemeinen etappenweise Heraushebung ist, mit vielen Schwierigkeiten im einzelnen, an **Terrassen hoch über heutigen Talböden** und an hochliegenden **Verebnungsflächen**, also der Folge von länger dauernden und teilweise erfolgten Einebungen, abzulesen. Es wurde aber davor gewarnt, ziemlich gleiche Höhe benachbarter Gipfel, also die "Gipfelfur", schon als Zeugnis einer zerschnittenen Verebnungsfläche zu sehen, und je höher ein Gebirge stieg, um so stärker machte sich die Erosion bemerkbar und prägte die Gestalten. Westalpen und Ostalpen mochten sich da unterscheiden (A. BORN 1922). Vor allem aber geben über die **Heraushebung** Auskunft die **Abtragungssedimente**, im Vorland der Gebirge oder in Mulden. VON BUBNOFF (etwa 1954, S. 218) suchte 1950 nachzuweisen, wie Beschleunigung der Sedimentation "periodisch wiederkehrt", "deutlich an die Zeiten verstärkter Gebirgsbildung geknüpft" und so auch ein Beweis der "Pe-



Abbildung 289: Elbe 280 m über heute. Kleingießhübel.

riodizität der Orogenesen.” Beim Varistischen Gebirge in Mitteleuropa sind die Abtragungssedimente die schon erwähnten Ablagerungen des Ober-Carbon und des Rotliegenden, bei den **Alpen** im Norden **die Molasse**.

Orogenesen traten in Schüben, **in begrenzten bestimmten Perioden** auf. Es lassen sich also zeitlich unterscheidbare Orogenesen ausgliedern, die aber auch Millionen von Jahren umfassen. Orogenesen sind **nicht umkehrbar**. Gefaltet ist gefaltet. Überschoben ist überschoben. Konsolidiert ist erst einmal konsolidiert. Nur Brüche und Hebungen können in der von einer Orogenese erfaßten Region eintreten. Oder irgendwann ein völliges Wiederverschwinden.

Von den Orogenesen im engeren Sinne wurden andere Krustenveränderungen abgetrennt: Allmähliche Hebungen und Senkungen - das sind die **Epirogenesen**. VON BUBNOFF (1954, S. 45 ff.) schied neben einigen anderen Geologen noch die **Diktyogenesen** aus, weiträumigere Großwellungen, weiträumiger als Falten.

Wann geschahen etwa in Sachsen als Epirogenese zu geltende **Heraushebungen**? VON STAFF (1914) und andere sahen die Heraushebung etwa des **Elbsandsteingebirges** im Pliozän und vor allem in einer ”quartären tektonischen Aktivitätsperiode” (S. 87). Zur ”Zeit der lokalen Hauptvereisung sei die Elbe in einem 6 km breiten Bett von Süden kommend dahingeflossen und habe sich dann erst, mit der Hebung, in ihr heutiges Engtal eingeschnitten” (S. 89). Und bei Kleingießhübel, heute etwa 280 m hoch, gibt es Elbeschotter, entstanden in einem damals also viel tiefer liegenden ebenem Land. Einschneiden ging also in erdgeschichtlichem Zeitmaß ziemlich rasch. Ja?

All die Vorgänge, so darf man es sehen, gehen sehr langsam vor sich, in Jahrmillionen. Wie es auch LYELL sah. Aber in jenen Zonen, in denen sich vieles

langsam abspielt, gibt es immer wieder verheerende Vulkanausbrüche und Erdbeben - Begleiter der Schritt für Schritt-Vorgänge und diese dann auch erschreckend plötzlich. In die Langsamkeit mischen sich dramatische Ereignisse. Wenige Millimeter Bewegung in Teilen der Erdkruste im Jahr, nur manchmal mehr, und dann irgendwie summiert - und es sinken große Städte in Trümmerhaufen - Zeugnisse für weitergehende Hebung oder Krustenverschiebung. Im Freien ist davon wie DARWIN in Chile (s. d.) erlebte nur wenig zu spüren und auch der Südamerikareisende STÜBEL (1897, S. 324) schrieb über ein nach der furchtbaren Zerstörung 1797 die Stadt Riobamba in Ecuador fast ein Jahrhundert später wieder treffendes Erdbeben, daß er im Freien nur spürte , wie der Boden unter" seinen "Füssen in ein leichtes Schwanken versetzt" wurde.

Die Geosynklinalen, "Vortiefen", die Regionen der Orogenese

Die **Regionen**, in denen Orogenesen stattfanden und vielleicht noch stattfinden, sind die von DANA erkannten und seit 1873 von ihm **Geosynklinalen** genannten Absenkungsgebiete, im Vorland von Kontinenten. STILLE sprach, etwa 1919, von "**Vortiefen**". Sie waren nicht durch Bruchzonen begrenzt, sondern waren der Epirogenese anzurechnende langsame Absenkungen. **Tausende Meter** konnten absinken (so u. a. A. H. STILLE 1919, BORN 1922), immer wohl festlandsnah, in der Absenkung manchmal unterbrochen bis zum Meeresrückzug, bis zu nur zeitweiligen Hebungen und erneuter Überflutung wie im Alpenbereich (S. VON BUBNOFF 1954, S. 155), bei allem Absinken aber wohl jedenfalls in den verschiedenen Zeiten nicht tief, weil dem Absinken meistens wohl die Sediment-Auffüllung nachkam. Nicht ein von vornherein tiefes Gerinne wurde aufgefüllt, sondern in einem Senkungsraum wurde immer wieder nachgefüllt. Nicht "daß ein tiefes offenes Becken langsam vom Grunde auf gefüllt wurde ... Nein, dies Meer war immer flach und seicht und den Küsten und Ländern seiner Zeiten nahe ..." (H. CLOOS 1951, S. 231). Die "tektonische Tiefe" war bedeutend, aber Auffüllung glich den "Senkungsbetrag" aus. ergab keine mächtige "morphologische Tiefe" (H. STILLE 1919, S. 346). CLOOS (1951, S. 231) spricht von der 'Geosynklinale' einem "der ganz merkwürdigen und gewiß ganz und gar eigentümlich irdischen Gebilde im Antlitz unseres Planeten ..." Um auch noch E. C. KRAUS (1928, S. 492) schildern zu lassen: Von einem "tieforogenen, i. a. Archipel-bildenden Stadium" gibt es "Gesteigerte tektonische Zusammenraffung schafft einen mächtige werdenden Gebirgswulst in der Tiefe, der schließlich als breiter Körper über das Meer steigt." Archipele gibt es heute durchaus. Gibt es damit eine Geosynklinale auch irgendwo in der Gegenwart? Etwa vor Indonesien? Untersuchungen auf Celebes und anders-

wo im 'indo-australischen Archipel' und dann die niederländische Expedition mit dem Schiff 'Siboga' 1899/1900 haben in dem Archipel vor Südost-Asien ein "labiles Stück Erdrinde" erkennen lassen (M. WEBER 1902, S. 12). Daß es **keine** die **gesamte** Inselwelt südöstlich des asiatischen Festlandes bewohnende **gemeinsame Fauna** gibt, andererseits faunistische Trennungslinien das Gebiet durchziehen, liefert weitere Zeugnisse für die dortige bewegte erdgeschichtliche Vergangenheit. **Tiergeographie** steht hier wie anderswo wenigstens ergänzend **an der Seite der Tektonik** (M. WEBER 1902). Landferne, auf Meer verweisende Radiolarien fanden sich auf Celebes/heute Sulawesi. Die aus Basel stammenden Forscher PAUL und FRITZ SARASIN sahen ein Aufsteigen der Insel Celebes erst im Miozän (M. WEBER 1902, S. 12). War vielleicht, wie STILLE (1919) debattierte, der gesamte Pazifik eine Geosynklinale? Wo wäre hier Aktualismus? Vor den fossilen Vortiefen, stellte STILLE ebenso fest, lag immerhin eine "Masse", ein konsolidiertes Festlandgebiet, so vor der varistischen Geosynklinale das kaledonisch verfestigte Europa, vor der nordalpinen Vortiefe die Böhmisches Masse. **An dem Ergebnis, den** aus mächtigen Meeresdedimenten bestehenden **Gebirgen**, der Feststellung kilometerhoher Flachmeersedimente, waren die Geosynklinale der Vergangenheit zu erkennen, sah man, wo einstmals eine 'Geosynklinale', eine solche 'Tiefenzone' war !

Gibt es heute Geosynklinale? Wo wird immer wieder mit Material nachgefüllt? Wo die Erde laufend bebt? Neue Vorstellungen, die über die horizontale Kontinentenbewegung hoben viele Vorstellungen über Orogenesen und Geosynklinale auf oder ließen die Dinge ergänzend neu sehen, auch die von STILLE, welche für Jahrzehnte den Lehrbuchinhalt für Geologie bestimmten!

Die **Orogenese**, also die Faltungen und Überschiebungen, ja auch Hebungen, fanden **nicht in der gesamten Geosynklinale gleichzeitig** statt. Ein schließlich einheitlich wirkendes Gebirge entstand episodisch. So entstand das Varistische Gebirge "nicht in einem Gusse" (H. STILLE 1919, S. 348). Eine "ältere Kernzone" des Varistischen Gebirges war bis zum Unter-carbon gefaltet. Nördlich davon bestand die Vortiefe weiter, in aller Ruhe, hier, wo aus Wäldern von großen Gefäßkryptogamen auch die Steinkohlen des Carbon, die Steinkohlen des Ruhrgebietes und Belgiens, hervorgingen. Erst im Ober-Carbon "wanderte" die Faltung auch nach Norden, in die bisher ruhig gebliebene "jüngere Randzone". Erst in der **Gesamtbilanz etwa bei der Varistischen Gebirgsbildung** gehörten dann alle dieser gefalteten und von Granit und anderen plutonischen Gesteinen durchdrungenen und auch metamorph veränderten Schichten aus mehreren Formationen, von mindestens Cambrium bis zum Unter-Carbon, also das ganze Altpaläozoikum, das **"Grundgebirge", der "Unterbau"** Mitteleuropas, zu der im Varistischen Gebirge endenden Geosynklinale, die aber nicht einheitlich abschloß.

Es gab bei der **zu den Alpen** führenden Geosynklinale Zerteilung, Aufwölbung einer Mittelschwelle. DEECKE und DACQUÉ erkannten in der Geosynklinale im Alpenbereich im Mesozoikum so zahlreiche Fazieswechsel, daß dies ein unruhiger Streifen der Erdkruste gewesen sein muß (S. v. BUBNOFF 1921). Die "Labilität" gerade erschien als das Kennzeichen, das die Geosynklinalgebiete "von den starren, nur vom langsamen Auf- und Ab großer Areale bewegten Umrandungsschollen auszeichnen soll" (v. BUBNOFF 1921, S. 106 / 107). Die Faltung sollte dabei nur der extremste Ausdruck der "Mobilität" einer Geosynklinale sein. Die Orogenese fand in der Alpen-Geosynklinale dann und für lange nur in einem Teile, dem südlichen, statt. Nördlich davon, in der weiterbestehenden Vortiefe, setzte sich die **Molasse**, ein gegenüber dem zunächst abgelagerten **Flysch** ein relativ feineres, auch mergeliges Material ab, Wie der Paläobiologe OTHENIO ABEL (1926, S. 172 ff.) auf einer Amerikareise 1925 als "Lösungsversuch" ermittelte, könne der Flysch auf die Ablagerungen in **Mangrovenwäldern** zurückgeführt werden. Sie wuchsen sicherlich nicht nur in Festlandsnähe, sondern gehörten auch Delta-Bildungen an. So wie in den rezenten Mangrove-Wäldern "Myriaden von Austern an den Stelenwurzeln festgeheftet leben", wäre das auch für die Inoceramen im ansonsten fossilarmen Flysch denkbar (S. 177).

Die **Molasse-Bildung** erfolgte lange Zeit ungestört, nach A. HEIM "vor den Schweizer Alpen nach dem Gebirgsrand 2500 m", bisweilen über 3000 m (H. STILLE 1919, S. 345). So entstand das "Nordalpine Molassebecken". Die "Mächtigkeit und Art der hier stattfindenden Sedimentation bezeugt" das lange Ruhen der orogenetischen Vorgänge. Die zu den Alpen führende Geosynklinale ergab also nur in einem Teil ein Gebirge, und auch danach wiederum nicht in der gesamten Vortiefe. Erst "in einer jüngeren orogenetischen Phase" geschah ein "Vorwandern der Faltung", nach Norden, zum Molassebecken, "erfolgte die Faltung in der Richtung auf die Vortiefe, in dieser selbst und auch über sie hinweg" (S. 352). Aber nicht das gesamte Molassebecken wurden erfaßt.

Die Senkung, der die Sedimentation folgt, war nach STILLE (1919, S. 368) "ein den Untergrund stark mobilisierender Vorgang", und ihm folgten, lange danach, "Faltung, Intrusion und Aufwärtsbewegung des starrereren Grundgebirges und unter Umständen auch mächtige Deckenergüsse" als die "wichtigsten "versteifenden" Ereignisse."

So jedenfalls die zusammenfassende Vorstellung über die Bildung eines Hochgebirges um 1920! Diese Vorstellung von einer klassischen Geosynklinale wich aber mancher Differenzierung, auch der Unterscheidung von nicht gleichartig gestalteten **Geosynklinalen**, also mehr individuellen als nur gesetzmäßigen Vorgängen. Mit der Plattentektonik (s. d.) ist Geosynklinale in 'Zone der **Subduktion**' aufgegangen, verlor der Begriff 'Geosynklinale' seine Bedeutung.



Abbildung 290: Rezent-Sedimente. Ebbe Normandie.

Und wie war es nun mit den teilweise gewaltigen Sediment-Mächtigkeiten im Nordwesten Mitteleuropas, nördlich des Mitteleuropäischen Schollengebietes, in der '**Nordwesteuropäischen Senke**' in dem auch '**Germanisches Becken**' genannten Gebiet in Nordwest-Deutschland und hinein in die Nordsee, mit vom Rotliegenden bis zum Quartär 3000 bis 10.000 m mächtig (R. WALTER 1995, S. 6). Salz im Unterelbe-Gebiet über 2000 m (!) (D. HENNINGSEN et al. 2002). Sind das nicht geosynklinale Werte? Aber entsteht hier ein neues Orogen? Das die Frage eher eine Laien! Und östlich besteht die **Polnische Senke**, mit über 10.000 m Sedimenten des Perm und des Mesozoikum (R. WALTER 1995, S. 102), besonders eindrucksvoll Gesteine des Jura. Sedimentablagerungen - gibt es auch heute.

Was verursacht die Bildung dessen, was man Geosynklinale nannte und Gebirgsfaltungen zustandebrachte?

STILLE und andere haben im wesentlichen beschrieben, was vor sich gegangen war. Wo eine Geosynklinale war erschien ein Faltengebirge. Und an ihm war die ehemalige Synklinale und waren auch die Vorgänge in ihr abzulesen. FRANZ KOSSMAT, der von der Alpengeologie in Österreich herkam und 1913 als Nachfolger von STILLE nach Leipzig kam, suchte die Aufklärung in den unsichtbaren Massen tief im Untergrund, sah Ursache in Verlagerungen der oberen Sial. gegenüber der unteren Sial-Schicht. Das ließ sich ablesen aus den **Schweremessungen**, die schon im 19. Jh. begonnen wurden und etwa Schwereanomalien anzeigten (F. KOSSMAT 1921, 1932). Damit war die **Geophysik** tief in die **Geologie** eingedrungen. KOSSMAT sah die wiederkehrenden Züge, also die Gesetze, in der Gebirgsbildung, aber mehr als der stark klassifizierende STILLE wies er auch auf Eigenständigkeiten bei der

Gebirgen anderswo als in Europa.

,

Eindringen von schmelzflüssiger Masse/Magma in die zu Falten kommenden Sedimente entstehender Gebirge: Batholithe, Lakkolithe

Granit - das sollte das älteste, das 'uranfängliche' Gestein der Erde gewesen sein. Aber Granit entstand wie sich zeigte in den Tiefen der Zonen der Orogenesen, und diese waren jünger als eine erste Erdkruste. Und Granit trat in der Erdgeschichte immer wieder auf, war dabei keine immer nur einheitliche Masse, Intrusivgesteinsmassen, **Plutone** genannt, drangen etwa in Sachsen in die Falten des "alten", also Varistischen Gebirges ein, bilden "plutonische Stöcke ... sogenannte **Batholithen**", die "sind nicht bis zur Oberfläche emporgestiegen, sondern bleiben im Sedimentdach stecken" - so geschildert von F. KOSSMAT 1925 (S. 35). . Im Gefolge der Abtragung und Verwitterung gibt es im Erzgebirge beeindruckende Granitklippen, so bei Geyer und Ehrenfriedersdorf (F. KOSSMAT 1925, S. 41), die mit die frühesten geologischen Abbildungen lieferten. Das größte "der in Deutschland aufgeschlossenen Areale" von Granit "ist das 'Lausitzer Granitmassiv', allein oberirdisch mit einer Ausdehnung von mehr als 3500 qkm und weiter ausgedehnt unter der älteren Grauwacke, in die es mit metamorphosierender Wirkung von unten her eindrang (F. KOSSMAT 1925, S.44). Im Zusammenhang mit der Varistischen Orogenese gab es Granitintrusionen bis ins untere Perm, und sie bilden Zinngranitmagmen (F. KOSSMAT 1925, S. 47) "das Endstadium der Batholithenbildung, ... da sie im nordöstlichen Erzgebirge Tepplitzer Quarzporphyr und auch Granitporphyr durchbrochen haben." Auch das aus mehreren Intrusionen zustandegewordene Brocken-Massiv im Harz ist als post-varistisch anzusehen (G. H. BACHMANN et al. 2008). 15 Typen des Brocken-Granit werden auf den Meßtischblättern unterschieden und bei aller Schwierigkeit der Feststellung der Altersverhältnisse mangels Aufschlüssen fanden sich doch Stellen, so an den Ilse-Wasserfällen, die "das Durchdringen älterer durch jüngere Granite ... " oder "Einschlüsse von älteren in jüngeren Graniten ..." und Kontakte zeigen (G. H. BACHMANN et al. 2008, S. 443, nach SCHUST 1995).

Flacher liegende, in Sedimente eingedrungenes plutonisches Material, Magma, beschäftigte in den USA G. K. GILBERT (1896; R. K. DEFORD 1972, W. C. MENDENHALL 1919), der in den Henry Mountains 1875 und 1876 die Vorstellung entwickelte, daß schmelzflüssige Massen in Gesteinskomplexe, in 'Wirtsfelsen', eindringen und sich

unter der Erdoberfläche ausbreiten können und erstarren, und bilden, die GILBERT **Lakkolithe** nannte. GILBERT (1896) untersuchte das 1895 an einem Ort im Südosten des USA-Staates Colorado, wo plutonisches Gestein darüberliegenden mesozoischen Sandstein gehärtet und aufgewölbt hatte. Der Erdkruste, meinte GILBERT, wäre im Großen so plastisch wie Wachs im Kleinen. Es war wohl ziemlich basaltisches Material, Basalt erscheint am Ende von Gebirgsbildungen, also beim Vorhandensein fester Kontinente. GILBERTs Auffassung wurde aber als zu übertrieben bald kritisiert.

In der Tiefe - vor allem Granit - CLOOS und WATZNAUER

Granit - darüber gab es noch bis in die neuere Zeit keine abgeschlossene Meinung, blieb ein die Petrographen und Geologen bewegendes Gestein, so bei HOLMES (K. C: DUNHAM 1966, S. 303).

Es war HANS CLOOS (S. VON BUBNOFF 1953, H. MARTIN 1970), auch führender Tektoniker, der sich viel mit Granit befaßte. Geboren wurde CLOOS am 8. November 1885 in Magdeburg, wo sein Vater Regierungsbaurat war. Von dorthier mag der Sinn für Bau, ja Architektur auch der Erde stammen. In der Kindheit aufgewachsen auf dem großväterliche Gut bei Saarbrücken neigte er auch zum Architektur-Studium, bevor er sich für die Geologie entschied. Vor allem DEECKE in Freiburg war sein Lehrer. Nach Auslandsarbeiten und Kriegsteilnahme wurde CLOOS 1919 als Nachfolger von FRECH Geologie-Professor in Breslau, 1926 als Nachfolger von STEINMANN in Bonn. Eine eigenwillige Tat in seinem persönlichen Leben: Nach Jahren des Wartens trennte er sich 1932 von seiner Ehefrau - und heiratete deren Schwester, also seine Schwägerin (H. MARTIN 1970, S. 178). Nach dem Krieg war er führend bei der Wiederbelebung des Kulturlebens in Bonn, wirkte auch wissenschaftlich, erlag aber noch keine 66 Jahre alt am 16. September 1951 seiner Angina pectoris.

Nach der Promotion 1910 war CLOOS nach dem damaligen Deutsch-Südwest-Afrika und erforschte hier inmitten der Steppe der durch den dortigen Zinnerz-Abbau wichtigen Erongo-Berg. Und da kam als Überraschung: Der unter den flachen "Konglomeraten, Sandsteinen und Lavadecken" mit seinen zinnerz-führenden Pegmatit-Gängen liegende Granit war jünger als das aufliegende Gestein, später als vom Alter des mitteleuropäischen Keuper-Sandsteins festgestellt (H. MARTIN 1970, S. 172/173). Fast nicht glaubhaft erschien CLOOS wie er an dem Berg "stieg ... direkt hinauf. Tausend Meter durch Granit. Dann kam der Sandstein, Grenze scharf, waagrecht, ..." (zit. b. H. MARTIN 1970, S. 173). Aus dem unterliegenden

Granit waren "Turmalinnester" in den Sandstein eingedrungen. Die Frage war die nach der Raumgewinnung des Granits. Auch nach Arbeiten für eine Tochtergesellschaft der Standard Oil Company 1911/1913 auf Java und Borneo wandte er sich als Professor in Breslau dem Granit zu.

HOLMES (K. C. DUNHAM 1966, S. 302/303) hatte im Inneren vom Mozambique geforscht und hatte hier Gesteine der Katazone untersucht und fand, daß es **kein originales Granitmagma** gäbe, sondern einer Balance von eindringendem und abgegebenen Material der Granit seine Existenz verdankt.

Wie ADOLF WATZNAUER (1960), Freiberg, in Sachsen und Thüringen, so vor allem im sächsischen Erzgebirge feststellte, waren Orogenesen vom Aufstieg und der Raumnahme gewaltiger **granitischer Massen im Untergrund** begleitet, ja bestimmte wohl, nach CLOOS, die granitische Masse in der Tiefe den Faltenbau oben. Auch in Gebieten, etwa der Oberlausitz, wo die varistische Orogenese maßgeblich war, sind aber auch Granite älterer Entstehung vorhanden (A. WATZNAUER 1960, S. 63), haben jüngere Orogenesen ältere, auch ehemals stattgefundene, einbezogen. Mit "einiger Sicherheit" vermeinte WATZNAUER (1960, S. 63) zu "wissen", "daß in Sachsen und Thüringen mit einer kontinuierlichen Granitförderung vom Jungpaläozoikum bis zum Perm gerechnet werden muß." Wird das Material der älteren Orogenesen **abgetragen**, erscheinen deren Tiefengesteine an der Oberfläche. Viele in den altgeformten Gebieten wie Skandinavien, weniger und doch etliche im Gebiet der varistischen Orogenese, weniger in den Alpen. Im sächsischen Erzgebirge sind nach WATZNAUER noch große Granitmassen in der Tiefe und sind die oberflächlichen Granitstöcke nur dessen Ausläufer. Es würde noch Millionen von Jahren dauern, bis die Tiefenmassen freigelegt sind, wenn nicht eine Absenkung das verhindert.

Klüftung, "Kleintektonik" - Entstehung, Deutung

Von den Beanspruchungen des Gesteinsmaterials in der Erdkruste zeugen auch die in jedem Gestein vorhandenen **Klüfte**, also Zeugnisse der dortigen Kraftwirkung. Wie CLOOS beschrieb: Einige Gesteine schrumpfen beim Entstehen, so Basalt und Porphyr, bekommen damit ihre Säulen. Dann gibt es Klüftung durch Pressung und Biegung in der Erdkruste (H. CLOOS 1951, S. 213; H. MARTIN 1970, S. 175).

Wie schlimm wäre es in Steinbrüchen, wenn die Klüftung nicht die Arbeit erleichterte. Der zur Klüftung führende Druck konnte von anderswoher kommen, im Elbtalgebiet wie K. PIETZSCH (1917, S. 286) überlegte von den aufeinander ziemlich senkrecht stehenden Dislokationen Lausitzer Überschiebung nordöstlich



Abbildung 291: Klüfte. Sandstein Gohrisch.

und dem Südabbruch des Erzgebirges. Und "Auf die Interferenz dieser beiden Gruppen von jungen Störungen kann man die Kluftsysteme im Quadersandstein zurückführen;" , denn "größere Verwerfungen fehlen jedoch sonst im Gebiete der Sächsischen Schweiz" (S. 286). Das Plateau des Sandsteingipfels des Gohrisch auf der linkselbischen Seite in der Sächsischen Schweiz zeigen solche fast in diesen Richtungen ziemlich senkrecht zueinander stehende Klüftungen.

Zurückgehend auf seine Granittektonik sah CLOOS (1940, S. 115/116) in den "im Aufschluß mit bloßem Auge sicht- und meßbaren Falten, Achsen, Klüfte, Schubflächen, Ruscheln" Dinge, "die ja doch mit dem Großbau organisch verbunden sein müssen, wie das tierische Gewebe mit seinen Lebensfunktionen" und also diese "**Kleintektonik**" (S. 115) auf den Großbau, seine dort wirkenden Kräfte und deren Richtung, zurückschließen läßt.

Die unterschiedenen Orogenesen der Erdgeschichte - Die Geschichte der zetilich unterscheidbaren Gebirge - Von DE BEAUMONT über SUESS zu STILLE

Es erscheinen in der Erdgeschichte ruhigere Perioden und solche, die sich durch Orogenesen auszeichnen, "Perioden des Diastrophismus" (B. WILLIS 1910, S. 248). SUESS erschloß, wie schon DE BEAUMONT, aus den verschiedenen alten Faltungen und den Diskordanzen die verschiedenen Gebirgsbildungen früherer Perioden und führte für diese **Orogenesen** die weitgehend zumindestens auch gültig gebliebenen Begriffe ein, also: "**Archäische**" **Gebirgsbildung** für die präkambrische Gebirgsbildung, was auch als **assyntisch** oder für Teile durch LE'ON BERT-

RAND 1921 als **cadomisch** bezeichnet wurde (Wikipedia 2013). Es folgten bei STILLE **Kaledoniden bzw. "kaledonische"** Gebirgsbildung für die im Silur stattgefundene Orogenese (1886, s.: H. STILLE 1948), "**Variscische**" oder armorianische Gebirgsbildung für die unter anderem das mittlere Europa im Carbon betreffende Orogenese und für die im Tertiär erfolgenden Bildungen der jungen Hochgebirge den Begriff "**Alpine** Gebirgsbildung". In Frankreich hatte MARCEL-ALEXANDRE BERTRAND 1887 einmal gesprochen von Kaledonischer, Herzynischer, Alpiner Gebirgsbildung und diesen die Huronische Orogenese vorangestellt. Die Termini von SUESS setzten sich durch.

Erst mit der geologischen Erkundung der Erde wurde deutlich, daß in der Umrahmung des nördlichen Pazifik die ins Spätmesozoikum fallende '**Kimmerische Tektonogenese**' das wichtigste tektonische Ereignis ist (S. VON BUBNOFF 1954).

Innerhalb der, auf begrenzte Zeiträume eingeeengten **Orogenesen**, sind, wie das zum Teil schon oben einsehbar war, **einzelne Phasen** zu unterscheiden, sogar noch **Unterphasen**, wobei stets einzelne Regionen dabei immer besonders stark betroffen waren. Es gibt dabei etwa in Sachsen eine Hauptfaltung, abgeschlossen im Untercarbon, jene, die "**sudetische**", welche die vorangegangenen Sedimente gewaltig faltet. Jeder Steinbruch in altpaläozoischem Gestein, im 'Unterbau', offenbart das. Schon im Untercarbon war etwa in Sachsen die Hauptfaltung beendet (K. PIETZSCH 1962). Die folgenden Sedimente weisen dann weitere, wenn auch manchmal schwache Diskordanzen auf, Sedimentatsunterbrechungen, oder flachere Schichten auf leicht schräg gestellten.

Die einzelnen Phasen können sich also in den verschiedenen Teilen des betroffenen Gebietes unterschiedlich ausgewirkt haben. STILLE unterschied schon 1920 für die 'variscische Gebirgsbildung' von unten nach oben die dem Carbon vorangehende "bretonische Faltung. Nach der "sudetisch" genannten Hauptfaltung folgte die innerhalb des Obercarbon liegende "asturische Faltung", Zwischen Unterrotliegendem und Oberrotliegendem, über dem Mittelrotliegendem also schon während der intensiven Abtragungszeit des Varistischen Gebirges die "**saalische** Faltung". Das wurde weiter ausgebaut, etwa von KOSSMAT, der zwischen sudetische und asturische Phase eine im Erzgebirgischen Becken nachweisbare "erzgebirgische Phase" eingeschob (H. STILLE 1929).

Die "Alpine" Orogenese hatte unter ihren Phasen die sich im Westen Nordamerikas besonders stark auswirkende **laramische Phase**, dann die Phasen: pyrenäisch, helvetisch, savisch, steirisch, attisch, rhodanisch, wallachisch, pasadenisch (zit. bei S. VON BUBNOFF 1956).

Die für ein Orogen ungewöhnlich langen, sich auf 7000 km erstreckenden **Anden** entstanden wohl nicht bei einer einzigen Orogenese (E. KRAUS 1959, S. 101).



Abbildung 292: Laramisch, W-Canada.



Abbildung 293: Rocky Mountains, W-Canada.

Im einzelnen gab es über den Zusammenhang der alten "Gebirge" viele weitere Diskussion. Der Sohn von EDUARD SUESS bezweifelte etwa 1933 den einheitlichen varistischen Bogen seines Vaters.

STILLE nahm an, daß die entscheidenden gebirgsbildenden Vorgänge auf der ganzen Erde in eng begrenzten Zeitspannen abliefen. 1922 sprach STILLE vom '**Orogenen Gleichzeitigkeitgesetz**'. Orogenesen waren dann markante Zäsuren in der Erdgeschichte. Kritisch sah das etwa KARL KREJCI-GRAF (1950), Freiberg/Sa. Der am 15. April 1898 in Gmünd in Niederösterreich geborene KREJCI-GRAF (C. SCHIFFNER 1940, S. 138/139, Wikipedia 2020)) arbeitete als Absolvent u. a. in Leoben, Wien, Abo, Berlin an Erzlagerstätten in Schweden, als Erdölgeologe in Rumänien und dann vor allem in China, wo er von Februar 1930 bis Juni 1933 auch Professor für Paläotologie und Lagerstättenkunde an der Sun Yatsen Universität in Kanton war und auch weite Reisen, so nach Japan, Hawai, die USA unternahm. 1937 wurde KREJCI-GRAF Professor für Brennstoffgeologie an der Bergakademie Freiberg und war, als Erdölforscher, weiterhin viel im Ausland. KREJCI-GRAF, der nicht zu den Nationalsozialisten gehörte, starb 1966.

In der von STILLE besonders betonten Auffassung vom Weg der Auffüllung von Geosynklinalen mit Sedimenten, der Faltung tief unten und der Emporhebung eines Orogens und dem dann konsolidierten, an einen bestehenden Kontinent angeschlossenen und nunmehr der Abtragung unterliegendem Gebirge wollte man so etwas wie eine geologische Gesetzmäßigkeit sehen (O. WAGENBRETH 1977). Gebirge sollten immer eine gleichartige Geschichte haben. Wie hoch stiegen sie aber jeweils empor? Und vor allem wie stark 'konsolidierte' die 'Konsolidierung'? War das spätere Alpengebiet nur und seit langem die Geosynklinale? Waren die Regionen der Varistischen Gebirgsbildung nicht auch schon assyntisch oder kaledonisch mitgepägt? WEGMANN fragte 1952 (S. 207). "Ob sich die alpine Zone vor dem Mesozoikum von anderen Gegenden des Varistikums und älterer Bildungen unterschied, bleibt einstweilen unbekannt." Für Sachsen etwa heißt es, gemäß PIETZSCH: "Infolge der mehrfachen Überprägung ist es schwierig, Bauelemente der algomischen, assyntischen und variskischen Ära zu unterscheiden" (A. WURM 1962, S. 881). Das würde manches an STILLE, dem "Altmeister der Phasenlehre" (E. WEGMANN 1952, S. 210) modifizieren, der sicherlich auch ein Vereinfacher war. Heute, etwa bei R. WALTER (1995, S. 10), gelten Auswirkungen sowohl der Cadomischen wie der Kaledonischen Orogenese weit nach Süden, wobei es von der Cadomischen Orogenese heißt, daß sie sich "Soweit heute zu erkennen ist, hat" sie "sich ... nur ein einzelnen Zonen Mitteleuropas ausgewirkt, während dazwischen Subsidenz und Sedimentation andauerten." Bei der Kaledonischen Orogenese sieht man nun "im außervaristischen Mitteleuropa die **Norddeutsch-Polnischen Kaledoniden** vor dem Südwestrand der Osteuropäischen Plattform und die kaledo-

nischen Faltenzüge des **Brabanter Massivs** und der **Ardennen**" (Hervorhebung im Original S. 10).

Gefragt wurde, ob bei Annahme orogener Phasen auch an die Gebirgshebung anschließende **morphogene**, also das gehobene Relief gestaltende **Phasen** ebenso dann einem Gleichzeitigkeitgesetz unterliegen (E. BECKSMANN 1932).

Die Abfolge der Orogenesen muß auch an der Menge der später freigelegten Tiefengesteine abzulesen sein, deshalb also in Masse der freigelegte Tiefengesteine im Gebiet der älteren Orogenesen, begrenzter im von der varistischen Orogenese geformten Gebiet und weniger in den von viel mehr Sedimenten aufgebauten Alpen. Die Alpen befänden sich dann in einem Stadium, welches Mitteleuropa im Rotliegenden erreicht war, "da die ersten plutonischen Körper", bisher im Untergrund, "gerade von der Erosion angeschnitten wurden" (A. WATZNAUER 1960, S. 63).

Wirkung der großen Orogenesen in der Erdgeschichte

Die großen, schließlich beachtliche Höhenunterschiede schaffenden, zu Hochgebirgen führenden Orogenesen und deren Abtagung sindbestimmend für vieles Geschehen in der Erdgeschichte, den wechselnden Ereignissen auf der Erdkruste. Wenn zurückgehend auf MARX 'Revolutionen' in der Menschheitsgeschichte als die 'Lokomotiven der Geschichte' genannt wurden, dann kann man das auf **die großen Orogenesen** übertragen, als **Schrittmacher in der Erdgeschichte**, und BAILY WILLIS hatte 1910 (S. 255) in einem noch zum Nachdenken anregenden Vortrag vor der Versammlung der American Association for the Advancement of Science gesagt: "It is through the sequences of unlike *effects* that we may establish a chronology, and the sequence begins with diastrophism as the initial cause and ends with evolution as the final effect." Perioden mit Orogenesen, "*of active diastrophic movement*" waren kürzer als ruhige Zeiten, aber sie setzten die Zeiteinteilung. Und fernerhin sah WILLIS 1910 (S. 248): "The periodicity of diastrophism is the fundamental fact of geographic history." **Mit den Orogenesen 'korrespondieren'** andere periodische Vorgänge, "**effects**", auf der Erdoberfläche, als da sind Erosion, Sedimentation, Klimaveränderungen, auch die Evolution der Lebewesen. Je mehr unterschiedliche Habitate existieren, desto mehr gibt es Räume mit besonderen Bedingungen, besondere 'Nischen', in denen unterschiedliche Arten sich evolutionär herausbilden können und auch müssen. Und mit Gebirgen nimmt die Zahl unterschiedlicher Nischen zu (B. WILLIS 1910, S. 253), wird also die Artendifferenzierung gefördert. Und man kann ergänzen: Das tropische Tiefland mit seinen Strömen und den begleitenden Regenwäldern ist dabei ebenfalls von Gebirgen abhängig, denn von dorthier kommt das von den Gebirgsmauern aufgefangene Wasser. Und weil

die Orogenesen aus den erdinneren 'Kräften' kommen, sind dann die vielen auf der Erdoberfläche sich abspielenden Vorgänge **vom Erdinneren her bestimmt**: "All of these processes" auf der Erdoberfläche "depend upon the initiative action of the earth's internal energy and they all are rhythmic because its action is rhythmic" (B. WILLIS 1910, S. 248), gemeint die Rhythmizität der Orogenesen. Im Erdinneren liegt als letzter Instanz, was oberirdisch geschieht.

Gibt noch einen anderen Typus der Gebirgsbildung/Orogenese: Es gibt 2 Typen: zu unterscheiden alpinotyp und germano- typ/saxonisch

Nicht alle Krustenbewegung war gleichartig gewaltig, war nicht von gleicher weiter Auswirkung. Der heutige Thüringer Wald etwa kam nach der Gestaltung seines Untergrundes in der Varistischen Gebirgsbildung erst viel später zu seiner heutigen, den alten Untergrund querenden Höhe. STILLE unterschied 1. die **alpinotype** 2. die **germanotype** oder **saxonische** Gebirgsbildung. **Alpinotyp** nannte namentlich STILLE eine Gebirgsbildung, bei der großräumig vor allem Faltungen und Deckenüberschiebungen stattfanden, wie es die Ablagerungen in Geosynklinalen traf und etwa zum Varistischen Gebirge oder den Alpen führte. Das durch eine alpinotype Orogenese verfestigte, das heißt 'konsolidierte' Gebiet, konnte bei neuer Störung wenigstens in großen Teilen nicht noch einmal gefaltet werden, wohl aber konnten während der alpinen Orogenese wohl durch in benachbarte Regionen ausgehende Einflüsse Dislokationen, also Verwerfungen, Wölbungen, grabenartige Absenkungen, zustandekommen durch Dislokationen zerbrochen oder auch weitäumigere Verbiegungen neu gestaltet werden, die Linien der späteren Mittelgebirge, der später gehobenen Rumpfgebirge, angelegt. Nur kam es eben im varistisch konsolidierten Gebiet nördlich der Gebirge der alpidischen Orogenese, in Mitteleuropa nördlich der Alpen, nicht noch einmal zu einer Orogenese im alpidischen Ausmaß. Mit dem Faltungsakt gewannen die vorher mobilen Zonen den Charakter weitgehend stabiler Zonen, verloren "also die Fähigkeit zur weiteren Bildung von Geosynklinalen und Gebirgen" (H. STILLE 1922, S. 7). "Faltung", heißt es weiter, "führt zur Erstarrung". In Übergangsgebieten, mit noch nicht voller Konsolidierung, konnte es auch Übergangserscheinungen geben. Für das, was in dem varistisch konsolidierten Mitteleuropa an Untergrundveränderung auftrat wurde der Begriff "**germanotyp**" oder in Anlehnung an STILLES Untersuchungen in Niedersachsen "**saxonisch**" verwendet. Nachdem das Wort "saxonisch" schon angewandt war, benutzte STILLE 1910 den Begriff "Saxonische Faltung" und allerdings 1920 den Begriff "germanotyp" (so bei F. LOTZE 1948, S. 321). Einunddieselbe Orogenese, so die alpine, äußerte sich also in benachbarten Gebie-

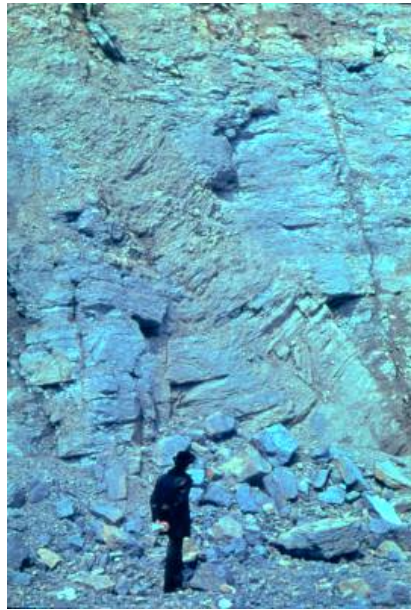


Abbildung 294: Verwerf. im Muschelkalk, Jena.

ten, womöglich mehr oder weniger gleichzeitig, unterschiedlich. In der "Tethys" also gewaltige Faltung und auch Deckenüberschiebung, erst einmal untermeerisch, dann auch Aufstieg, wohl mehrfach. Nördlich davon Bruchzonen und Schollen, aber durchaus auch hier in beschränkterem Maße eindrucksvolle Verwerfungen und Falten. Die nun im Beginn ab Ober-Kreide angesetzte

In diesen etwa 60 Millionen Jahren Tertiär formte sich geologisch das uns geläufige Europa südlich von Skandinavien, das von den varistisch gebildeten Strukturen in vielem abwich. Gerade bei den Bruchzonen, bei den Grabenbildungen etwa, war aber eine Wiederbelebung varistischer Störungen andererseits erkennbar.

STILLE begriff die saxonische Gebirgsbildung in ihrer Abhängigkeit von vorangegangenen Geschichte des Untergrundes. Vom Gesichtspunkt späteren der Plattentektonik (s. d.) muß die 'saxonische' Tektonik als '**Interplattentektonik**' gesehen werden (R. WALTER 1995, S. 22), nunmehr (Wikipedia 2018) auch auf den **Druck der Afrikanischen Platte** zurückgeführt, die sich also auch auf des Gebiet nördlich der Alpenbildung auswirkte.

STILLE hat seine Vorstellungen von Saxonischer Tektonik im Mittelgebirgsraum und in den beckenartigen Regionen zwischen den Mittelgebirgen gewonnen. Im Nordwesten davon, im "**Germanischen Becken**", gab es durch ganze Erdzeitalter hindurchgehende, von STILLE als geosynklynal bezeichnete wirkende Sedimentation mit Tausenden Metern Mächtigkeit und brachten aufgepreßte **Salzdiapire**

Abwechslung in die Schichtenfolge, mit etwa Helgoland.

Uralt oder wenigstens vor einer Orogenese konsolidierte Gebiete: Kratone oder Kratogene, Festlandsblöcke - Fennoskandia und Blöcke in Mitteleuropa

Werden weite Gebiete, gerade auch Mitteleuropa, von den Ergebnissen von Gebirgsbildungen in geologisch faßbarer Zeit bestimmt, gibt es auch alte Festlandsgebiete, "Festlandskerne", die gewiß in fernen "Einst" auch von Gebirgsbildung betroffen waren, jedoch seit dem Präkambrium und beginnenden Altpaläozoikum **keiner tektonischen Umformung mehr** ausgesetzt waren, 'starre Elemente' (S. VON BUBNOFF 1954, S. 165). VON BUBNOFF spricht von "**Block**", STILLE von "**Kraton**", der Wiener Geologie-Professor LEOPOLD KOBER von "Kratogen". Man darf die Geosynklinalmeere kaum als inselfrei sehen, bei allem langsamen Absinken ringsum.

Waren große Teile der Erde starr, also Festland geworden, gab es nach allerdings möglicherweise erst Äonen vielleicht wieder weiträumigen Umbruch, und nach diesem konnte die Gebirgsbildung erneut einsetzen. Namentlich für Europa glaubte STILLE nachgewiesen zu haben, daß nach dem 'Algonkischen Umbruch' und der damit verbundenen Zerstörung der 'Megagäa' vor allem die Landmassen Laurentia und Fennoskandia übrig geblieben waren und sich an diese sich anlehnend, in Europa an Fennoskandia im Norden. weitere Geosynklinalen nach Süden vorwärtsschreitend schrittweise neue Gebirge an die Urkontinente anfügte. Als **alte**, meist **wohl festländische Räume**, die nicht in die neben anderem zur Bildung Europas führenden Vorgänge einbezogen waren und ihre auch durch Orogenesen errungene Konsolidierung schon in sehr alten Zeiten erreichten, werden auf der Nordhalbkugel angeführt außer **Fennoskandia** der Nordkontinent Barentsia, in Asien das Angaraland, und auch gewisse Landmassen im Inneren Europas, vor allem die Böhmisches Masse. Der geologische Kern des nordamerikanischen Kontinents ist der in mehrere Teile gliederbare **Kanadische oder Laurentische Schild**, auf dem auch weitest älteste bekannte Gesteine gefunden wurden (z. T. Wikipedia 2012).

Fennoskandia erschien als größere Einheit von überall ähnlichem geologischem Bau aus vorgeschichtlichen Gesteinen, ein geologisch gekennzeichnetes Gebiet, das die "skandinavische Halbinsel, Finnland, die Kolahalbinsel und Ostkarelien" umfaßt (M. SAURAMO 1943, S. 21) und dessen ganzer Umfang deutlich wurde, als WILHELM RAMSAY (Wikipedia 2013), Helsinki, aus einer aus Schottland nach Finnland eingewanderten Familie, ab 1887 auch die geologischen Verhältnisse auf

der Finnland östlich benachbarten Halbinsel Kola und dann in Ostkarelien erforschte (P. ESKOLA 1943). Finnland war damals in Personalunion mit Rußland vereint und die grenzüberschreitende Erforschung ohne Probleme möglich, später nahezu unmöglich geworden durch das Grenzregiment der Sowjetzeiten mit der streng abgeschirmten Kola-Halbinsel. Und von W. RAMSAY wurde auch der Begriff 'Fennoskandia' geprägt. Nach RAMSAYS Darlegung: "Es sollte übrigermaßen ein geographisch so gut begrenztes Gebiet ... mit seinem besonderen geologischen Bau und seiner eigenartigen Entwicklung, seinen gemeinsamen, zusammenfassenden Namen haben" (zit von P. ESKOLA 1943, S. 9), also ein Kraton.

Allmählich in Jahrmillionen hochgestiegen sind bei Abtragung des Oberbaus **uralte Tiefengesteine** (S. VON BUBNOFF 1954), aufgeschlossen worden, "offenbart uns solche tiefen Schnitte durch ein altes, vorkambrisches Gebirge...", wurde das Gebiet ein Eldorado der Erforschung metamorpher Gesteine, sedimentär und magmatisch nicht mehr unterscheidbar. Nur randlich gab es im älteren Paläozoikum, im Kambrium und Silur flache Überflutungen und die daraus entspringen Sedimente wurden nicht verändert, was zeigt, daß auf dem Untergrund dieser Sedimente Ruhe war. So in Estland mit der durch viel verbauten Kalk geprägten Hauptstadt Tallin/Reval. Stabil blieb auch der östlich anschließende Schelf, also große Teile von Rußland, mit weich gebliebenen auch uralten Sedimenten, die eben hier nicht unter Freilegung des vergneisten Tiefbaues abgetragen wurden. So den altkambrischen blauen Tonen bei St. Petersburg. "Fennoskandia hebt sich scharf gegen die südlich liegende Russische Platte ab, mit "flachliegenden, sich über ganz Rußland hinziehenden Sedimentablagerungen" (P. ESKOLA 1943, S. 18).

Als ältestes Stück des europäischen Kontinentes gilt (2018, Internet) die Umgebung der nordostfinnischen Stadt Kirkenes, etwa 3,6 Milliarden Jahre alt.

Eine weitere solches Kraton entstand nach vorangehenden Vorgängen in den früheren Orogenesen in der Varistischen Gebirgsbildung mit der **Böhmischen Masse** mit ihren alt-paläozoischen Sedimenten, wie seit der Varistischen Orogenese hier am Ende des Devon, "bretonisch", 'vollstabil' erhalten, kaum beeinflusst von weiteren Gebirgsbildungen und der jeweiligen Ausdehnung ihrer Geosynklinalen (E. KRAUS 1959, S. 66; PH. H. KUENEN 1958) resp. Subduktionen, vor allem der alpidischen Ära.

Die Böhmische Masse ragt namentlich im Süden und Westen weit über Böhmen hinaus. Sie wurde so etwas wie ein Scharnier, an die sich Geosynklinalen/Subduktionszonen anlehnten. Inmitten der Böhmischen Masse und sie nahezu zweiteilend liegt heute das aus Kreidesandstein bestehende und auch von Tertiär überlagerte Gebiet.

Außer den Böhmische Masse sind **alte Kerne**, mit altpaläozoischen Sedimenten und Eruptivgesteinen das Französische Zentralplateau, das Brabanter Massiv und



Abbildung 295: Im Böhmischem Massiv.

die Rheinische Masse, auch inmitten der Tethys **Korsika**.

Sollte auf der einen Seite der 'Erdball' 'zusammenbrechen', so wurde also, wovon auch M. BERTRAND gesprochen hatte, ein Wachstum der Kontinente stattfinden, langperiodisch ein ganz wichtiger Vorgang (E. KRAUS 1928). Namentlich STILLE (u. a. 1920, 1955) baute das aus und etwa ERNST C. KRAUS (1928), 1924 - 1935 Ordinarius in Riga, sekundierte dem mächtig, auch eigenständig. STILLE wurde einer der führenden Tektoniker des 20. Jh. (K. KREJCI-GRAF 1950), dessen Meinung in Deutschland zeitweise nahezu führende Lehrmeinung war.

HANS STILLE: 4 große Gebirgsbildungen formen Europa

Etliches war schon bekannt, Begriffe etwa bei SUESS geschaffen, STILLE faßte erneut zusammen; **Europa außerhalb Fennoskandia** erschien als das Ergebnis von **4 großen Gebirgsbildungen**, die sich mit langen ruhigen Zeiten zwischen diesen Gebirgsbildungen von Norden nach Süden entfalteten. Und auch anderswo, in Asien war das festzustellen: Von einer Kernmasse aus "die Außenverlagerung der Geosynklinalen als der Mutterstätten der großen Faltengebirge" (E. KRAUS 1959, S. 116).



Abbildung 296: Corsica, bei Corte.

Vorkambrisch konsolidiert hatte sich demnach nach **STILLE Archaeoeuropa**, Ureuropa, zu dem Teile Nord-und Osteuropas gehören und wo später auch Orogenesen in vorkambrischer Zeit nachgewiesen wurden. Die wie sich später zeigte durch besonders alte Gesteine ausgezeichnete Kola-Halbinsel mochte jener Kern Ur-Europa sein, um den sich "schalenartig jüngere Orogene entwickelt haben" (K. R. MEHNERT 1965, S. 115). Bei jeder der folgenden 4 großen, Europa jeweils danach umgestaltenden Gebirgsbildungen kam ein beträchtliches Stück Kontinent Europa hinzu, fand eine Vergrößerung Europas statt. **STILLE** (1920, 1955) unterschied von Norden nach Süden das im Gefolge der **Assyntischen Orogenese** vor über 500 Millionen Jahren am Ende des Algonkium entstandene **Archaeo-** oder - spätere Terminologie - **Eoeuropa**. In der **Kaledonischen Gebirgsbildung**, Ordovicium und Gotlandium/Silur und Devon, wurde angefügt und vor allem konsolidierte sich und wurde seit dieser Zeit nicht wieder gefaltet **Palaeoeuropa**. Das ist England, Schottland, Norwegen. Der **Variscischen Gebirgsbildung** zu verdanken ist **Mesoeuropa**. Zu ihm gehören große Teile des deutschen Territoriums. Der bis Nordamerika reichende Nordkontinent Laurasia (E. C. KRAUS 1965) sollte am Ende des Paläozoikums durch die meridianlange Atlantikspalte jedoch zerteilt worden sein. Dann war in Europa eher Ruhe. Ergebnis der **Alpidischen Gebirgsbildung**, besonders im Tertiär, war **Neoeuropa**, das Gebiet der jungen europäischen Hochgebirge, also Pyrenäen wie Alpen, Dinarisches Gebirge, Karpathen und Gebirge weiter im Osten und Südosten, mit Karpathen, Balkan, Kaukasus, Anatolien und schließlich Himalaja.



Abbildung 297: Alpidisch gefaltet. Hallstatt.

Gemäß diesem Erdbild kam zu jeder dieser zu einem Zyklus gehörenden Gebirgsbildungen also auf Kosten des angrenzenden Ozeans neues konsolidiertes Festland hinzu, entstanden aus einer Geosynklinale. Wie der aus Schottland, aus Dundee, stammende und in Groningen lehrende PHILIP. HENRY KUENEN 1958 (S. 3) feststellte, haben viele Geologen dieses "outward growth" der Kontinente "by the addition of succesive orogenic zones" akzeptiert. Aber ein ernsthafter Einwand konnte sein, ob die Geosynklinale am Kontinentrand wirklich Ozean waren oder hier vorhandenes Festland erst kurz vor der Gebirgsbildung in die Tiefe gesunken war, also "that if the troughs became deep this was not until an advanced stage of development had been attained" (S. 3). Wie sah es also vielleicht etliche Zeit vorher doch anders aus, als daß immer nur ein Ozean bestand, wo sich eine Geosynklinale bildete? Aber wie immer sich die Angliederung der Europa bildenden sich addierenden Partien und auch die anderswo an Kontinente angegliederten Orogene nun zustandekamen, sollten diese neuen Festlandsverhältnisse nun für immer bestehen? KRAUS meinte 1928 (S. 492): "Der Schlußakt ... zur Kontinentbildung ... ist im ganzen offenbar ein endgültiger. ... Es findet also keine Rückverwandlung in ozeanische Zustände und primitive" Mischgesteine statt. Für jedenfalls sehr lange Zeiten, wenigstens für die erfaßbare Erdgeschichte, galt die mit den Gebirgsbildungen zusammenhängende Kontinentenverfestigung als irreversibel, als **Konsolidierung der oberen Erdkruste**. Ein von einer Gebirgsbildung mit umfangreicher Faltung betroffenes Gebiet sollte jedenfalls in seiner Gesamtheit nicht noch einmal umfassend gefaltet werden können. Anderserseits sollte eine 'Regenerierung' gefalteter

Räume, also eine nochmalige Einbeziehung in eine Gebirgsbildung mit Faltung wenigstens bis zu einem gewissen Grade möglich sein und komplizierte das Bild. Teile des assyntisch (R. WALTER 1995) beeinflussten Europa, das bis nach Böhmen und Süd-Frankreich reichte, wurden jedoch auch noch einmal von der kaledonischen und variscischen Orogenese gefaltet. Eine jüngere Gebirgsbildung konnte immer stark verwischen, in wie weit eine Region auch in eine der vorangegangenen Gebirgsbildungen schon einbezogen gewesen war. Die '**Böhmische Masse**' bildete wie schon erwähnt andererseits eine 'eoeuropäische Enklave' im jüngeren, erst mesoeuropäischen Faltungsbereich. Dasselbe wurde für den mittleren Schwarzwald erwogen. Die an schon bestehende Kerne durch Orogenese angegliederten Partien sollten dort an Ort und Stelle bleiben, **fest stehen**, ortsfest, "**fixiert**" sein - und die Geologen wie STILLE und jedenfalls 1928 auch KRAUS waren '**Fixisten**'. Mit Kernen, 'Kratonen', Fennoskandia etwa, begann die Gestaltung der Erdoberfläche zu Festland und alles folgende an Kontinent entstand über die sich an ihnen oder dann an den entstandenen Kontinenten randlich herausbildenden Geosynklinalen, aus deren Orogenese. Warum entstanden an den Rändern der Kontinente aber Geosynklinalen, die sich dann sogar zu hohen Gebirgen entwickelten? WEGENER mit seiner Kontinentalverschiebung wurde nicht für ernst genommen. Das Erdbild der STILLE und des KRAUS von jedenfalls 1928 und auch 1959 hatte schon seine Schwächen. Dem nach WERNER so reich gewordenem Erdbild, das in seiner Form in alle Lexika und Lehrbücher eingegangen war und mit STILLE einen gewissen Abschluß gefunden zu haben schien, stand durchaus eine weitere Umwälzung bevor, angestoßen durch WEGENER (s. d.).

Geologie, Erdgeschichtsforschung, die Vorstellung vom Werden der Erdkruste - das was also auch im 20. Jh. ein Wechsel von Hypothesen, die immerhin auf Tatsachen aufbauten, zu weiteren Beobachtungen und Überlegungen anregten und bei Problemen zu neuen Theorien anregten. Für den praktischen Geologen bedeuteten alle diese Vorstellungen, daß er ein Gerüst bekam, in das er auch seine Überlegungen etwa zur Bodenschatzsuche oder der Herausgliederung erdbebengefährdeter Regionen einbauen konnte.

Die **Erdgeschichte Europas**. an das sich an Fennoskandia im Norden nach Süden fortschreitend neue Teile angliederten, **Paläoeuropa**, **Mesoeuropa**, **Neoeuropa**, darf als noch gültig betrachtet werden und läßt sich der Auffassung von der Kontinendrift eingliedern.

Zu ergänzen: Was für Europa Fennoskandia ist, war für die **Mongolei** die **Sibirische Masse**, an die sich nach Süden infolge auch von Orogenesen immer jüngere Gesteine anschließen.



Abbildung 298: Mongolei: Nationalpark Terelch.

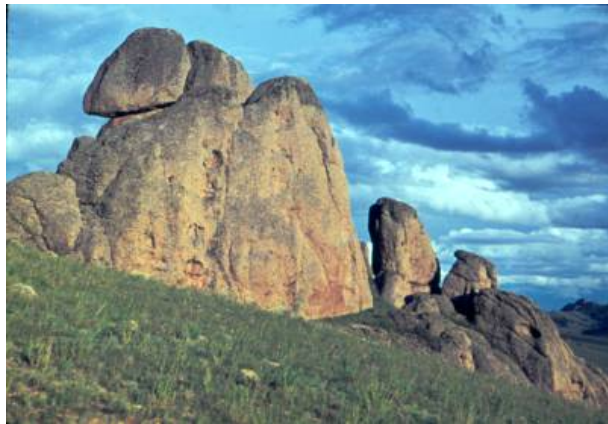


Abbildung 299: Nationalpark Terelch 1963.

Oberflächlich völlig verschwundenes Gebirge, das Vindelizische zwischen dem Binnenmeer der Trias und dem Tethysmeer

In Sachsen und Thüringen etwa ist die ehemalige Existenz des eingeebneten Varistischen Gebirges an zahlreichen oberflächennahen Aufschlüssen deutlich. Aber es kann auch geschehen, daß ein **Gebirge im Oberflächenbild** nahezu völlig **ausgelöscht** wird.

Zwischen dem Binnenmeer der 'germanischen Trias' und dem Tethysmeer machte zuerst GÜMBEL für die Triaszeit eine trennende, nirgends mehr aufgeschlossene und also im heutigen Gelände irgendwie bemerkbare Urgebirgskette aus, die er schließlich **Vindelizisches Gebirge** nannte, gelegen im Gebiet der heutigen Bayerisch-schwäbischen Hochebene und der Name in Erinnerung an eine dortige römische Provinz (R. LANG 1911, S. 218/219). Im Tertiär wurde das Gebiet von Sedimenten dieser Formation völlig verhüllt (S. 219). Aber in Albvulkanen oder im Ries, jener Vertiefung in der Alb bei Nördlingen, fanden sich aus dem Untergrund ausgeworfen Granite und Gneise, die dem in der Keuperzeit als sicher anzusehendem Gebirge zugeordnet wurden (S. 220). Durch die einst als Vulkanereignis gedeutete Ries-Katastrophe wurden also, wie GÜMBEL (1877, S. 9) spöttisch sagte, Tiefbohrungen erspart, denn der angebliche Ries-Vulkan "hat mit seiner Asche und den Bomben ... unzählige Stücke der Gesteine aus dem tiefsten Untergrunde mit emporgeschleudert, - wir finden diese Stücke in dem vulkanischen Tuff und der Trassablagerung der Riesgegend reichlich eingebettet ..." Auch wenn entgegen GÜMBELs Ansicht kein Vulkanausbruch vorliegt, sondern hier ein Meteoreinfall alles zerrüttete, der Effekt für die Erschließung des tiefen Untergrundes war der gleiche.

Sich verändernder Magmatismus im Zusammenhang mit den Phasen einer Gebirgsbildung

Im Zusammenhang mit der Gebirgsbildung sollte sich nach STILLE **nacheinander Magma verschiedener Eigenschaft** nach oben bewegen, sollte also ein **magmatischer Zyklus** bestehen. Der Magmatismus sollte dabei von der Gebirgsbildung abhängen, nicht umgekehrt. Gebirgsbildung war primär, Magmaaufstieg sekundär.

STILLE unterschied den 1. **Intialen Magmatismus** während der geosynklinalen Sedimentation, während der Sedimentation in einer Geosynklinale mit epirogener Absenkung, mit basischen Gesteinen wie etwa in Mitteleuropa dem 'grünlichen'



Abbildung 300: Diabas. Bei Saalburg.

Diabias. 2. Während er oft in mehreren Phasen verlaufenden alpinotypen Faltung gab es den **Synorogenen und nachtektonischen** Magmatismus. Das Gebiet 'konsolidierte' sich. Kennzeichnend und zu 3 überführend sind die Porphyre, in den Innensenken des Orogens. 3. Während des Aufstiegs oder auch wiederum Absenkung des neuen Gebirges und gar schon germanotyper Orogenese folgte der **Subsequente** Magmatismus. 4. Bei der endgültigen Konsolidierung, der zum 'vollkratonen' Zustand führte, kam der **Finale** Magmatismus. Der finale Magmatismus war vielerorts nicht etwa harmlos, sondern ihm gehören an die gewaltigen Lavaergüsse, auch Plateau-oder Flutbasalte genannt, in den stabilen Blöcken um den Oberer See in Kanada, die Lavaergüsse Abessiniens, des Dekkan-Plateau in Indien, des Trapps Sibiriens (S. VON BUBNOFF 1954). Mit der Zuordnung bestimmter Magmen zu bestimmten Phasen einer Orogenese waren **Tektonik**, also Gebirgsbildung, und **Magmatismus miteinander verknüpft** (O. WAGENBRETH 1999), wie einst, wenn auch dem Magma nicht mehr als die hebende Kraft in der Geologie des frühen 19. Jahrhundert zugestanden wurde. So sah man das jedenfalls bis ins 20. Jh.

Der **Diabas** resp. der mit ihm verknüpfte Pikrit ist eines der vulkanischen Gesteine, im sächsisch-thüringischen Altpaläozoikum, wohl untermeerisch ausgespielen und deshalb manchmal so eigenwillig erstarrt, sogenannte **Pillowlava oder Kissenlava**, Mit Tauchbooten wurde das am heißen Meeresgrund bei Island beobachtet.

An der '**Weißer Wand**' in **Dobis** nördlich von Wettin an der Saale fallen die zum Perm gehörenden Schichten stark ein, und wenn man davorsteht, so befindet sich links die jüngere Ablagerung, Zechstein. Nach rechts folgen kupfererz-haltiges Grauliegende und Rotliegendes.



Abbildung 301: 'Weiße Wand' Dobis, l. Zechstein, r. Rotliegendes.



Abbildung 302: Zerfallendes Gebirge, Pirin/Bulgarien.

Die Abtragung der verschwundenen Gebirge ergibt Aussagen über die einstigen Gebirge - Abtragung des Kaledonischen und Varistischen Gebirges

Auf die Orogenesen mit herausgehobenen Gebirgen folgte deren Abtragung. In den heutigen Hochgebirgen ist dieser Zerfall ebenso zu beobachten, in den schrittweisem Abgang von Felsen etwa, dem für leichtsinnige Bergsteiger gefährlichen 'Steinschlag'.

Es gibt die Ablagerung von **Abtragungs-Sedimenten** in den **Senken**. Dieses abgetragene Material besteht aus groben Geröllen, **Konglomeraten**, oder auch aus feinerkörnigem Material, aus Sandsteinen. Die Materialgröße läßt auf die Stärke der Abtragung und so gar auf die eventuelle Höhe der einstigen Gebirge schließen.

In der Höhe mag der Abtrag von grobem Material größer gewesen sein, aber es gab in größerer Höhe in den älteren Zeiten keinen Abtragungsschutz durch Vegetation und so geschah die Abtragung stärker als heute unterhalb der Vegetationsgrenze in den Hochgebirgen..

Die Abtragung des Kaledonischen Gebirges

Auf den britischen Inseln und auf Irland ist das **vom Kaledonischen Gebirge**, den "Kaledoniden", herkommende Abtragungsmaterial der "**Old Red Sandstone**" des **Devon** (A. GEIKIE 1892) und jedenfalls in Irland nach JUKES auch des Oberen Silur (A. C. RAMSAY 1871, S. 244). RAMSAY hat 1853 berichtet von der Lagerung des Old Red Sandstein auf Granit, auf metamorphosiertem Gestein, das mit der Gebirgsbildung nach oben gebracht und freigelegt worden ist. Auch fanden sich metamorphosierte Gerölle in dem Old Red. Der rote Sandstein war also eindeutig jünger als die Gebirgsbildung, und das Gebirge war bei der Ablagerung des Old Red schon weit abgetragen, wenigstens in den Mulden und Senken. Bei der Eisenbahnfahrt von London nach Edinburgh beispielsweise kann man mancherorts diesen roten Sandstein in Bahneinschnitten sehen. Wie RAMSAY (1871) auch berichtet, zeigen in dem roten Sandstein Pflanzenfossilien (S. 242, 246) **Festlandsnähe** und ebenfalls weisen die Fischreste nicht auf Meer, im unteren Old Red *Eurypterus Symondsii* (S. 243). RAMSAY sieht das Aussehen der Landschaft des Old Red auch ähnlich wie in den rezenten Seen der Kaspisenke und Zentralasiens (S. 244). Das die Rotfärbung verursachende 'Peroxid' des Eisens spräche nicht für Bildung im Meer, sondern, in der Diskussion nicht unwidersprochen (S. 256), für isolierte Inland-Gewässer (S. 241, 249). Außerhalb der Kaledoniden, also auf dem europäischen Festland, südlich der Nordeutschen Senke jedenfalls, fanden sich dieser **dem Devon angehörende** und **unter dem Carbon** liegende rote Sandstein nicht,

Gebirgsbildungen in der Erdgeschichte bestimmen den Bau der Erdkruste, auch in Mitteleuropa: Das Varistische Gebirge

Der stark gefaltete und mit Eruptivgesteinen durchsetzte Unterbau in Mitteleuropa und die darauf liegenden und nur strichweise gestörten Sedimente waren lange bekannt. Die Sedimente wurden mit einer großen Flut gedeutet, die auf die ehemalige Erdoberfläche trat, jene Erdoberfläche, die nunmehr der Unterbau ist. Später war deutlich: der Unterbau, das bis zum Untercarbon stark gefaltete Altpaläozoikum, muß ein Gebirge gewesen sein, auf dessen abgetragene Fläche wieder das Meer trat. Die Erdkruste Mitteldeutschlands und auch anderswo wird so bestimmt durch ein Grundgebirge aus gefalteten, steilgestellten, geschieferten oder



Abbildung 303: Falte Varistikum.Tegau.



Abbildung 304: Falte/Devon Möschwitz b. Plauen.

andere metamorphisierten Sedimenten oder plutonischen Intrusionen und den Oberbau aus mehr oder weniger flach liegenden Sedimenten.

In den 1880er-Jahren verband SUESS die einzelnen vom französischen Zentralplateau bis zu den Sudeten reichenden Bruchstücke "zu einem paläozoischen Kettengebirge" und nannte es "Variscisches Gebirge" nach einem alten Volk im Vogtland und der Bezeichnung 'Curia Variscorum' für die Stadt Hof in Bayern (F. KOSSMAT 1927, S. 3/4). Später schrieb man "varistisch".

In den altpaläozoischen Sedimenten im sächsischen Vogtland und in Ost-Thüringen sind, etwa im Devon, in Steinbrüchen oder an Flußhängen schönste Faltenbilder als Zeugnis der Varistischen Gebirgsbildung aufgeschlossen.

Mit der geologischen Erschließung der deutschen Staaten, in Sachsen unter CREDNER, wurden auch unter Mithilfe an Erdgeschichte interessierter Laien **viele Aufschlüsse bekannt** und wurden in **Geologischen Exkursionsführern** vor allem



Abbildung 305: Lieg. Falte Striegistal.



Abbildung 306: Sattel Kulm, Ziegenrück.



Abbildung 307: Bohlen, Schema.

die 'aufschlußreichsten' bekannt gemacht, ja wurden auch für den Schulunterricht genutzt. **Auch** das ist **ein Stück 'Geschichte der Geologie'**, die doch rasche Einführung der Formationstabelle und bleibender grundlegender Erkenntnisse in Lexika mindestens seit der Mitte des 19. Jh. mit vielen nun kaum noch genannten Autoren, im Gelände sich orientierenden Amateuren.

An wenigen Stellen ist die **Diskordanz** zwischen dem durch die Varistische Orogenese geprägtem Unterbau und dem aus Sedimenten bestehenden Oberbau **aufgeschlossen**. Das sind Anlaufpunkte der Liebhaber der Geologie und der Studierenden. Nördlich von Chemnitz beim Ortsteil Borna liegt auf dem varistisch geformtem Untergrund Jüngstes Obercarbon. Letzteres durch folgende Phase auch schräggestellt, Als großartigste einsehbare Stätte der durch die varistische Gebirgsbildung zustandegekommenen Diskordanz gilt der rechts der Saale gelegenen Steilhang des **Bohlen** südlich Saalfeld (H. WEBER 1955, S. 56/57). Auf varistisch steilgestelltem und gefalteten Devon und ganz oben nach noch tiefem Unter-Carbon liegt flach und weiß Zechstein. Was war einst zwischen dem varistisch geänderten Unterbau und dem Zechstein? Was geschah in einem doch langem Zeitraum, bevor auf das Grundgebirge das Zechsteinmeer kam? Diskordanzen kennzeichnen auch lange Lücken der Überlieferung. Im Dorfe **Schwaara** östlich von Gera liegt auf in die Varistische Orogenese einbezogenem steilem Gestein Zechstein, flacher Zechstein. Hier, östlich vom Rand des Thüringer Beckens, ist der Unterbau gegenüber dem eingesunkenen Becken weiter oben vorhanden und noch das Zechsteinmeer darüber transgrediert. Hier bei Schwaara fehlt das Rotliegende, das etwas weiter westlich vorhanden ist.

Mittelgebirge wie der Thüringer Wald sind gehobenes Grundgebirge, auf dem nur Fetzen von jenen Sedimenten liegen, welche nun den Untergrund im Thüringer Becken verhüllen.

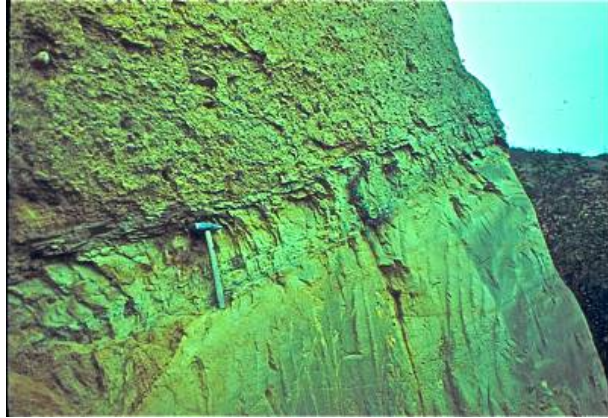


Abbildung 308: Diskordanz unter Jüngstem Obercarbon.



Abbildung 309: S Saalfeld: Bohlen.



Abbildung 310: Zechstein auf Carbon, Schwaara.



Abbildung 311: Schwaara: Zechstein/Kulm.

Die Abtragung des Varistischen Gebirges und die Ablagerung des Abtragungsmaterials

Zeitlich später und im Aussehen **vergleichbarer roter Sandstein** weiter südlich von Großbritannien, und vor allem auch in Mitteleuropa, im Ober-Carbon und Rotliegendes, **folgt der Varistischen Orogenese** und deren Abtragung. Die Abtragung begann mit der Heraushebung der Gebirge. Die oft rötlichen **”Schutt”massen** könnten auf eine nicht unbeträchtliche Höhenlage des Varistischen Gebirges verweisen. Jedoch auch jetzt schützte schon in gar nicht beträchtlicher Höhe wohl keine Vegetation vor starker Abtragung und selbst bei ausreichend Niederschlägen war auch in beschränkter Höhe Wüste, abgehoben von den auf Feuchtigkeit angewiesenen Steinkohlenwäldern im Tal. Die Höhe des ”Varistischen” Gebirges läßt sich ansonsten nicht feststellen. Der manchmal benutzte Ausdruck ”Variscische Alpen” oder gar ”Mitteleuropäische Alpen” für das zweifellos bestehende Orogen wurde auch als über das mögliche Wissen hinausgehendes Bezeichnung zurückgewiesen.

Ob auch in Mitteleuropa die Abtragung des Varistischen Gebirges ausreicht, die roten Gesteine zu erklären, ist der Ptüfung wert, denn auch in anderen Gegenden der Erde, so in der Karoo-Südafrika gibt es solche Rotfärbung und wird auf die mit dem Ausbruch des Sibirischen Trapp zurückgeführte Klimaerwärmung erklärt (s. YouTube Megavulkane),. Sie bewirkte dann auch das große Massenaussterben am Ende des Perm, auf dem Lande und im sauerstoffarm bis sauerstofffrei gewordenen



Abbildung 312: Buntsandstein auf Granit, ob. Lößlehm. N Meissen.

Meer.

Das **Abtragungsmaterial** wurde auf verschiedenstem freigelegten **Untergrund** abgelagert, auf die in die Gebirgsbildung einbezogen gewesen und an die Oberfläche gekommenen altpaläozoischen Sedimente oder gar auf Tiefengesteine, also auf Granit, oder nördlich von Meissen viel später Buntsandstein auf Biotitgranodiorit (H. D. BEEGER et al. 1965, S. 79). Granit war also trotz ihrer einstigen Tiefe im Schoße des Varistischen Gebirges nach dem weitgehenden Abschluß der Gebirgsbildung schon freigelegt.

In **Sachsen** gibt es aus der Gebirgsabtragung stammende Sedimentablagerung **schon im oberen Untercarbon**, Steinkohle-Vorkommen, und auch grobe Granitkonglomerate (K. PIETZSCH 1962). Die Sachsen betreffende Hauptfaltung der Varistischen Orogenese fällt in das obere Untercarbon, war die 'Sudetischen Phase', und jedenfalls in Sachsen dann die stärkste Faltung dann vorbei.

Es folgen, noch einmal genannt, **Sedimente des Obercarbon** und dann das "**Rotliegende**". Das Ober-Carbon und Rotliegende ist etwa in Nordwestsachsen und um Halle durchsetzt von vulkanischen Produkten, **Porphyren**. Aus der Verbreitung der Carbon- und vor allem auch der teilweise aus den Porphyren stammenden Rotliegend-Ablagerungen sind trotz späterer Veränderungen die ehemaligen Senken zu rekonstruieren. Das Rotliegende zu den darunterliegenden Sedimenten abzugrenzen unternahm in Sachsen CHRISTIAN AUGUST VON GUTBIER 1831, 1835, ein an der Wissenschaft interessierter Offizier (K. PIETZSCH 1962). Im 20. Jh. sollten die oft schwer trennbaren Ablagerungen auf dem stark gefalteten varistischen Untergrund, also (Ober-)Carbon oder dann Perm, zusammengefaßt als "**Permosiles**" bezeichnet werden. Die auf ziemlich starke Abtragung



Abbildung 313: Untercarbon b. Hainichen.



Abbildung 314: Oberstes U.-Carbon.

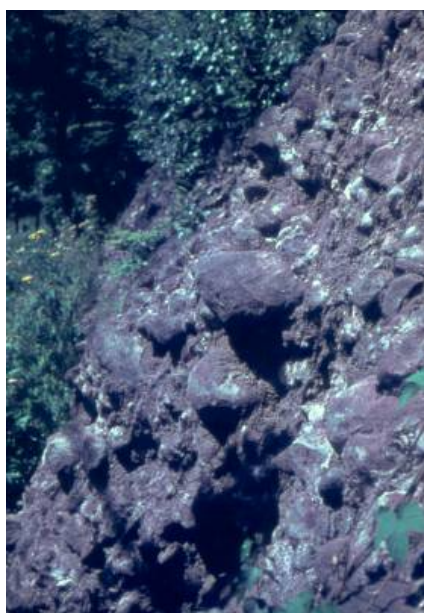


Abbildung 315: Abtrag. Varist. Gebirge.

verweisenden **Konglomerate** und Felsbrocken bestehen aus den Gesteinen, die das Varistische Gebirge, wie hoch auch immer, aufbauten. CLOOS (1951, S. 218) beschreibt anschaulich, wie er bei Eisenach seine Studenten aufforderte, die im dortigen Rotliegenden liegenden Konglomerate, die Gerölle, zu sortieren: "Da ist unter den Geröllen Granit, da ist Gneis, ist in vielen Abarten Glimmerschiefer - lauter deutliche Muster aus dem bunten Angebot der steinernen Erde." Und wie weit waren die Gerölle transportiert worden? Ihr Abtragungsort: "Weit kann er nicht entfernt sein, da die Stücke noch die Kanten der Felsen tragen, aus denen Verwitterung sie gelöst." In Mittelsachsen und im Tharandter Grund bei Hainsberg zwischen Dresden und Freiberg gibt es großartige Beispiele für abgetragenes Varistisches Gebirge.

Wie VON FREYBERG (1935, S. 194) feststellte, greifen die Konglomerate des Ober-Rotliegenden, also nach der Saalischen Phase der Varistischen Orogene se über manche Ränder des Unter-Rotliegenden hinweg und es soll sich dabei nicht nur um eine Neubelebung der Abtragung handeln, sondern infolge trockeneren Klimas um einen langsameren Abtransport, erscheint auch eine geringere Sortierung des Schuttes als im Unter-Rotliegenden, gibt es also vielfach Fanglomerate (s. d.).

Nördlich von Meißen liegt der in Sachsen schwach ausgebildete und nach Osten ausklingende **Buntsandstein**, Unterer Buntsandstein, **auf Biotigranodiorit** (H. D. BEEGER et al. 1965, S. 79). Lag unter ihm einst noch Rotliegendes und wurde



Abbildung 316: Oberstes U.Carbon.Poppendorf.



Abbildung 317: Rotlieg. Konglomerate Hainsberg.



Abbildung 318: Rotliegendes. Konglomerat, Hainsbg..



Abbildung 319: Ayers Rock, Australien.

dann wieder fortgeführt und dann erst der Granodiorit frei? Das ist ebensowenig auszumachen wie das, was vielleicht einmal über dem Buntsandstein lag und abgetragen wurde, bevor Löß hinaufgeweht wurde.

Aus den die **Konglomerate** bildenden Gesteinen kann bei bestehenden regionalen Gesteinsunterschieden versucht werden die **Herkunft abzuleiten**. So, ob abgetragenes Gestein von Süden her oder vom Norden aus dem Gebiet des heutigen Sächsischen Granulitgebirges stammt, denn in diesem Granulitgebiet könnten die Höhen größer gewesen sein als im südlichen heutigen Sachsen (K. PIETZSCH 1962). Sind etwa Granit und Gneis in den Konglomeraten enthalten, dann zeigt dies, daß diese Tiefengesteine mit der Hebung des Varistischen Gebirges schon an die Oberfläche gebracht waren und damit der Abtragung unterlagen.

Eine gewisse Vorstellung vom Rotliegenden kann wohl auch in **Zentral-Australien** gewinnen, denn die roten verfestigten Sandsteine und Konglomerate des Ayers Rock/Uluru und der Olga-Felsen sind Abtragungsmassen eines alten Gebirges, an dessen Stelle auch vorher schon andere Orogenesen gab und so die Sedimente schon etliches an Schicksal hinter sich haben. Der Ayers Rock/Uluru ist kein kristalliner Monolith (Wikipedia 2013).

KOSSMATs und SUESS jr. Unterscheidung von Regionen des Varistikum

Gedanken zum Varistischen Gebirge lieferte dann vor allem FRANZ KOSSMAT, der aus Österreich, einem Land der Alpen, kam und in Sachsen nun auf ein anderes, wenn auch vergangenes Gebirge stieß, also durchaus weiter Gebirgsgeologe bleiben konnte. Der 1871 in Wien geborene KOSSMAT war in Wien und ab 1911 in Graz



Abbildung 320: Olga-Felsen, Australien.

Professor, wurde 1913 Professor an der Universität Leipzig. Im Ersten Weltkrieg war er Kriegsgeologe auf dem Balkan und in Lille. Zunehmende Gehbehinderung ab 1928 zwangen ihn 1934 zum vorzeitigen Rücktritt von der Leipziger Professor und er starb am 1. Dezember 1938 mit 67 Jahren (K. H. SCHEUMANN 1939, G. ZIRNSTEIN 2015),

KOSSMAT wie F. E. SUESS haben in Mitteleuropa den Gesamtbau von Nordwest nach Südost betrachtet und in dem von der Varistischen Orogenese klar erfaßten Mitteleuropa 1927 **3** oder auch **5** in im wesentlichen Südwest-Nordost-Richtung verlaufenden Zonen)unterschieden, die von der Varistischen Orogenese in unterschiedlicher Weise betroffen waren, unterschiedliche Gesteinausbildung aufweisen und die Ereignisse besser verstehen lassen. KOSSMAT benannte 1927 (S. 6) eine nordwestliche äußere Zone "Rhenohercynische Zone". Nach Südost folgt der von KOSSMAT "Saxothuringische Zone" benannte Streifen. An sie folgt südöstlich die von F. E. SUESS als "Moldanubische Region" benannte Zone. Latinisiert gingen die Termini dieser Teilregionen des Varistischen Gebirges in die Literatur ein mit **Rhenohercynikum**, **Saxothuringikum**, **Moldanubikum**. Neben einer weiteren Außenzone wurde auch an einen noch weiter südöstlich liegenden 'paläodinarischen Gürtel' gedacht.

1. Das **Rhenohercynikum** erscheint im westlichen Teil mit nach Norden über den Kohlegürtel überschobenen gefalteten Sedimenten aus Devon und Carbon und dem ungestörten Kohlegürtel, also einer kontinentalen Senke (J. H. F. UMBGROVE 1942, S. 39) ostwärts davon. Teil des Rhenohercynikum ist auch das Engtal am Mittelrhein. 2. Das **Saxothuringikum** ist gekennzeichnet durch vor allem metamorphosierte altpaläozoische Sedimente wie Silur, Devon und Plutongesteine, große 'Granitbatholithe' (S. 20). 3. Zum **Moldanubikum**, mit auch vorva-



Abbildung 321: KOSSMAT. Geol. Inst. Leipzig.

ristischen Kristallingesteinen, teilweise stark metamorphosierten Sedimenten und "von riesigen Granitmassen durchsetzt", gehören neben dem Böhmischem Massiv, Schwarzwald, Vogesen. Das Moldanubikum gilt als die "Kernpartie des varistischen Gebirges" (F. KOSSMAT 1927, S. 35).

KOSSMAT beschäftigte, inwieweit dieser Bau des Varistischen Gebirges sich in anderen Gebirgen, auch den jüngeren der Alpidischen Orogenese wiederholt und sieht Ansätze dazu (S. 37).

Die Sättel und Mulden im heutigen geologischen Bau des mittleren Mitteleuropas - im Saxothuringikum etwa von Thüringen und Sachsen

Die Obercarbon-Rotliegend-Ablagerungen weisen auch bei Berücksichtigung späterer Dislokationen auf die Sättel und Mulden des Varistischen Gebirges hin, denn in den Mulden konnte Rotliegendes zur Ablagerung kommen und sich sogar Kohle bilden. Erst das Zechstein-Meer rückte über die weitgehend eingeebnete Oberfläche hinweg, und Zechstein auf dem Liegenden bis einschließlich Rotliegendes bildet die entscheidende Diskordanz in Mitteleuropa (D. HENNINGSEN et al. 2002). Mit dem **Zechsteinmeer** beginnt ein ganz **neues Kapitel in der mitteldeutschen Erdgeschichte**. Auch dort ging die Zeit mit Ereignissen natürlich weiter, wo das

Zechstein-Meer nicht hinreichte und wo in der Randzone des Zechsteinmeeres von Evaporiten sich nur der Gips abschied. Wie KOSSMAT (1925, S. 78, Fußnote) meinte, reichte die Verlandung des Rotliegenden nach Westen weit bis in den Mittelatlantik - den er also als damals bestehend ansah - und die "ozeanischen Regenwinde erreichten Mitteleuropa nicht", das "binnenländische Wasserbecken der Zechsteinzeit war von heißen Trockengebieten umgeben und einer starken Verdunstung bei minimalem Wasserzufluß ausgesetzt."

Die schließlich vom Zechstein-Meer überfluteten, aber ihm vorangegangenen Sättel und Mulden und auch die vom Zechstein freigebliebenen Sättel und Mulden in dem Thüringen benachbarten Sachsen bestimmen noch viel vom geologischen Bau in Mitteldeutschland. Die aus der Varistischen Orogenese hervorgehenden Sättel und Mulden strichen in Thüringen und Sachsen von Südwest nach Nordosten. Auch wenn etwa der heutige Thüringer Wald nahezu quer zu dieser Richtung liegt, hercynisch streichend. Wandert man von Nord-West, von der Wartburg her, auf dem Kamm des viel später herausgehobenen und den Untergrund entblößenden Thüringer Waldes nach Süd-Osten, so quert man die aus der Varistischen Orogenese stammenden Sättel und Mulden und kann das an den unterschiedlichen gequerten Gesteinen am Rennsteig ablesen. In diesem Bereich des von KOSSMAT 1927 "Saxothuringikum" genannten zentralen Teils des ehemaligen Varistischen Gebirges lassen sich auf den Höhen des Thüringer Waldes erkennen: die **Eisenacher Mulde**, der **Ruhlaer Sattel**, mit dem Gerberstein, die **Oberhöfer Mulde**, der **Schwarzburger Sattel**, auch die **Ziegenrücken Mulde** oder **Ostthüringer Hauptmulde** mit ihrem Kulm, der **Ostthüringer Hauptsattel** oder Bergaer Sattel. Etwa an der Wartburg herrscht Rotliegendes. Im Gebiet des einstigen Ruhlaer Sattel sind die einst in der Tiefe intrudierten Granite heute auf den Höhen des Thüringer Waldes aufgeschlossen. In der Ziegenrücken Mulde findet sich das jüngere Carbon. Im Thüringer Becken sind diese Sättel und Mulden von späteren Ablagerungen verdeckt, setzen sich im Untergrund fort. In **Sachsen** (K. PIETZSCH 1951, 1962) sind diese Sättel und Mulden gegenüber denen in Thüringen 'sigmoidal' gebogen, liegen also nicht in der gleichen Richtung und wurden auch durch Querstrukturen unterbrochen. Die Vogtländische Mulde beziehungsweise das **Erzgebirgische Becken** mit Obercarbon und Rotliegendem enthalten resp. enthielten sogar Steinkohlen, die des allerdings ausgekohlen Zwickauer und Stolberger Reviers. Das Sächsische **Granulitgebirge** ist abgebogene Fortsetzung des Ostthüringer Hauptsattels. Diese in Mittelsachsen liegende, etwa 300 m hohe und an der Oberfläche flach gewordene Aufwölbung, etwa 44 km lang und in der größten Breite 17 km breit, gibt besonders interessante, in die Tiefen des Varistischen Gebirges eingedrungene und auch metamorphosierende Gesteine frei, eben vor allem den Granulit, und zog trotz seiner schwer auflösbaren Fragen sächsische Geologen in besonderem Maße an, "in der geologischen und gesteinskundlichen

Literatur zu großer Berühmtheit" 'gelangt' (F. KOSSMAT 1925, S. 28). Den Termin 'Granulitgebirge' für die bis etwa über 300 m hochliegenden Aufwölbung im mittleren Sachsen benutzte NAUMANN übrigens als erster (O. WAGENBRETH 1979 b). Die wenig eindrucksvolle wellige Hochfläche des Sächsischen Granulitgebirges ist von Löß und anderen 'Diluvialablagerungen' und selbst Tertiärresten bedeckt, ist aber eindrucksvoll in den "steil und etwa bis 100 m tief eingeschnittenen Tälern der Mulde, der Zschopau, der Chemnitz" (F. KOSSMAT 1925, S. 28). Ein Wall von durch den Granulit metamorphosierten Schiefer sollte durch den Aufstieg des Granulit seine Metamorphose erfahren haben (F. ETZOLD 1914) und ist wegen seiner größeren Härte in der Landschaft herauspräpariert. Nördlich vom Granulitgebirge liegt der Ziegenrücken Mulde entsprechend die **Nordwestsächsische Mulde** mit ihrem Rotliegenden und dessen Porphyren. Zu dem nördlich folgenden, dem Schwarzburger Sattel entsprechenden **Nordsächsische Sattel** gehören die einst abgebauten und nur in einem aufgelassenen Steinbruch noch schlecht sichtbaren Grauwacken im westlichen Leipzig, im Stadtteil Zschocher, Sachsens älteste Gesteine (R. GLÄSEL 1955, S. 4/5). Der "bereits" von CREDNER erkannte Nordsächsische Sattel (F. KOSSMAT 1925, S. 117) in seinem Südostabbruch findet sich dann im heute auf 314 m herausgehobenen **Collm**, 'Collmburg' mit quarzitischen Grauwacken, Ordoviciun oder diskutiert gar Ober-Cambrium, und wird fortgesetzt nach Westen mit den Höhen um Oschatz und noch weiter. Was geschah mit dem Nordsächsischen Sattel seit seiner Entstehung bis heute, denn in der heutigen Gestalt konnte er kaum durch die weiteren Jahrmillionen kommen? Wurde er überdeckt? Von was? Von Gletschern umflossen? Wann wurde er wieder herauspräpariert?

Die Alpidische Orogenese - Die Hochgebirge der heutigen Erde entstehen

Am frischesten wirken in Faltung und Schichtschrägstellung die in der **Alpidischen Orogenese** entstandenen und noch eindeutig sichtbar als Gebirge herausgehobenen Pyrenäen, Alpen, die Karpathen und weiter über den Kaukasus und die zentrasiatischen Hochgebirge mit besonders dem Himalaja und dazu auch im nordwestlichen Afrika mit dem alpidischen Atlas-Gebirge. Für die Alpen im engeren Sinne gab es "schnelle Auffaltungen in kurzer Zeit" an der Wende von Kreide und Tertiär, im Ende des Miocän, nach der Molassezeit (H. STILLE 1919), also noch in relativ junger Zeit.

Im Alpenbereich kam es in der Spätphase zu den das Miozän mit betreffenden **Faltungen im Schweizer Jura**, eine Landschaft, die ihren Faltenbau in den Jura-Schichten teilweise besonders eindrucksvoll zeigt. Das Tethysmeer vor den



Abbildung 322: Nordsächsischer Sattel: Collm.



Abbildung 323: Alpen Königssee.



Abbildung 324: Faltenjura Schweiz Gänsbrunnen.



Abbildung 325: Schweizer Jura Gänsbrunnen.

kristallinen Sockeln von Vogesen und Schwarzwald muß hier flach gewesen sein, bei seiner Senkung waren Anhydrit und Steinsalz gebildet worden und der kristalline Sockel unter diesen blieb ungefaltete im Unterschied zu den darüberliegenden Jura-Schichten (T. HEROLD 1997, Wikipedia 2013).

Für den **Himalaja** nahm MEDLICOTT (A. GROUT 2004) 1864 den Beginn der Bildung nicht vor dem Tertiär an. Im Hochland von Tibet gab es starke Hebung vor 4 - 5. Millionen Jahren und erreichte die heutige Höhe vor 1,7 Millionen Jahren (Internet 2018). Als eindrucksvoll erscheint auch der **Kaukasus** mit einigen erloschenen Vulkanen, vor allem Elbrus mit 5642 m und Kasbek mit 5034 m..

Nordwest-Afrika fand mit dem **Atlas-Gebirge** Anschluß an das südlicher gelegene präkambrische und unterkambrische Afrika mit dem noch hierher gehörenden



Abbildung 326: Zentraler W-Kaukasus.



Abbildung 327: Hoch-W-Kaukasus.



Abbildung 328: Antiatlas. Tafraoute.



Abbildung 329: Hochatlas, S Marrakesch.

aus anderem, uralten Material aufgebauten Antiatlas. In das mehrkettigen Atlas-Gebirge, 'Kleinafrika' (E. KRAUS 1959, S. 72), das bis 4165 m ansteigt, sind allerdings auch altpaläozoische Gesteine, Silur und Devon, einbezogen (Wikipedia 2013 u. a. Internet).

Als das **jüngste** Hochgebirge der Erde sind die südamerikanischen Anden, die **Kordilleren Südamerikas**, anzusehen. Als junges Gebirge gegenüber dem älteren Parimagebirge im Orinocogebiet sah sie der Südamerika-Reisende HERMANN KARSTEN (K. MÄGDEFRAU 1977). OCHSENIUS setzte ihre Hebung erst in quartärer Zeit an (G. STEINMANN 1922, S. 1). GUSTAV STEINMANN war 1884 am Cerro de Potosi und damit in über 4000 m Höhe gewesen und dort wieder 1903. Hier waren in den Jahren dazwischen fossile Pflanzenreste bekannt gewor-

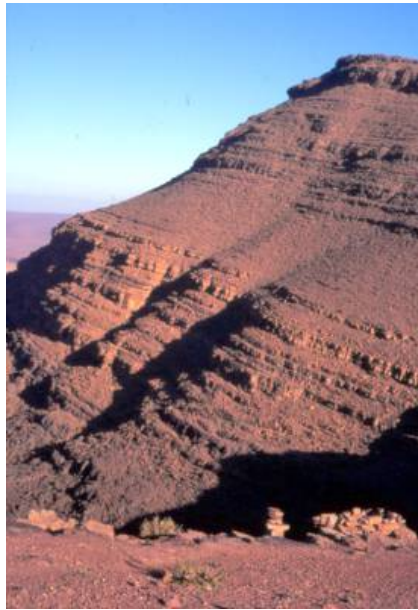


Abbildung 330: Atlas. S-Marokko.

den und STEINMANN sammelte solche in "den feinen verhärteten Tuffen" (S. 4). Und es fanden andere in etwa 4400 m Meerestiere, so die Brachiopodengattung *Discinisia*, die nun an der Pazifikküste Südamerikas vertreten ist und fossil bis zum Miozän zurückdatiert werden könne (S.3). Die bis 1922 bestimmbaren 62 fossilen Pflanzenarten von 82 Arten ließen sich 54 heute in Südamerika lebenden Gattungen zuordnen, Pflanzen "von ausgesprochen modernem Charakter und mit den Kennzeichen eines warmen Klimas ..." Aber wie alt waren diese Pflanzen angesichts wirklich der geringerfügigeren Veränderungen der Pflanzen in den Tropen, die schon für recht junge Hebungen zeugten, "im Laufe der jüngeren Tertiär- oder Tertiärzeit ... aber kaum viel höher als zwischen 1000 - 2000 m ..." und diese Annahme "notgedrungen" (S.1). Bewies Potosi bestenfalls einen lokalen Aufstieg? Im nördlichen Peru fanden sich in über 3500 m Höhe "etwa 5 m mächtige Braunkohlen unter Bedeckung von vulkanischen Tuffen ..." (S. 3). Aus den Meerestiere konnte man ableiten "den bündigen Beweis, daß das Meer noch zur jüngeren Tertiärzeit das Gebiet des bolivianischen Hochplateaus bedeckt hätte, und daß die Kordillere seit dieser Zeit um den gewaltigen Betrag von rund 4400 m gehoben worden wäre" (S. 3). Die Faltung war wie auch bei STILLE in anderen Regionen festgestellt worden war das eine und der Aufstieg trat danach dazu, oder wie STEINMANN aus den Befunden in Südamerika 1922 ablas: "Wahrscheinlich ist mit der Fortdauer der Faltung aber auch ein epirogenetisches Aufsteigen Hand in Hand gegangen, das auch noch während der Quartärzeit angedauert haben dürfte" (S. 7). Das ganze Südamerika hat sich dabei neu gestaltet. Mit dem **Aufstieg der Anden** wurden



Abbildung 331: Aufwölbung Ettersberg.

große **Massen** nach dem Osten **abgeschwemmt** und **entstand** hier der Tiefland von **Amazonien** mit seinen Regenwäldern und seiner Biodiversität (C. HOORN et al. 2010). Das bergige Ost-Brasilien ist viel artenärmer (S. 931).

Während der Alpidischen Orogenese gibt es auch die Saxo-nische Orogenese - Mitteleuropa wird erneut gestaltet

Auf den konsolidierten Teilen, im mittleren Europa die des ehemaligen Varistischen Gebirges, die auch abgesenkt und überflutet werden konnten, gab es dann **inur noch begrenzte Faltungen**, gab aber ein **Zerbrechen des Gebietes in Schollen**, die schließlich **auch aufsteigen und schräggestellt** werden konnten. Aber etwa in der mittleren Keuperzeit, also der dritten Abteilung der Trias, war anzunehmen, daß es gab "mit Ausnahme des südlichen Teiles des Bayrisch-böhmischen Waldes" mit dem die mitteleuropäische Trias vom Tethysmeer trennenden Vindelizischen Gebirge "kein deutsches Mittelgebirge" (R. LANG 1911, S. 258). Etwa in dem ziemlich flachen **Thüringer Becken** zwischen den später herausgehobenen größeren Schollen Thüringer Wald im Süden und Harz im Norden gibt etliche **herzynisch streichende Störungen und Aufwölbungen**. Es gibt durchaus auch eindruckvolle Bilder von Störungen in diesen Zonen. Inmitten jüngeren Gesteins erhebt sich Muschelkalk nördlich von Weimar am Ettersberg heraus.

Höher ragt empor der Kyffhäuser. Von NW nach SO, also herzynisch, zieht sich die **Finne-Störung**. Bei Bad Sulza quert sie die Bahnstrecke Camburg - Naumburg.

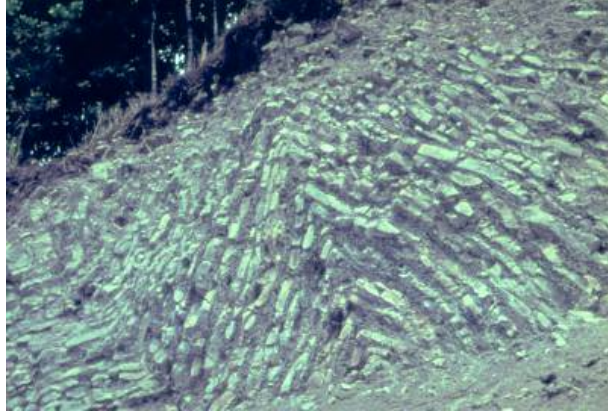


Abbildung 332: Spitze Falte. Ettersberg.

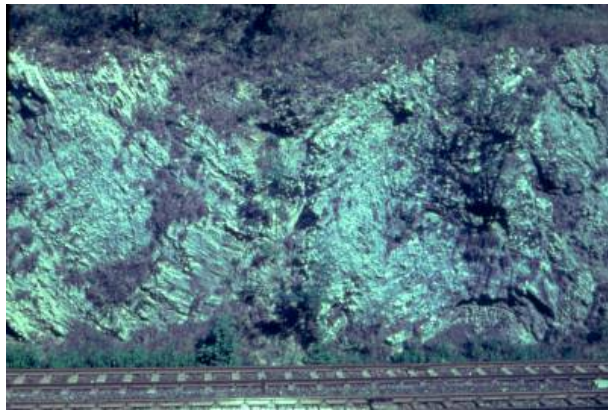


Abbildung 333: Finne-Störung. Bad Sulza.

Grabenartige Absenkungen gibt es bei Schlotheim im Norden und etwa an der Leuchtenburg bei Kahla.

Liegende Falten und die Annahme weiter Überschiebungen - Decken-Theorie

Eine erste größere Zusammenschau des Alpenbaues lieferte 1861 GÜMBEL, der aber eigentlich nur die Faltung und nur etwas Überschiebungen kannte und zeichnete (M. RICHTER 1948).

Falten pressen die Gesteine auf einen engeren Raum zusammen. Auf 2/3 ihrer ursprünglichen Breite wurden nach Schätzung die Gesteine des Schweizer Jura zusammengeschoben (s. H. STILLE 1922). STILLE schätzte 1913 (S. 22) den Zusammenschub der Gesteine im Raum der Glarner Alpen auf ein Sechstel, auf ein Zehntel ihrer einstigen Entfernung wären die Gesteine am Nord- und Südportale des Simplon-Tunnels genähert. Diese Faltung mußte dabei gemäß STILLES Ansicht 1922 (u. a.) zur Heraushebung des betroffenen Krustenteils, etwa aus einer Geosynklinale, führen.

Aber Faltung an Ort und Stelle sollte das Zusammenstauchen allein nicht erklären. Die Alpengeologie, aber auch die Erklärung der Herkunft von fremdartigen großen Gesteinspaketen anderswo, wurde nach 1900 bestimmt durch die Vorstellung von großen **Überschiebungen** von Gesteinsmaterial, von **„Decken“**, auf jüngeres Material, von der sogar als weit anzunehmenden Bewegung von **„reliefüberschobenen Massen“**, auf das Vorland. In welcher Tiefe müßte man sich das vorstellen? Überhaupt in der Tiefe? Wie sich in den Alpen zeigte, zitiert bei MAX RICHTER 1948 (S. 166). „Reliefüberschiebungen gehen über eine durch Abtragung geschaffene Landoberfläche hinweg“ und an einer Region im Salzkammergut: „die Oberkreide und das ältere Eozän sind also erosiv entfernt worden, bevor die Kalkalpen über dieses Gebiet hinwegglitten.“ Und in welchem Niveau lag „dieses Gebiet“?

Die Deckenüberschiebungen waren lange währendes Diskusionsthema, denn „Im Gegensatz zum Deckenbau war die Erscheinung der Faltung irdischer Sedimente eigentlich nie ein Problem“ (H. CLOOS 1940, S. 116), aber die Überschiebungen eben doch. Wie fest oder wenigstens ein Kontinuum mußte das Material in der Tiefe schon gewesen sein, um als Ganzes die Überschiebung zu überstehen, waren „Tafeln oder Pakete von Schichten, die schon längst fertig und fest waren“, ehe „sie von ihrer Unterlage gelöst“ wurden (H. CLOOS 1940, S. 114)? Mit der Heraushebung der Regionen mit solchen Decken wurden diese Überschiebungen an der Erdoberfläche sichtbar. In den Alpen sah man älteres verschobenes Gesteinsmaterial, das jüngere Gesteine überdeckt, „Decken“ bildet. Man sprach von **„Deckenüberschiebung“**.

Die Deutung der Altersstellung der Überschiebung war nicht leicht. Wenn Falten ausgewalzt werden, dann werden eben ältere Sedimente über jüngere geschoben, und das sollte auch über größere Entfernung geschehen sein. Das sprach für Seitendruck: "Wir müssen uns vielmehr in den Alpen von der naheliegenden Vorstellung eines Emporwachsens der einzelnen Berge und Bergketten ganz frei machen. Ihr Bau zeigt seitliche Bewegung. Erst später wurde das Ganze herausgehoben ..." (H. CLOOS 1940, S. 115) Eine Frage war immer, **wie weit** waren in der Horizontalen **riesige Massen losgelöst und überschoben** worden, denn es schien schließlich, daß manche 'Deckschollen' nicht mehr mit ihrem Herkunftsgebiet zusammenhängen, sie "**wurzellos**" sind .

Die Vorstellung von Überschiebungen, "Decken", setzte sich erst gegen manchen, nicht unberechtigten Widerstand durch und hat etliche Geologen im späten 19. und dann dem 20. Jh. viel beschäftigt. Den Anhängern der "**Wandertektonik**", die also weite Überschiebungen annahmen, standen lange jene, die das nicht glauben anerkennen zu können, die Anhänger der "**gebundenen Tektonik**" gegenüber (F. KOSSMAT 1931). War die Überschiebung nun höchster Ausdruck der Schrumpfung der Erdkruste oder widersprach sie der Kontrakions-(Schrumpfungs-)Theorie eher (S. VON BUBNOFF 1954, S. 10)? Aber es gab auch innerhalb jener, welche Überschiebungen anerkannten Meinungsverschiedenheiten über deren Ausmaß, etwa DIEMERS (A. KIESLINGER 1928) Ablehnung nur weiter Verfrachtungen.

Hatte VON BUCH noch an die Hebung senkrecht von unten und einen daraus hervorgehenden symmetrischen Gebirgsbau gedacht, so erkannte namentlich SUESS, daß die Gebirge nicht symmetrisch gebaut sind. Das ließ auf **Druck von einer Seite** schließen ließ, bei den Alpen von Süden nach Norden, was also die schon vor SUESS konstatierten **Überschiebungen in der Horizontalen denkbar** machte. Und, um es vorweg zu nehmen, was in gewissem Maße auch schon der Plattentektonik des 20. Jh. etwas nahekam .

Beschrieben wurde eine gewaltige Überschiebung schon 1841 durch den Schweizer ARNOLD ESCHER VON DER LINTH in seinen Erläuterungen der geologischen Karte von Glarus, die Glarner Überschiebung. Es sind "Falten, die auf viele Stunden Länge die Gipfel mit den ältesten Felsarten krönen, während ihre Masse und ihr Fuss aus den jüngsten bestehen" (A. HEIM 1872-73, S. 364).

Führend in der Alpengeologie war etliche Zeit ALBERT HEIM (M. BROCKMANN-JEROSCH et al. 1952). Sohn des Inhabers eines kleinen Bankgeschäftes in Zürich, studierte er in Zürich und gewann die Freundschaft von ARNOLD ESCHER VON DER LINTH. HEIM studierte dann ab Herbst 1869 an der Universität und Bergbauschule in Berlin, etwa bei dem Erforscher der Gesteinsmetamorphose ROTH,

reiste, wurde 1871 im Alter von 22 Jahren jüngster Privatdozent an der Universität und am Eidgenössischen Polytechnikum in Zürich. Schon 1872 wurde HEIM als Nachfolger ESCHERs Professor für technische und allgemeine Geologie in Zürich. lieferte auf der Grundlage dieser Annahme ein Bild vom Bau des Säntis, vorge-tragen etwa in Luzern 1905 auf der Sitzung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft (F. WAHNSCHAFTE 1905).

Was zunächst bevorzugt in den Alpen festgestellt wurde und zwar in vertikalen Schichten wurde dann auch in den viel älteren Gesteinen resp. Gesteinspaketen aus dem Varistischen Gebirge gesehen. Auch tief im Untergrund der Varistischen Orogenese gab es jene offensichtlich oft weiten Materialverschiebungen und sind nun auch an oder näher der heutigen Erdoberfläche freigelegt.

Was für die Alpen gelten sollte, war in den Regionen früherer als der alpidi-schen Orogenese durch manche Anomalien schon vorhergesehen, dann auch ge-sucht worden und solche Befunde etwa im belgischen Kohlebergbau halfen wieder-um dem Verstehen der Alpengeologen. Von Schottland und Skandinavien gab es Berichte von Überlagerung fossilführender Schichten durch "metamorphes, kristal-lines Grundgebirge" (F. KOSSMAT 1931, S. 577), also **dem älteren auf dem jüngeren**.

1861 hatte der führende bayerische Geologe GÜMBEL gemeint, daß die Münchberger Gneismasse an den Rändern auf das Vorland überschoben wurde (A. WURM 1948), damit allerdings keine weiträumige Verschiebung behauptet .

Im Jahre 1880 stellte J. GOSSELET im südbelgischen Kohlengebirge bei Na-mur erhebliche Überschiebungen vor-carbonischer Schichten über ebenfalls gefal-tete carbonische Sedimente fest. Es gab also **Kohle**, 'produktives Carbon'. un-ter keine Kohle führenden älteren Gesteinen. 1883 erweiterte den Gedanken von Überschiebungen wesentlich der französische Geologe MARCEL-ALEXANDRE BERTRAND (K. HÖLDER 1960, O. WILCKENS 1909)). Geboren 1847 in Paris als Sohn eines Mathematikers, arbeitete er nach der Bildungszeit als Bergingenieur seit 1878 an der geologischen Landesaufnahme in Paris und wurde 1886 Professor der Geologie an der Ecole des Mines in Paris. Er war Vater von 7 Töchtern, starb nach langem Gehirnleiden am 13 Februar 1907. 'Wurzellos übereinanderruhende Überschiebungsmassen' wies er, veröffentlicht 1884, nach eingehenden Studien in der Provence nach. BERTRAND war dankbar gegenüber SUESS wegen des-sen Vorstellung vom Seitenschub bei der Gebirgsbildung, was BERTRAND zu seinen Vorstellungen führte. Darauf bauen dann die Schweizer Geologen HANS SCHARDT und MAURICE LUGEON auf (H. SCHARDT 1906) für die Alpen oder auch die Tatra. Eingehende Studien der Gesteinsfolgen, eingehende Kartie-rung etwa in den Alpen, mußte die Belege erbringen.

SCHARDT seit 1897 Professor in Neuenburg, seit 1911 in Zürich, hatte 1897 (1906, S. 308), in Engelberg über den merkwürdigen Bau der 'sogenannten' westlichen Voralpen (Chablais und Stockhornzone) gesprochen und erklärt, daß dieser "sowohl durch fazielle wie auch durch tektonische Eigenschaften derart von den als dessen Fortsetzung geltenden Alpentteilen absticht, dass dieses ganze Gebiet als eine selber wieder gefaltete Überschiebungsdecke aufzufassen sei". An ihrem Nordwestrande überlagere diese Decke überall die miocänen und oligocänen Gebilde des schweizerischen Molassebeckens, etwa 20 Kilometer über den normalen Alpenrand mit helvetischer Fazies hinausgreifend. Südöstlich tauchen die Hochalpen mit ganz anderer Fazies-Entwicklung deutlichst unter diese Decke. LUGEON, von 1898 bis 1940 Professor der Geologie in Lausanne, sprach nach seinen Untersuchungen in den Westalpen über Decken-Überschiebungen am 17. Februar 1902 in Paris und konnte eine Mehrheit europäischer Geologen überzeugen unterstützt auch von TERMIER. Wie SCHARDT (1906, S. 312) schrieb, besteht das ganze nördliche Alpengebiet, ebenso die Ostalpen, "aus übereinander getürmten Faltendecken ..., deren jetzige Lagerstätte oft weit vom Wurzelgebiet entfernt ist". Diese Bewegungen erschienen als von Süden nach Norden gerichtet, und die südlichen Kalkalpen erscheinen deshalb auch viel einfacher gebaut als die nördlichen Kalkalpen. Für die **Ostalpen** wies Decken in eingehenden Kartierungsarbeiten und mit zahlreichen Hochgebirgstouren nach OTTO AMPFERER (H. W. FLÜGEL 2004, W. QUENSTEDT 1953), seit 1901 im Dienste der k. und k. Geologischen Reichsanstalt in Wien, seit 1935 der Direktor der nunmehr in 'Bundesanstalt' umbenannten Einrichtung. Im östlichen Karwendelgebirge kartierte AMPFERER (1942) **zwei Deckenschübe**, von denen die eine älter ist, die Lechtal-Decke, und dann eine jüngere, die Inntal-Decke, darübergeschoben wurde. Beide rückten dann auch gemeinsam vor, alles wegen der Abtragung schwer zu ermitteln. VON BUBNOFF betonte (1921) von den überschobenen Gesteinspaketen, die, "unmöglich an Ort und Stelle abgelagert" 'schwammen' auf fremder Unterlage, "waren wurzellos oder allochthon" (S. 15) und durch ihr Erkennen wurde gelöst "wie man das Chaos der alpinen Tektonik zu einem übersichtlichen Ganzen ordnen kann und wie man an diesem Ariadnefaden sicher und leicht durch das Labyrinth der alpinen Erscheinungsformen hindurchzuschreiten imstande ist" (S. 5). Das an die Oberfläche gekommene überschobene Gesteinspaket konnte auch teilweise abgetragen werden und dann wurde das Material darunter freigelegt, blieb aber auch ringsum von dem Überschiebungsmaterial bedeckt. Die so von dem Überschiebungsmaterial freigelegte Unterlage erschien dann als "**Fenster**", ein in der Geologie dafür benutzter Ausdruck. Das wurde für die **Tauern** in den österreichischen Alpen postuliert: "... von gewaltigen Deckenmassen überfahren und nachträglich erst als Fenster bloßgelegt ..." (W. DEI-NEGRO 1928, S. 493).

Daß die Alpenhebung synchron begleitet war von Lavaausbrüchen in benachbarten



Abbildung 334: Tauern: Großglockner.

Gebieten fand J. B. RAMES; als er die geneigten Basalte des Cantal der Miozän-Zeit angehörten, als Alpenhebung und frühester Vulkanismus in Zentralfrankreich sich offenbar bedingten (F. STOCKMANN 1975).

Einstige Überschiebungen auch in Sachsen und angrenzenden Regionen, in Mitteleuropa?

Daß auch das einstige "Varistische Gebirge", etwa in Mitteldeutschland, dessen ehemals viel tiefer entstandenen Gesteine heute in den Mittelgebirgen etwa Sachsens und dem Harz aufgeschlossen sind, ebenfalls Deckenüberschiebungen, Deckenbau, aufweist, wurde seit dem 19. Jh. und dann namentlich in der ersten Hälfte des 20. Jh. diskutiert.

SUESS hatte für eine Gneisscholle in Mittelsachsen die Herkunft auf eine Überschiebung über das Gebiet des späteren Erzgebirges hinweg angenommen (A. WURM 1948). Gestützt wurde das stark von von dem Sohne von EDUARD SUESS, dem ebenfalls bedeutenden Geologen FRANZ EDUARD SUESS (1933). Wien, und auch von KOSSMAT (K. H. SCHEUMANN 1939). KOSSMAT kannte von seiner Heimat her Teile der Alpen recht genau und übertrug dort gewonnene Erfahrungen auf die mitteldeutschen Mittelgebirge. In Sachsen waren viele Gesteine aus ehemals viel tieferen Lagen zugänglich als in den viel später zum Festland gewordenen Alpen, wo die Abtragung noch nicht in die beim Varistischen Gebirge erreichten Tiefen vorgedrungen war. An Sachsens Gesteinen waren also Dinge zu sehen, die in den Alpen noch im tiefen Untergrund verborgen sind. Vielleicht werden sie im Laufe von Jahrmillionen herausgehoben. Im Erzgebirge Sachsens erkannte KOSSMAT die "Wiederkehr gewisser Horizonte im Kristallin, die Einfaltung von ehemals ober-

flächlichen Bildungen (Kalken und Geröllsteinen" und erklärte sie "durch starke Gleitverschiebe und Verfaltungen", die Wiederholungen der Lagen brachten und zeigte, "grundsätzliche tektonische Unterschiede zwischen beiden Gebirgstypen" – gemeint die jungen Alpen und das einstige "varistische Gebirge" – nicht bestehen" (zit. K. H. SCHEUMANN 1939, S. 201), daß also Alpen und einstiges Varistisches Gebirge Analogie aufweisen. Das hat, um es zu betonen, mit den heutigen Mittelgebirgszügen nichts zu tun, denn sie entstanden eben anders als die Alpen und das Varistische Gebirge. Nicht nur in den Alpen, auch in den ausgeschlossenen Gesteinen des ehemaligen Varistischen Gebirges wurden nun Überschiebungsdecken, Verformungen, die sich in der Tiefe abgespielt hatten, gesehen. Erst mit der späteren Heraushebung der Gebirge wurden diese Verformungen übertage sichtbar, sind also sichtbar in unserer Zeit und für unsere Geologen. Ob sie immer richtig interpretierten? Es wurde über die Deutungen viel diskutiert.

Als eine große Deckscholle sah man die schon von GÜMBEL untersuchte, aus Gneis bestehende und als in ihrer Umgebung als wurzellos betrachteten **Münchberger Masse**, die fern anderen Gneismassen Teile der Oberpfalz bildet. Schon EDUARD SUESS hatte sich mit der Münchberger Gneismasse befaßt, sein Sohn FRANZ EDUARD SUESS die weite Herkunft des Materials betont, aber W. VON SEIDLITZ (1921) als nicht erwiesen zur Vorsicht in der Deutung gemahnt. Heute ist die Natur der Müncheberger Gneismasse als überschobene Decke anerkannt, hat also das **mobilitische** gegenüber dem nur mit einer Ausquetschung rechnenden fixistischen "Modell" gesiegt (U. SEBASTIAN 2001).

1925 betonte KOSSMAT die **Deckenschollennatur der Zwischengebirge**, weniger umfangreichere Erhebungen zwischen den höheren Mittelgebirgen, also etwa in Mittelsachsen. Ebenso wurde das In Sachsen wurde das diskutiert für die Wildenfels Schollenreste, den Frankenbergschen Gneiskomplex, scheinbar wurzellose Gesteine in fremder Umgebung – verschoben einst im Gefolge der der varistischen Gebirgsbildung, in großer Tiefe natürlich. Nach SCHEUMANN sollte der Ursprung der in Mittelsachsen liegenden Frankenberger Gneisscholle im südlich davon gelegenen Erzgebirge gelegen haben (A. WURM 1948). Am weitesten ging wohl FRANZ EDUARD SUESS, wenn er das Material der in Mittelsachsen nördlich von Chemnitz durch Flüsse in manchen durchaus schönen Talungen durchquerte **Sächsische Granulitgebirge**, viel niedriger als das Erzgebirge, auf eine "Fernverfrachtung" zurückführte.

Für den varistischen Unterbau im **Harz** blieb die Annahme von verschobenen Deckschollen umstrittener, ja wurde etwa durch H. CLOOS (1940, S. 116) als kaum bedeutend erachtet, war aber von KOSSMAT (1931) etwa für das Gebiet von Elbingerode als gültig erachtet "... worden, eine im Streichen ungefähr 16 km lange, bis 5 km breite Enklave von Oberharzer stratigraphischem Typus scharf

umrissen mitten in einer Umgebung von typischen Unterharzer Gesteinen" (S. 578), "... ein Fenster in einer Überschiebungsdecke" (S. 579).

Auswirkungen tektonischer Vorgänge in Sedimenten

Sedimente unter Druck werden verändert, wandeln sich in **metamorphe Gesteine** (s. d.). Bis zu derartiger Auswirkung von Druck gibt es **weniger starke**, den stofflichen Charakter eines Sedimentes nicht verändernde Einwirkungen. Tektonik in fossilführenden Gesteinen verändert deren Gestalt und etwa aus den verzerrten Stielgliedern von Krinoiden werden Gesteinsdeformationen abgelesen (J. - H. HELLMERS 1955).

Tektonik mit besonderer Wirkung auf Salz-Lager: "Salztektonik"

Ein besonderes Kapitel in der Tektonik ist das der Salzlager, Sedimente mit besonderen Eigenschaften, welche etwa im Unterelbe-Gebiet 2000 m mächtig sind (D. HENNINGSEN et al. 2002, S. 171). So wurde mit dem Salzlager- und Zechstein-Experten ERNST FULDA 1927 von einer besonderen **Salztektonik** gesprochen, später auch als '**Halotektonik**' bezeichnet. Auf Grund seiner Eigenschaften wird Salz durch Seitendruck aufgepreßt und reißt bei dieser Bildung von hochragenden Salz-**Diapiren** Sedimente aus dem Untergrund nach oben und an solchen Diapiren wurde auch das Quartär durchstoßen und kamen etwa im Segeberg oder auf Helgoland über dem Salz des Zechstein oder späterem Salz liegende Sedimente an die Erdoberfläche und geben überhaupt Kunde von dem, was unter dem Quartär liegt. **Mehr als 200** solcher "Salzstrukturen (Salzmauern und -dome, Diapire)" werden genannt (D. HENNINGSEN et al. 2002, S. 171).

Wie FULDA (1927) im einzelnen ausführte, verhält sich Salz gegenüber mäßigem Druck sehr spröde. Bei einigen Tausend Atmosphären gerät es jedoch in den Zustand der "Kristallplastizität", beginnt wie dickflüssiger Sirup zu fließen. **Experimente** dazu hatte A. GELLERT in Göttingen (E. FULDA 1927, S. 178/179) durchgeführt, der eine Presse bis 40.000 kg/qcm und Temperaturen bis 300°C benutzte. Es reichte für das Salzfließen also nicht der Belastungsdruck der darüberliegenden (hangenden) Schichten. Die Salztektonik wurde wohl von denselben Kräften hervorgerufen, welche die tektonischen Erscheinungen in anderen Gesteinen hervorgerufen, nur eben dort sich anders auswirken als auf Salz.

Die Existenz von Helgoland wie die Karl-May-Festspiele möglich in Segeberg - Salzdiapiren verdanken sie ihr Entstehen.



Abbildung 335: Salzaufpressung schuf Helgoland.

Großräumige Senkungen und Hebungen

Weil die Erde schrumpfen würde, nahm SUESS im wesentlichen, das heißt mit der Ausnahme von aufsteigenden Falten, **nur Einbrüche** an. Die **Ozeane** sollten jeweils **die am meisten abgesunkenen Areale** auf der Erdoberfläche sein und die Kontinente bildeten dann ihnen gegenüber stehengebliebene große 'Horste', die sich weiter nach stehengebliebenen und relativ abgesunkenen Teilen gliederten. In jedem stehengebliebenen Horst und damit in jedem Mittelgebirge sah SUESS ein stehengebliebenes Stück Erdkruste zwischen gesenkten Krustenteilen.

Aber andere Forscher sahen auch ein **aktives Aufsteigen** von Kontinenten oder Krustenteilen für gegeben, so OCHSENIUS (W. WEISSERMEL 1930), der in den Anden ganz junge Tertiärablagerungen in Höhen von mehreren Tausend Meter gesehen hatte, E. KAYSER (P. G. KRAUSE 1929) oder etwa hinsichtlich der schlesischen Sudeten F. FRECH (1902).

Als auffällige Erscheinung erschien die etwa gleiche Höhe verschiedener Gipfel in den einzelnen Gebirgen oder wenigstens in zusammenhängenden Teilen von Bergländern. RAMSAY stellte 1846 bei Untersuchungen im Bergland im Süden von Wales fest, daß alle Kämme und Gipfel etwa gleiche Höhe besitzen (A. HETTNER 1928). PENCK nannte das 1919 die "**Gipfelflur**", sprach von der Gipfelkonstanz der Gebirge, so wie es auch ALBERT HEIM (J. CADISCH 1928) übernahm. Diese ziemlich gleiche Höhe der Gipfel und Kämme wurde auf die in einem bestimmten Gebiet etwa auf eine gleiche Höhe emporgestiegene Krustenteile zurückgeführt, wobei die Verwitterung diese etwa gleiche Höhe nur mit der Zeit differenzieren konnte. Die Auffassung wurde auch bestritten.



Abbildung 336: Gipfelflur Hohe Tatra.



Abbildung 337: Gipfelflur? Dolomiten.

Vulkanismus - Erdinneres kommt nach oben und gestaltet oben mit

Verbreiteter gar nicht zu alter Vulkanismus

Magmaausbrüche, **Vulkanismus** sind **weitergehende Erdabkühlung**, die erdinnere Hitze abgibt. Von den im mittleren und nördlichen Europa wirkenden Geologen wurde auch unter dem **Einfluß des Aktualismus** der **Vulkanismus** in der Erdgeschichte und besonders der jüngeren **manchmal wohl eher unterschätzt** und mehr als lokal anstatt in erdweiter Auswirkung gesehen. Bei aller Beachtung auch der großen Basaltgebiete. Jedenfall in der neueren Erdgeschichtsforschung wurde dem Vulkanismus größerer Raum gegeben.

Aber Vulkanismus, gegenwärtiger wie vergangener, wurde als vielseitiges Feld von manchen Geologen, Mineralogen und Petrographen und ebenso von Geographen zu erkunden versucht. In etlichen Räumen der Erde war Lava resp. Basalt, also erstarrte Magma, ein landschaftsgestaltender Faktor, js verdanken ganze Staaten Vulkanen ihren Untergrund, so **Japan**, das dafür noch mir allen Gefahren des heutigen Vulkanismus leben muß. Vulkanismus, einstiger, bestimmt weite Gebiete Vorderindiens, Äthiopiens, schuf Island und die Faröer, aber ist glücklicherweise kaum noch aktiv landschaftsbestimmend auch in mancher mitteleuropäischen Landschaft, so im Hegau, in der Eifel, in der Rhön und anderen Gebieten von Hessen, in der Lausitz und im Böhmisches Mittelgebirge. In der Auvergne oder Nordungarn bildet erstarrtes Magmen die Grundlage für das Aussehen ganzer Regionen. Etwa 450 in historischer Zeit tätige Vulkane waren 1928 (A. RITTMANN 1928, S. 491) bekannt, und etwa 3/4 davon lagen in den Randgebieten des Pazifischen Ozean, an Kontinental- und gemäß der späteren Plattentektonik an **Plattenrändern**. Aber es gibt auch **Intraplattenvulkanismus**. Die bei Vulkanausbrüchen freigesetzten Energie-Mengen übertreffen bei weitem alles, was Menschen an Energie freisetzen konnten, selbst mit Atombomben. Aber bei aktiven Vulkanen läßt sich mit deren Energie nichts anfangen. Anders als dort, wo es nur heiße Quellen und einen heißen Boden gibt, wie auf auf dem viel Elektrizität Island erzeugendem Island, Im Jahre 2015 wurde auf der ganzen Erde mit 1.300 potentiell aktiven Vulkanen gerechnet (N. NORMAN 2016). Unterschieden werden nun (so Internet 2018) die flach gewölbten **Schilddvulkane** mit sanft ausfließendem, effusiven Magma und die kegelförmigen **Strato- oder Schichtvulkane** mit dem explosiven Auswurf der Massen aus dem Inneren und die sich von Ausbruch zu Ausbruch aufbauen, wie es LYELL sah. Dazu kommen die **Supervulkane**. Diese hinterlassen keine Kegel, sondern riesige Calderen. Über 29,3 Millionen Menschen lebten um 2000 in einer Entfernung von 10 km von einem Vulkan, der in den letzten 11,7 Jahren wenig-

stens einmal aktiv war. Über 8,6 Millionen dieser gefährdeten Menschen wohnen in Indonesien. Im Mai 2016 wurde auf Sumatra unerwartet ein Vulkan aktiv, der 400 Jahre lang ruhig war und als 'erloschen' galt. Von den potentiell aktiven Vulkanen der Erde wird nur ein kleiner Teil fortlaufend überwacht. Vulkanausbrüche sind mehr oder weniger etliche Zeit vor dem Geschehen meistens vorhersehbar, durch größere Aktivität oder Veränderungen der ausgestoßenen Gase, und selbst Tiere sollen vorher reagieren. Aber Tag und Stunden sind nicht vorher feststellbar und Fehlvorausagen bedeuten große wirtschaftliche Verluste. Erdbeben erfolgen meistens ohne vorherige Anzeichen. .

Gesteine aus vulkanischer Tätigkeit gibt es manche: Nunmehr spricht man bei Vulkanauswurf von **Pyroklastischen Gesteinen**/Pyroklasten, ihre unverfestigten Ablagerungen als **Tephra** (h. U. SCHMINCKE in H. FÜCHTBAUER et al. 1988, S. 731 ff.) (Mehrzahl Tephren). Pyroklasten unter 2 mm Korngröße sind die **Asche**-Fraktion, zwischen 2 und 64 mm sind die **Lapilli**, darüber die **Blöcke** (S. 733). Die Asche, aus staubförmigen Teilchen, kann sich grau weit über das Land legen, kann bei starken Ausbrüchen auch bis in Stratosphäre aussteigen und das Weltklima zeitweise verändern. Lava kann aus übereinander fließenden Strömen bestehen, wobei sich Lavaschicht über Lavaschicht nach- und eben übereinander ablagert, wie eine Sedimentlage auf der anderen, was auch als Anomalie der Eruptivgesteine unter "Igneous Rock Anomalies" bezeichnet wurde (R. C. SELLEY et al. 2005, S. 454).

Nahe oder an der Oberfläche gibt es **zu Basalt oder Phonolith eratrrende Magma**, in der Tiefe langsamer erstarrt der **Porphyr**, **ausgeworfen** Auf Wasser schwimmt Bimsstein. Bimsstein hat mit 0,24 - 0,3 g/Kubikzentimeter eine geringere Dichte als Wasser, besitzt also hohe Porosität. entstanden bei rascher Abkühlung von gasreicher Lava. Ganze Bimssteinfelder können nach einem solchen Vulkanausbruch auf dem Meere schwimmen (Internet 2018). Während die heißglühende Lava langsam herabströmt, sind die rasch herabsausenden **pyroklastischen Ströme** und die mit ihnen verbundenen Glutwolken die besonders große, stets tödliche Gefahr für in ihren Bereich kommenden Menschen und Tiere. Sie hinterlassen so etwa wie eine verbrannte Wüste und können bis weit ins Vorland brausen. Zu 75% aus Pyroklasten bestehen die porösen **Tuffe**, auch ein architektonische wichtiges Gestein, mit Steinbrüchen etwa am Rand der Eifel und am Rochlitzer Berg.

Tuff nennt man 1. den **vulkanischen Tuff** und 2. den als Kaltausscheidung im Wasser entstehenden **Kalktuff**.

Aus der Erde dringt auf der Insel **Trinidad Asphalt** (YouTube 2018), zurückgeführt auf die Plattengrenze zwischen Karibischer und Südamerikanischer Platte in der

Tiefe, die Erdöl verwandelt zu Asphalt nach oben treibt und den 'Asphalt-See'. 'Pitch Lake' bildet. Der Asphalt, 'natürlicher Teer', wird abgebaut und in Fässern versandt auch in Deutschland beim Straßenbau verwendet, in Deutschland 6000t/Jahre. Der nicht endlos forsetzbare Abbau droht Trinidads wichtige Einnahme zu beenden und es geht eine Touristenattraktion verloren.

Aktive Vulkane besucht von Geologen und Geographen

Neben den für den Geologen interessanten Vulkanen der Erdgeschichte, faszinierten auch die **gegenwärtigen Vulkanerscheinungen** immer wieder, ob im Ausbruch oder in Ruhe. Fand kein Ausbruch statt, wurden verschiedene erreichbare Vulkane genau vermessen und von ihnen Karten erstellt. WOLFGANG Freiherr SARTORIUS VON WALTERSHAUSEN (v. GÜMBEL 1890) reiste mehrfach, zuerst für 3 Jahre ab 1834 und ab 1838 für 5 Jahre nach Italien und hat namentlich auf Sizilien geforscht. Sein großes Werk war eine prachtvolle topographische Karte vom **Ätna** im Maßstab von 1 : 50000, die 1848 bis 1861 mit 57 Kupfertafeln erschien. Mit BUNSEN reiste SARTORIUS VON WALTERSHAUSEN 1846 nach dem vulkanischen Island und besuchte auch Schottland mit den Hebriden, Irland und andere Gebiete. Noch dreimal, in den Jahren 1861, 1864 und 1869, reiste SARTORIUS VON WALTERSHAUSEN nach Sizilien und zum Ätna, um noch eine Detailkarte im Maßstab 1 : 15000 zu erstellen. SARTORIUS VON WALTERSHAUSEN hielt dabei in wesentlichen Zügen an der Hebungstheorie von VON BUCH fest. In seinem großen 1880 posthum von ARNOLD VON LASCAUX herausgegebenem Werk "Der Aetna" gibt VON SARTORIUS eine Geschichte aller Eruptionen dieses nach seinen Untersuchungen am Ende des "Diluvium" entstandenen Vulkans, beschreibt die Gänge, die Lavaströme, die sich überdeckenden Laven, die Lateralkegel, die verschiedenen Gesteine. Mineralien fanden sich am Ätna viel weniger als am Vesuv, und Unterschiede bei den verschiedenen Vulkanen waren wieder einmal deutlich. Auch bei VON SARTORIUS wurde das Valle del Bove (Tal von Bove) besonders viel untersucht, hier, wo vom inneren Bau, den Schichten der Vulkanauswürfe am meisten zu sehen war.

Wenn irgend möglich, reisten an Vulkanologie interessierte Geologen auch zu Ausbrüchen. Im Februar 1866 war es auf der **Insel Santorin** in der Ägäis nördlich von Kreta wieder zu vulkanischer Aktivität gekommen (C. v. SEEBACH 1866 / 67), hier, wo in der Antike ein Ausbruch wohl das ganze östliche Mittelmeer durch die folgende Flutwelle heimsuchte und vielleicht zum Ende der Minoer-Kultur auf Kreta wenigstens mit beigetragen hat. Der byzantinische Geschichtsschreiber THEOPHANES (in L. BREYER 1955, S. 38/39) hat einen Ausbruch 726 beschrieben, wohl vom Hörenagen: "stieg zur Sommerszeit wie aus einem Backofen Dampf zwi-

schen den Inseln Thera und Therasia aus der Meerestiefe einige Tage lang brodelnd hervor. Es verdichtete sich allmählich und nahm durch die Hitze feste Form an; ... Aus der festgewordenen Masse wurden Bimssteine so groß wie Hügel über die ganze Landschaft Asien (d. h. Kleinasien), Lesbos, Abydos und das Küstengelände von Makedonien geschleudert, so daß die ganze Oberfläche des Meeres von herumtreibenden Bimssteinen bedeckt war. Inmitten dieses gewaltigen Feuers entstand ein neues Eiland und verband sich mit der "Heiligen Insel" Dieses Zeichen des göttlichen Zornes ... legte der Kaiser zu seinen Gunsten aus." **Weißer Bimsstein**, die beim Hineinwerfen ins Meer nicht untergehen, kann man auch in der Gegenwart an der Küste von Thera bewundern. Am 11. Februar 1866 kam die griechische Forschergruppe mit JULIUS SCHMIDT, dem Direktor der Sternwarte Athen, dort an und konnte ab nun die bisher etwa verschieden geschilderten Geschehnisse genauer verfolgen und aufzeichnen. Vom 8. bis 23. März weilte auf Santorin der Franzose DE VERNEUIL. Im Auftrag der französischen Akademie der Wissenschaften weilte dort FOUQUÉ, der die entweichenden Gase untersuchte. KARL VON SEEBACH war erst vor wenigen Monaten von Südamerika zurückgekommen und war gesundheitlich angeschlagen. Ausgestattet mit von GEORG V. besorgten Mitteln reiste er ebenfalls nach Santorin und nahm die Insel geognostisch und petrographisch auf, um die eventuellen Veränderungen sicher zu erfassen. Unmittelbar nach der Abreise von VON SEEBACH trafen die deutschen Geologen und Vulkanologen K. VON FRITSCH, REISS und STÜBEL ein. Der bald bekannte Vulkanforscher WILHELM REISS stammte aus reicher Mannheimer Familie, wurde geboren 1838 und starb in Könitz in Thüringen 1908. Der 1835 in Leipzig geborene ALPHONS STÜBEL war ebenfalls Privatforscher, lebte in Dresden und starb dort 1904. Bei dem Ausbruch auf Santorin 1866 gab es anfangs eine geringe Senkung, dann aber keine heftigen Eruptionen und keine Hebung.

Nunmehr, im 20. Jh., wurde die verschüttete Stadt **Akrotiri** auf Santorin ausgegraben, wurde, so auch im 21. Jh., durch Forschungsschiffe der Meeresgrund weithin untersucht (Internet, YouTube 2018) und wurde ein umfassenderes Bild der den östlichen Mittelmeerraum und die angrenzenden Gebiete. betreffenden Katastrophe auf Santorin gewonnen. Das Fehlen menschlicher Skelette in Akrotiri läßt sich deuten durch rechtzeitige Flucht wegen vielleicht Erdbeben vor der Katastrophe. Haben die Menschen überlebt? Auch Kreta war durch den Tsunami schwer betroffen. War das der Anfang vom Untergang der Minoer, die aber erste etwa 2 Jahrhunderte später verschwanden. Eine angeschlagene Gesellschaft kann auch langsam zugrundegehen,

Eine gewisse Überraschung war, als auf der Schiffsreise in die antarktischen Gewässer unter Sir JAMES CLARK ROSS (s. 1847) 1839 bis 1843 im Jahre 1841 die tätigen Vulkan Erebus und dann Terror **am Rande** des zu vermutenden **antarktischen**



Abbildung 338: Santorin, r. Caldera.

Festandes gesehen wurde, wobei allerdings schon lange bekannt war, daß sich Vulkane in den verschiedensten Breiten finden, in höheren Breitengrade gerade auch auf **Island**.

Im Jahre 1872 war am 26. April der **Vesuv** überraschend ausgebrochen, was der gerade dort und um Neapel auf einer Forschungsreise sich befindende Schweizer Geologen ALBERT HEIM (1873) erlebte. Bei einem plötzlichen nächtlichen weiteren Ausbruch gab es allerhand Tote unter Neugierigen. Am 4. Mai konnte dann auf den schon erkalteten Laven gegangen werden. Die Mineralogen interessierten die aus den Dämpfen niedergeschlagenen Mineralien, so Leucit und Augit oder, was G. VON RATH (1873) als Überraschung vermerkte, Apatit. Der gegenwärtige Vesuv-Krater im heutigen oberen Vesuvkegels befindet sich innerhalb des teilweise, fast zur Hälfte erhaltenen Ringwalles einer einstigen breiteren Krates, liegt innerhalb dessen Caldera und ist damit ein **Somma**-Vulkan (s. K. SAPPER 1927, S. 231; Wikipedia 2017). Die allerdings bei den Ausbrüchen sich ändernde Höhe des Vesuv wird mit 1182m angegeben.

Ganze Staaten sind in ihrem Sein und Schicksal mit ganzen Reihen von Vulkanen verbunden: so Chile und die weiteren Andenländer, Japan, Island, auch Indonesien, Mexico, ja selbst die USA. Vulkan- und Erdbebenkunde ist hier wichtiger Schulstoff, auch um rational an diese naturwissenschaftlich erfaßbaren Dinge heranzugehen und im Falle von Katastrophen vernünftig zu reagieren.



Abbildung 339: Vesuv, Somma.



Abbildung 340: Am Vesuv-Krater.



Abbildung 341: Vesuv: im Somma-Ring, r. heutiger Kegel.

Ein Forscher aus einem nicht so betroffenen Lande war W. REISS (s. 1921, S.) , der 1868-1876 durch die Vulkanwelt der **südamerikanischen Anden** zog, und oft mit ihm der ALPHONS STÜBEL (1897), der auch Privatforscher war. Man gewann Erfahrungen über Vulkanismus, der den in Europa übertraf. 25 Tage lang etwa war REISS (1921, S. 70/71) mit 15 Lastträgern von dem in Kolumbien gelegenen La Cruz aus in den Bergen umhergewandert, hier, "da ... sich im großartigen Maßstabe vulkanische Ausbrüche ereignet haben, wie wir sie bisher nur im kleinen in Europa kannten, Ausbrüche als deren Typ Santorin bezeichnet werden kann", aber hier gab es, über 4000 m hoch, "große vulkanische Gebirge , die zum Teil aus ganz frischen Lavamassen bestehen, zum Teil aus älterem, schon sehr zersetztem Gestein gebildet sind." Bei Pasto war seit vier Jahren ein dicht bei der Stadt gelegener Vulkan in fortwährender Tätigkeit, und in "der letzten Zeit besonders hatte sich die Gewalt der Ausbrüche so gesteigert, daß die nahe der Stadt befindlichen Wälder durch die dahin geschleuderten glühenden Steine in Brand geraten waren. Die Getöse der Explosionen und die sie begleitenden Windstöße waren so stark, daß man oft an Erdbeben glauben konnte,..." (W. REISS 1921, S. 71). REISS wagte sein Leben, um als erster Mensch 1872 in den Krater des **Cotopaxi** in den Anden zu schauen. "Die Felsen stürzen auf allen Seiten sehr schroff in ihn ab", heißt es in den nachgelassenen Reisebriefen (W. REISS 1921, S. 173 ff.), "und stoßen im Grunde fast in einem Punkte zusammen, so daß kein eigentlicher Kraterboden vorhanden ist... im Südwesten sieht man auch einige ziemlich starke Fumarolen, die dichte Wolken eines weißen Dampfes, der stark nach schwefeliger Säure riecht, ausstoßen." Weiße Ablagerungen erwiesen sich als Chloride, wurde damit "nachgewiesen" "zum ersten Male Chlor in einem der Vulkane Südamerikas" (W. REISS 1921, S. 174). Auch so versuchte man sich das Bild vom Erdinneren zu formen.

Mit seiner barometrischen Höhenmessung kam REISS auf 5993 m, während nunmehr 5897 m angegeben werden. Die Vulkane unterscheiden sich in dem, was ihre Umgebung bestimmt, und STÜBEL (1897, S. 150) betonte von dem von ihm 1873 bestiegenen Cotopaxi: "... keine Lavafelder von meilenweiter Ausdehnung umgeben den Fuss des Berges, keine Eruptionskegel, wie sie den Hang des Aetna zu Hunderten bedecken" und es wurde deutlich, "dass sich die feurigflüssigen Massen auch andere Wege zu bahnen wussten, als durch den Schacht seines Gipfelkraters." Und auch STÜBEL beklagt "die stark mit schwefliger Säure geschwängerten Dämpfe der Fumarolen, die hier ohne Unterlass gerade an dem Theile des Kraterrandes aufstiegen, von dem aus man am bequemsten in die Tiefe blicken konnte."

KARL SAPPER (W. KRÄMER 1961; Wikipedia 2017) wurde führender Forscher in Mittelamerika, sowohl ethnographisch wie auch für die Vulkane. Ein älterer Bruder besaß Kaffeeplantagen in Guatemala und der forschende Bruder KARL hatte also auch eine sichere Station. KARL SAPPER wurde 1902 in Tübingen 1902 ao. Professor, 1907 Ordinarius, 1910 Professor in Straßburg, 1919 in Würzburg.

Unter den US-amerikanischen Geologen war HENRY STEPHENS WASHINGTON (W. C. 1964) ein Besucher von Vulkanen, des Ätna wie der im östlichen Mittelmeer, und hat die chemische Zusammensetzung der vulkanischen und überhaupt Eruptivgesteine wie keiner vor ihm zusammengestellt.

Erloschene Vulkane faszinieren wie gegenwärtig aktive

An gegenwärtig nicht-aktiven Vulkanen ließen sich keine Gase auffangen und kein frisches Magma untersuchen. Ihr Material war aber vorhanden. "Erloschene" Vulkane boten zu fragen: Warum waren sie nicht mehr aktiv? Konnte es sein, daß die lange ruhende Aktivität wiederkehrt und es dann eine unangenehme Überraschung gab, wie einst in Pompeji? Auch "erloschene Vulkane" wurden von Geologen besucht, Es kann Millionen Jahre dauernde Ruhepausen geben. In der Eifel, wo der letzte Ausbruch mit der Bildung des Laacher See noch nicht so lange zurückliegt, kann mit erneuter vulkanischer Tätigkeit durchaus gerechnet werden, und CO₂ im Laacher See hat vulkanischen Ursprung. Als wohl sicher erloschen gilt der bis 773 m hohe Vogelsberg in Hessen, der als das "größte geschlossene Basaltmassiv in Europa" gilt (Wikipedia 2020), entstanden vor allem im Miozän.

Für die großen eisbedeckten Berge Ostafrikas, den **Kilimandscharo**, war zwar die Vulkannatur von unten her vermutet worden, aber erst die HANS MEYER (1890) erstmals gelungene Besteigung des **Kibo** brachte Gewißheit über die Vulkannatur dieses um 6000 Meter hohen Berges. Er berichtete (S. 127): "Noch ein halbes Hundert mühevoller Schritte in äußerst gespannter Erwartung, da that sich vor

uns die Erde auf, das Geheimnis des" (S. 128) "Kibo lag entschleiert vor uns: den ganzen oberen Kibo einnehmend öffnete sich in jähem Abstürzen ein riesiger Krater.

... Wir setzten uns am Rand des Ringwalles auf das Eis nieder und ließen den Blick über den Kraterkessel, seine Eismassen, seinen Auswurfkessel, seine Umwallung schweifen. ...

die von vielen Seiten angezweifelte Existenz eines Kraters auf dem Kibogipfel war nachgewiesen ..."

Und es gab Ausbrüche, welche in heute eher harmlos erscheinenden Regionen **vor gar nicht allzu langer Zeit** stattgefunden hatten.

Das galt für den jedenfalls 13.400 (W. AHRENS et al. 1934, M. HOPMANN 1954) auf etwa 4500 v. Chr. angesetzten **Bimsstein**-Ausbruch, der in der Eifel den **Laacher See** bildete und als jung mußten auch die übrigen Eifelmaare gelten. Der am Ende des 18. Jh. etwa durch JOHANN REINHOLD FORSTER, Halle, in Abrede gestellte Eifel-Vulkanismus reichte also bis in eine um etliche Jahrtausende jüngere Zeit als das Ende der mitteleuropäischen Vergletscherung zurück. Im Jahre 2018 (Internet) wird der den Laacher See bildende Ausbruch auf vor 13.000 Jahren gelegt. Umwandlung anstehender Gesteine, Pyrometamorphose, fand statt. Es rumorte noch weiter im Laacher See, folgten graue Trachytuffe (M. HOPMANN 1954), Bimsstein bedeckte das Neuwieder Becken nördlich von Koblenz. Der Laacher See ist nur der beeindruckendste von zahlreichen, auf 4 Haupteruptionsphasen während der letzten 700.000 Jahre nachgewiesenen Osteifel-Vulkane (P. VAN DEN BOGAARD et al. 1988, S. 75), und von letzteren stammen "zentimeter- bis meterdicke Tephraschichten in zahlreichen Löß-, Boden-, und Flußterrassenprofilen des Mittelrheingebietes", nur eben nicht so weit reichend wie die Produkte des Laacher-See-Vulkans und in der zweiten Hälfte des 20. Jh. eingehend erforscht (P. VAN DEN BOGAARD et al. 1988) Sind nun der Laacher See und überhaupt die Vulkane in der östlichen Eifel für immer beruhigt und zeugten die auf Gasausbrüche zurückzuführenden Maare auf ein Endstadium des Eifel-Vulkanismus (S. 83)? Noch immer hebt sich millimeterstark die Erde, aber ein nahe Ausbruch ist völlig unwahrscheinlich (RND 13. 6. 2020).

Harmlos, längst erloschen, aber aus wiederum eigenen Gründen faszinierend war der eiszeitliche Vulkanwinzling des **Kammerbühl** (s. d.) **bei Franzensbad** in Nordwest-Böhmen, der als vor 720.000 Jahren entstanden gilt (Internet 2018).

Vulkanismus - Spezialgebiet etlicher Forscher

Vulkanismus hing offensichtlich mit dem Wärmehaushalt der Erde zusammen, auch mit seiner anzunehmenden Änderung im Verlaufe der Erdgeschichte. Um einige Daten für die Gegenwart zu haben, wurde die **Temperatur unter der Erdoberfläche** dort gemessen, wo es möglich war, **in Bergwerken** und Bohrlöchern, etwa durch CORDIER (C. SMITH 1989, S. 17). An die Geologische Gesellschaft in Glasgow gwaandt forderte im Februar 1868 WILLIAM THOMPSON, daß die "whole earth must be made subject to a geothermic survey", und das auch in den Wüsten Afrikas.

Ein führender Vulkanologe war der 1893 als Zahnarzt-Sohn in Basel geborene ALFRED RITTMANN (Wikipedia 2013), der nach Teilnahme an der dänischen Grönland-Expedition unter LAUGE KOCH 1936 ab 1941 in Italien forschte, im Dienste der italienischen Regierung. Ab 1946 in Alexandria in Ägypten wurde er hier 1954 Ordinarius, war 1960 - 1963 Leiter des Vulkangeologischen Instituts der Universität Catania auf Sizilien am Fuße des Ätna und auf RITTMANNs Initiative entstand hier 1968 das Internationale Institut für Vulkanologie. Vulkanologe in Deutschland war auch FERDINAND VON WOLFF (M. SCHICK 1952), Er war der 1874 in Glogau in Schlesien geborene Sohn eines Militärs, der seinen Standort öfters wechselte. F. VON WOLFF studierte in Leipzig und Berlin, und promovierte in Berlin 1899 mit einer Spezialarbeit über die Geologie und Petrographie Chiles. Im Jahre 1907, nach der Habilitation in Berlin, wurde er Professor an der Technischen Hochschule in Danzig, folgte 1914 einem Ruf nach Halle/S., wurde dort Direktor des Mineralogischen Instituts und war einer der Experten in der Vulkanologie.

Jene, die an aktiven Vulkanen forschten und auch diejenigen, die sich nur oder vorwiegend längst erloschenen Vulkanen zuwandten, brachten ein großes Faktenmaterial zustande, über die gasförmigen Exhalationen, die erstarrten Lavamassen, eventuelle oder fehlende unterirdische Zusammenhänge zwischen Vulkanen - und dennoch schloß jedenfalls **1927** der Vulkanforscher KARL SAPPER sein Buch 'Vulkankunde' (S. 401): "wie wir denn überhaupt über die großen Grundfragen des Vulkanismus noch immer im Dunkeln sind" und (S. 402): "Neues zuverlässiges Tatsachenmaterial zu sammeln, dürfte als wichtigstes Ziel der künftigen Studien anzusprechen sein, denn nur solches kann dereinst eine tragfähige Unterlage für befriedigende Theorien werden als man bisher zu ersinnen vermocht hat."

Rolle aus dem Erdinneren aufsteigendem Magma für die Erdkrustengestaltung - Woher, etwa aus welcher Tiefe kam das Magma und damit die Lava der Vulkane?

Schon in der klassischen Zeit der Geologie (s. oben) war über die Rolle der **Vulkane** und damit viel und mit manchmal **gegensätzlichen Auffassungen** gestritten worden und das verstärkte sich am Ende des 19. Jh.. Wenn an die großen Orogenesen gedacht wurde, dann war nach den neueren Vorstellungen klar, daß **aufsteigendes Magma nur ein kleiner Teil im endogenen Kräftekomplex** in der Tiefe war, galt eher als eine Rand- und Folgeerscheinung. Vulkane, **Vulkanerscheinungen** treten in **sehr verschiedener Größe** auf, **Deckenergüsse** wie im Dekkan, **gewaltige Kegel** wie in den Anden, in Guatemala oder auch schon der Ätna, aber auch kleine Vulkane, **Explosionskrater**, **Maare** (K. SAPPER 1927, S. 389) - was war ihnen gemeinsam, was gab es bei den verschiedenen Erscheinungen an Besonderheiten. Überlegt wurde auch, ob es **in der Erdgeschichte**, etwa mit der Abkühlung, eine **Änderung im Vulkanismus** gab, etwa, wie A. L. DAY (K. SAPPER 1927, S. 395) in den USA annahm, "gewaltige Lavaergüsse ohne Explosionen bereits der Vergangenheit der Erde angehören und höchstens noch vereinzelt auftreten" wie zuletzt am Laki 1783 und weiter und am Matavanu 1905 - 11, und heutige Vulkane nur 'örtliche und oberflächliche Erscheinungen sind und "die die letzten Stadien der Kristallisation in unterliegenden Magmamassen repräsentieren, .von denen nur wenig mehr flüssig ist ..." Aber das galt leider so nicht. Die Ausbrüche des Laki wirkten sich auf Island verhängnisvoll aus.

Der Sitz von 'ausbrechenden' Magmen, die **Tiefe** ihrer **Herkunft**, wurde unterschiedlich vermutet.

Durch vor allem WILLEM NIEUWENKAMP (1965, 1968; B. GREGOR 1990), Utrecht, und dessen Schüler wurden lange angenommene Vorstellungen über die Herkunft des Magmas aus den unergründlichen Tiefen der Erde vielleicht gar einem manchmal angenommen flüssigen Erdkern (s. a. K. SAPPER 1927, S. 394) und damit das Heraufdringen von '**juvenilem**' **Magma in Frage** gestellt und sollten alle Gesteine in einen Kreislauf einbezogen gewesen sein. Aber einst und bis in neuere Zeit gab es verschiedene Vorstellungen

DOLOMIEU (1798) hatte in der Auvergne festgestellt, daß die auf dem damals als unterste Gesteinsfolge geltenden Granit liegenden "vulkanischen Berge" diesen durchstoßen haben müssen. "Die Massen, welche durch jene Ausbrüche angehäuft wurden, befanden sich also unter dem Granite, ehe sie durch die Gewalt der Vulkane auf denselben geworfen wurden" und sind stofflich nicht Granit, und "folglich sind unter den Graniten Substanzen vorhanden, ... jene, und in welchen der Heerd

der Vulkane befindlich ist" (S. 92). Der noch junge, 30-jährige und erst zwei Jahre zuvor von der Weltreise auf der 'Beagle' zurückgekehrte CHARLES DARWIN (1840) hatte aus seinen und auch ALEXANDER VON HUMBOLDTs Mitteilungen verfolgt, ob im südlichen Südamerika zwischen untermeerischen Ausbrüchen, offenbar vermehrten Erdbeben und Vulkanausbrüchen auf dem Festland und permanenter Landhebung wie Gebirgsbildung ein Zusammenhang besteht und über Zusammenhänge in den Magmen in der Tiefe der Erde nachgedacht. Wie auch BISCHOF 1838 (P. H. BARRETT 1977 I, S. 83) in einem Artikel in England meinte, würden die ungeheuren bei einem Vulkanausbruch ausgestoßenen Massen an Material und die Auswirkungen auf größere Entfernung nur die Schlußfolgerung zulassen, daß die aktiven Vulkane mit dem gesamten feuerflüssigen Erdinneren in Verbindung stünden. DARWIN trug über seine Erfahrungen am 7. März 1838 in der Londoner Geological Society vor, und warnte vor voreiligen Schlüssen, "We cannot be too cautious ..." (P. H. BARRETT 1977 I, S. 65). Massenausbrüche stammten auch nach der Ansicht von VON RICHTHOFEN von unterhalb der festen Erdkruste, während die vulkanische Tätigkeit im engeren Sinne, also etwa die gegenwärtiger isolierter Vulkane wie Vesuv und Ätna, als aus verhältnismäßig geringer Tiefe stammen sollte (F. WAHNSCHAFTE 1905), also auf begrenzte Magmenherde zurückzuführen wäre. Als aus den Erdbebenwellen deutlich wurde, daß das Erdinnere wenigstens in großen Teilen nicht als schmelzflüssig anzunehmen ist, glutflüssiges Erdinneres "mit einem 2900 km dicken Felspfropfen verriegelt ist" (W. NIEUWENKAMP 1965, S. 469) und die Radioaktivität eine vorher unvermutete Wärmequelle abgab, kam es zur allgemeineren Annahme "kleiner zerstreuter Magmaherde oder einer basaltischen Glasschale" (S. 469), einem Schmelzen wenigstens mancher Gesteine

Diskussionspunkt war ferner, **wo**, an was für Stellen der Erdkruste, **Magma nach oben dringen konnte**. Es wurde oft angenommen, daß Magma nur dort bis zur Erdoberfläche empordringen kann, wo **infolge tektonischer Vorgänge Spalten** oder wenigstens Schwachstellen in der Erdkruste aufgetreten waren. Entgegen anderen Ansichten verteidigte das etwa FERDINAND LÖWL (1886), seit 1887 Professor der Geographie an der Universität Czernowitz, für die Rhön. Dabei sollte das Magma nach LÖWL nicht unbedingt direkt in den ohnehin oft wieder geschlossenen Bruchlinien aufsteigen, aber diese Schwächestellen sollten den Aufstieg auch an ihren Rändern begünstigen. In Magma befindliche Brocken des darüberliegenden Gesteins sollten nach LÖWL (1886) schon vor dem Magmenaufstieg in die Schwächezonen hineingerollt sein können und bewiesen nicht, daß zur Zeit des Magmenaufstiegs diese Gesteine beziehungsweise Gesteinsschichten sich noch über der Aufstiegsspalte befanden. Anders mußte es sein, wo das Magma wirklich, etwa in Schlotform, überlagertes Gestein durchsprengt hatte. Aber ab der 80er Jahren des 19. Jh. wurde auch bezweifelt, daß alle Magmaergüsse an be-

reits bestehende Spalten gebunden sind und wurde somit dem Magma wiederum eine aktivere Stellung im Geschehen in der Erdrinde gegeben.

Eine Frage war: 1. **Wie aktiv** war und ist das **Magma** von sich aus und konnte dann vielleicht sogar Gebirge aufrichten **oder** 2. war es **passiv** gebunden an aus anderen Gründen entstehende Gebirge und an dabei aufreißenden Spalten. Wie RITTMANN (1928, S. 491) ähnlich anderen sah: "Ein Zusammenhang zwischen tektonisch stark beanspruchten Zonen und Vulkanismus ist unverkennbar" und nur die Ursachen dafür sind umstritten. Wer der **Kontraktionstheorie** und damit der Auffassung von der Schrumpfung der Erde anhing, der konnte an **passives Heraus- und Emporpressen des Magmas** infolge der Schrumpfung denken.

Andere Geologen sahen "dem Magma selbst ungeheure aktive Kräfte innewohnen", welche an der Gebirgsbildung stark mitwirken (A. RITTMANN 1928, S. 491). Wie einst VON BUCH gelehrt hatte. C. FR. NAUMANN, VON RICHTHOFEN, STÜBEL sahen im Magma einen aus sich selbst aktiven Faktor. Das Magma wirkt danach selbständig emportreibend, bricht mit den schmelzflüssigen Gesteinsmassen durch einen festen Gesteinsmantel hindurch einen Ausweg an die Oberfläche. Dafür sprachen die von K. GILBERT betrachteten Lakkolithe 1875), "Eruptivmassen", die "in beträchtlicher Tiefe sich zwischen horizontal geschichtete Gesteine einzuzwängen vermochten und dabei die darüberliegenden Sedimente gewölbeartig emporhoben" (K. SAPPER 1927, S. 387).

Vom **Phänomenologischen** her, ohne auf Ursachen einzugehen, zeugten nach BRANCO (1894, S. 511) **für aktiven Magma-Aufstieg** die von ihm in Schwaben untersuchten '**Vulkanembryonen**' (s. Maare), ohne große Auswürfe im durchbrochenen Gestein entstandene Vulkanröhren. Diese Vulkanröhren erschienen nicht an Spalten gebunden und 'vulkanische Massen' schienen sich "röhrenförmige Kanäle durch die Erdrinde vermittelt Explosionen auszublasen" (BRANCO 1894, S. 511). Andere Geologen widersprachen BRANCOS Ansicht, denn Magma müsse nicht nur dort empordringen, wo ein klaffender Spalt vorhanden ist, es reichen ja auch nicht sichtbare, geschlossene Schwächestellen, bezeichnet als Bruchlinien, tektonische Linien oder Suturen (J. FELIX et al. 1902). Die meisten Vulkane wären doch mehr oder weniger in Reihen, in Ketten, angeordnet. In der schwäbischen Alb hätte sich die vulkanische Kraft der Kleinvulkane offenbar rasch, in einem einzigen Akt erschöpft. Sie wären wohl nicht so die Norm vulkanischer Tätigkeit wie etwa bei den Vulkanen in Mexico, dort, wo sich verschiedene Spaltensysteme kreuzen. Auch lägen wohl nicht ohne Grund viele Vulkane an Küstenlinien. Die Vulkane des böhmischen Mittelgebirges wiederum gruppieren sich in keiner großen Entfernung vom Südabbruch des Erzgebirges. Daß vielleicht in großer Tiefe, dort, wo man nicht mehr mit Untersuchungen hindringen konnte, vielleicht Schwächestellen

vorhanden waren, welche dem Magma den Aufstieg zumindestens erleichtert hatten, ließ sich weder beweisen noch widerlegen. H. LENK (1909) meinte, daß den Verhältnissen in großer Tiefe ohnehin wohl mehr Bedeutung zukomme als der Beschaffenheit der Oberflächenschichten, auch wenn die letzteren vielleicht einige Tausend Meter betragen. BRANCO, der sich nun BRANCA nannte, verteidigte sich 1909 etwa damit, daß man ihn ungenau gelesen hat, denn er habe etwa geschrieben, "daß die vulkanischen Kräfte doch die Gewalt haben, sich auf eine beträchtliche Länge den oberen Teil ihres Weges selbständig durch die Erdrinde zu bahnen, unabhängig (d. h. hier in diesem oberen Teil natürlich) von gröberen Bruchlinien und Verwerfungen", unabhängig von präexistierende Spalten jedenfalls in den oberen Schichten. Die "vulkanische Energie" könne sich selbst eine Öffnung durch den oberen Teil der Erdrinde ausblasen. Es ging bei der Debatte sehr um Einzelheiten, die sich so einfach nicht überprüfen ließen, jedoch wie vielen solchen Auseinandersetzungen zu neuen Überlegungen führten. Wenigstens an Zerrüttungszonen oder Senkungsfelder sah WILHELM DEECKE 1917, damals Professor in Freiburg i. Br., bis auf Ausnahmen die Vulkane gebunden. Er verwies auf den Gürtel der Durchbrüche längs des Innenrandes der Karpathen, verwies auf den Kaiserstuhl im Oberrheingraben im Gebiet mit dem höchsten Absenkungsbetrag zwischen gerade den höchsten Höhen des Schwarzwaldes und der Südvogesen. BRANCA habe Störungen in der Schwäbischen Alb übersehen.

SUESS sen., der große Geologe Wiens, fand bei einem erneuten Besuch des sächsischen **Erzgebirges** 1893, daß die **Intrusivstöcke des Granit** in ihren Umrissen zeigen, "daß" sie "das Streichen und die Falten des Gebirges schonungslos durchschneiden; etwa wie ein glühender Lötkolben durch die Fasern eines Brettes gedrückt wird" (K. SAPPER 1927, S. 388).

Gehoben war auch die **Felsnadel des Montage Pele'e** auf Martinique (K. SAPPER 1927, S. 387). .

STÜBEL sprach von einer 'vulkanischen Kraft' und er und andere haben versucht, die **Ursache der aktiven vulkanischen Eruption** aus dem **physikalischen Verhalten des Magmas** abzuleiten (F. v. WOLFF 1908), aus Vorgängen, die zur Ausdehnung der schmelzflüssigen Massen und damit zum Durchbrechen darüberliegender fester Gesteine führten. Schon im 18. Jh. gab es die Hypothese, daß Wasser in die Tiefe bis zum heißen Erdinneren dringen kann (G. TSCHERMAK 1877) und der Vulkanausbruch eine große Wasserdampfexplosion, so etwas wie eine zerplatzende Dampfmaschine im Übermaß, wäre. Aber diese Hypothese erklärte nicht die Unregelmäßigkeit und die Seltenheit der vulkanischen Eruptionen. Außerdem fanden zu den tätigen Vulkanen gereiste Chemiker wie BUNSEN oder BOUSSINGAULT in den ausströmenden Dämpfen auch Salzsäure, Kohlendioxid, Kohlenwasserstoffe, Schwefel und Schwefelwasserstoffgas, Wasserstoff, Stickstoff,

Ammoniak, also Verbindungen, deren Herkunft kaum allein mit der Auffassung von "Wasser und Feuer" zu erklären war. Auf indirektem Wege wurde versucht, den Gasgehalt von Magmen zu erfassen, indem Gesteine wie Granit, Gneis, Porphyr zur Rotglut erhitzt wurden, dabei etwa 1 l Granit etwa 20 verschiedene Gase und 89 l Wasserdampf abgab, die Gesteine also bei der hohen Temperatur "explosiv" waren (K. SAPPER 1927, S. 35). So etwa sah das auch C. AUG. DÖLTER in seinen Überlegungen zur 'Physik des Vulkanismus': Gase werden durch Druckentlastung explosiv, entstandene "periphere Herde vermögen kleine Vulkane, Maare oder Explosionskrater zu bilden" (so K. SAPPER 1927, S. 589).

Eine andere Hypothese war, daß beim **Niedersinken** von Teilen der **Erdrinde** durch die Bewegung **Wärme freigesetzt** wird. Aber die bei dem langsamen Absinken freigesetzte Wärme konnte jeoch nicht auf jene Beträge steigen, daß damit die Fülle der Vulkanerscheinungen zustandekam. Gedacht wurde fernerhin an die Freisetzung von bestimmten Substanzen beim Erstarren des Magma. TSCHERMAK erörterte, daß bei der Erstarrung des Magmas im Erdinneren so viel an Gasen und Dämpfen freigesetzt wurde, daß diese gegen 20.000 Vulkanschlote fortlaufend offenhalten (F. LÖWL 1886). F. von RICHTHOFEN erörterte die **Volumenvermehrung** des Magmas **bei** langsamer, vollkommener **Kristallisation** (F. v. WOLFF 1908). Das aber wäre nur bei gewaltigen Tiefen, über 150 Kilometer, denkbar. F. VON WOLFF (M. SCHICK 1952) suchte deshalb nach anderen Vorgängen der Volumenvergrößerung (1908). Einen wärmeerzeugenden Faktor erblickte er in dem einige Jahre vorher entdeckten radioaktiven Zerfall der schweren chemischen Elemente in der Erdkruste. Aber die Wärme befand sich an der Erdoberfläche seit langem in einem Gleichgewicht, denn die fossilen Organismen weisen auf keine einst abnorm hohen Temperaturen. RITTMANN (1939, S. 56) meinte, im Gefolge der Abkühlung der einst glutflüssigen Erde sei **viel Gas**, nicht das der Uratmosphäre, **ins Erdinnere eingeschlossen** worden und dieses gäbe dem Magma Auftrieb: "Die vulkanische Energie beruht auf dem aus prägeologischer Zeit ererbten Gasgehalt des Stamm-Magmas, und der Vulkanismus ist ein auch heute noch andauernder Entgasungsprozeß des irdischen Magmas." Noch um 1958 (PH. H. KUENEN 1958, S. 4) galt als ungeklärt, ob bei untermeerischen Vulkaneruptionen auch vulkanische Asche ausgestoßen wird.

Gedankenreich erscheint FRIEDRICH NÖLKE, Lehrer in Bremen, auch Astronom und trotz von manchen eher als Außenseiter gesehen, wurde er akzeptiert zur Aufnahme seiner Arbeiten in geologische Fachzeitschriften. So stellte NÖLKE 1927 (S. 126 ff.) Probleme zusammen, die noch der Erklärung harreten. Warum, so fragte er, haben sich Magmaherde im Erdinneren erhalten, haben sich nicht wie das umgebende Gestein verfestigt, sind die Magma nach oben führenden Herde nicht längst verstopft und welche Kräfte treiben Magma nach oben zur Wiederfüllung der ent-

leeren Räume. Oder weiter wurde gefragt, warum benachbarte Vulkane in ihren Ausbrüchen oft voneinander unabhängig tätig sind, warum sind manche Vulkane dauernd und andere nur periodisch tätig, **Vulkanausbrüche und Erdbeben** geschehen **meistens unabhängig voneinander**, jedenfalls abgesehen von nahen Erderschütterungen bei einem Vulkanausbruch. Bei den großen Erdbeben gab es kaum gleichzeitig Vulkanausbrüche. Erdbeben haben wohl mit Spannungszuständen in viel tieferen Lagen zu tun als wo die Herde der Vulkane (S. 129) liegen. Die **unterschiedliche Art der Magmen** in den verschiedenen Vulkangebieten, **pazifischer oder atlantischer Charakter**, führt dann schon in die Probleme der Bildung der Intrusivgesteine und der Magmendifferenzierung.

Vulkanismus schafft unterschiedliche **Vulkantypen** (K. SAPPER 1927, S. 242 ff.), so die aus der Ablagerung der von Ausbruch zu Ausbruch ausgeworfenen Materialien, vor allem auch der Vulkanasche, die **Stratovulkane**. Es gibt andererseits die durch festes Gestein hindurchgebrochenen 'reinen Felsenkrater'. Auch Mischformen, mit Felswand an einer Seite gibt es. Am Laki auf Island reihen sich die zentral gebauten Einzelkrater längs einer in der Tiefe liegenden **Spalte**, mit Spaltenausfüllung (K. SAPPER 1927, S. 242). **Island** ist spaltenreich und nicht jede Spalte trennt also schon Erdplatten sonst würde Island zerlegt werden.

Aus einem Vulkan ausgeworfene Materialien können auch etwa von Wind weit verteilt werden, je lockerer, desto weiter, und bilden dann **Fernabsätze**, so 'aufgesetzte vulkanische Ebenen der Republik Guatemala' (S. 243).

Vulkane zeigen sich sehr unterschiedlich aktiv. Manche nur nach Jahren oder gar Jahrzehnten, Der Stromboli ist laufend aktiv und in der Südsee war seit mindesten 800 Jahren ebenso der 361 m hohe Mount Yasur, auf der Insel Tanna. COOK sah 1774 aus der Ferne den Leuchtschein und ist dann auf der Insel gelandet (Internet 2018).

Eruptivgebilde mit landschaftsprägender Wirkung, so regional in Mittel- und Westeuropa

Vulkankegel können dank der Wasserdurchlässigkeit der meisten Tuffe ihre Form lange bewahren, denn im Boden verschwindendes Regenwasser bringt keine Abschwemmung und mittelamerikanische Vulkane behielten ihre Form (K. SAPPER 1927, S. 239), Vulkanische Gesteine, Basalt etwa, auch Trachyt und Rhyolith, aus lange zurückliegenden Zeiten, bilden manche **Landschaften** bestimmende, oft reizvollen Berge, 'Vulkanruinen'. Mancher Basalt stammt nicht von Quellschloten, sondern floß in Flußbetten. Außer den auffälligen Basaltbergen aus dem Tertiär ist die Erdoberfläche Sachsens auch von weiteren magmatischen Gesteinen bedeckt,



Abbildung 342: Quellkuppe Hirtstein, Erzgeb..

auch mit Kuppenbildung, und diese stammen dem Rotliegenden (H.-BEEGER 1962), sind Porphyre.

Beachtenswerte Landschaften mit Bergen vulkanischen Gesteins aus dem **Tertiär**, Basalt oder Phonolith, gibt es in **Sachsen im Erzgebirge und der Oberlausitz** zumal und dem benachbarten großartigen **Böhmischen Mittelgebirge**. Gewiß liegt vor dem Südabbruch des böhmisch-sächsischen Erzgebirges ein großes Senkungsgebiet, auch mit Vulkanismus, aber viele Eruptivgebilde finden sich auch nördlich des Erzgebirgs-Abbruchs, wobei das Erzgebirge als Erhebung zur Zeit ihrer Entstehung nicht bestanden haben muß und die Vulkane also im Zuge der Absenkung des Egertal-Grabens zustandekamen. Der Egertalgraben gilt als Fernwirkung der Alpenentstehung, mit der **Norddrift der Afrikanischen Platte** (Wikipedia 2020 u. a. You Tube). Im tieferen Untergrund des Böhmischen Mittelgebirges liegt 'Grundgebirge', und das ist, wie erschlossen worden war (J. B. HIBSCH 1891, S. 398), nur an wenigen Orten nicht von jüngeren Ablagerungen bedeckt, von denen der oberen Kreide und keine Formationen zwischen dem Grundgebirge und der oberen Kreide auftreten. Die vulkanischen Eruptionen stammen aus dem Oberoligozän, wurden auch gesehen als post-oligozän, galten als nicht gebunden an tektonische Störungszonen (H. VON STAFF 1914, S.7/8), gelten aber nun als Gebilde an Kreuzungen von herzynischen und erzgebirgischen Störungszonen (Wikipedia 2018). Das Gebiet wurde aber auch in einzelne Schollen zerbrochen (J. B. HIBSCH 1891, S. 401). Ausgedehnte Lavafelder gibt es nicht und die Vulkane hier waren wohl eher Quellkuppen (Wikipedia 2018) oder Decken. Wie in der Auvergne hat auch der Basalt von Sachsen und Böhmen früh (s. WERNER u. a.) zu Forschungen angeregt. Der Brunnen auf der Burg Stolpen, 82 m tief, wurde in einen basaltischen Zufuhrkanals getrieben.

An Spalten aufsteigender Basalt erstarrt in **Gängen**. Der am Großen Winter-



Abbildung 343: Hoch zum Hirtstein.



Abbildung 344: Basaltgang, Gr. Winterberg.

berg in der Sächsischen Schweiz wird als der hier ausprägteste genannt (H. VON STAFF 1914, S. 8). Viele Basaltaufschlüsse, wie der am Schafberg bei Baruth in der Oberlausitz oder der vom Bubenik bei Löbau, wurden erst durch Steinbruchbetrieb sichtbar.

Das zu **Phonolithen** führende Magma hat mancherorts die Basalte durchbrochen, ist also jünger.

Nicht jede Spalte, in der Lava aufsteigt, trennt schon Erdplatten wie das spaltenreiche Island zeigt, wo aber Erdplatten auseinanderdriften,

Basalt gibt es auch in **S-Thüringen**, so sind ehemalige Vulkane die zwei **Gleichberge** und gibt es den eindrucksvollen Basaltfächer **Feldstein bei Themar**.

Vulkanisch ist das **Siebengebirge** südlich Bonn, am Drachenfels mit dem **Tra-**



Abbildung 345: Basaltgang 'Teufelsmauer', Dub/Böhmen.



Abbildung 346: Basaltgang Cesky Dub.



Abbildung 347: Basaltgang Burg Trosky.



Abbildung 348: Querglieder. Basalt b. Zittau.



Abbildung 349: Basalt. Bubenik, Löbau.



Abbildung 350: Basalt. Prachen, Panska Skala/Böhmen.



Abbildung 351: Böhm. Mittelgeb..



Abbildung 352: Böhmen: Bezdez.



Abbildung 353: Böhmen: Miletovka.



Abbildung 354: Böhmen: Borschen.



Abbildung 355: Böhmen: Rosenberg.



Abbildung 356: Hochwald/Zittauer Gebirge, Phonolith auf Sandstein.



Abbildung 357: Gr. Gleichberg. S-Thür..



Abbildung 358: Hint. Feldstein, Themar.



Abbildung 359: Basalttuff Stopfelskuppe/Eisenach.



Abbildung 360: Vulkanlandsch. Siebengebirge.



Abbildung 361: Jungvulkan. Auvergne.

chyt.

Und der **Hegau** mit dem Hohentwiel.

Noch alle Spuren von ziemlich jungem Vulkanismus kennzeichnet die **Auvergne** und andere Teile des französischen Zentralmassivs, die Auvergne wie WERNERS sächsisch-böhmisches Grenzgebiet ein klassisch zu nennendes Terrain geologischer Grundlagenforschung. .

Oft sind diese Vulkanberge etwa im oberen Sächsischen Erzgebirge **Decken**, flossen "in flache Täler der tertiären Landoberfläche" und wurden erst nach Hebung des Landes und Abtragung der weicheren Umgebungsgesteine zu Erhebungen, durch Reliefumkehr. Es gibt aber auch **erstarrte Zufuhrkanäle**, "treten Schlotausfüllungen imponierend im Landschaftsbild heraus", vielfach nur "die in der Tiefe



Abbildung 362: Auvergne, ehem. Krater.



Abbildung 363: Tuff. Auvergne.



Abbildung 364: Zentrale Auvergne.



Abbildung 365: Auvergne b. Mont-Dore.

wurzelnde und darum unverwischbare Schlotausfüllung ... ”(K. SAPPER 1927, S. 232). Eindrucksvoll ist das bei Le Puy in Mittel-Frankreich.

Vulkanischer Entstehung sind auch Teile der **Mittelgebirge Nord-Ungarns**, südlich der Karpathen, einst eher am Rande geologischer Forschung gelegen. Bis 938 m steigt im Berg Czovanyos am Rande einer nun bewaldeten Caldera das von **Andesit** bestimmte **Börzsöny**-oder Pilsen-**Gebirge**, mit intensiven vulkanischen Ausbrüchen im jüngeren Tertiär, am Ende des Helvetien (L. JUGOVOCS im Internet 2013). Lava wurde in diesem geologisch auch ”Donau-Andesit-Gebirge” genanntem Raum wenig gefördert, aber Bomben, Rapilli, Asche. Auch **Trachyt** bestimmt das **Matra-Gebirge** mit dem 1015 m hohen Kekes. Und vulkanisch ist der Bakonywald oder auch **Bakony-Gebirge** genannt, bis 704 m hoch und mit dem 437 m hohen basaltischen Tafelberg **Badacsony** am Nordwest-Ufer des Balaton/Plattensee, einem hochgeschätztem Weinbaugebiet.

Tuff - Landschaft aus Tuff: Kappadokien

Im Herzen von Anatolien, in Kappadokien, wurden durch bis wohl zum Pleistozän reichende **Vulkanausbrüche**, vor allem die des 3891 m hohen Erciyes Dag, große Massen von Tuff, hellem und sandfarbenem, über ein etwa 10.000 Quadratkilometer großes Gebiet verstreut und folgende **Abtragung** schuf hier merkwürdigste Gebilde. Spitze Pyramiden, oft mit härterem Material bedeckt, wie steile Burgen entstanden. Menschen haben die Gebilde teilweise ausgehöhlt, ja leben darin. Vulkan- wie Abtragungslandschaft sind hier entstanden. 1985 wurde hier der UNESCO Nationalpark Göreme eingerichtet.



Abbildung 366: Vulkanschlot. Le Puy.



Abbildung 367: Le Puy. Vulkanschlot.

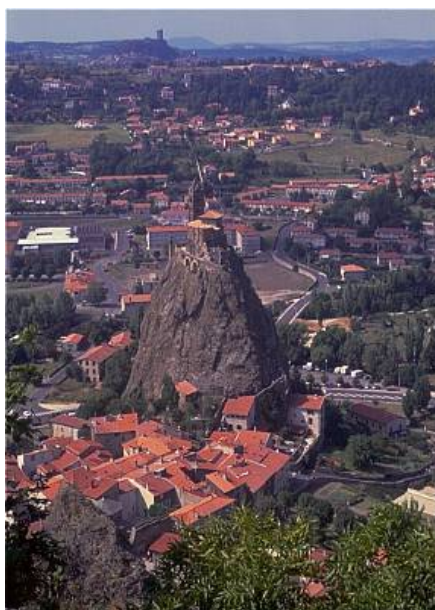


Abbildung 368: Vulkanschlot in Le Puy.



Abbildung 369: Börzsöny-Gebirge.



Abbildung 370: Tuff Cappadocia.

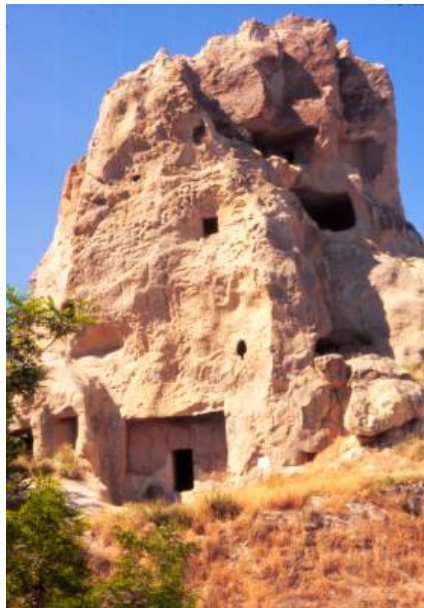


Abbildung 371: Leben im Tuff. Cappadocia.



Abbildung 372: Tuff. Santorin.

Tuff gibt es auch auf der Ägäis-Insel Santorin.

Zeitlich noch relativ nahe Magmenausbrüche von weiter Wirkung - Supervulkane

Auch als schon recht menschenähnliche Wesen sich in Teilen der Erde bewegten gab es starke Vulkanausbrüche, und sie wurden in neuerer Zeit näher erforscht, auch durch spezielle in die Ausbruchgebiete entsandte Expeditionen. Gegen die endogenen Kräfte in der Tiefe, ob Erdbeben oder Vulkane sind die Menschen machtlos und es muß genügen, etwa zu wissen, wo wegen Erdschollengrenzen Katastrophen zu erwarten sind und kann eventuell auf die Möglichkeit kurzfristiger Vorwarnungen hoffen. **Geomorphologie und Humangeschichte verflechten sich hier** eng miteinander. Nicht einmal Vorhersagemöglichkeiten gibt es bei Einflüssen **aus dem All**, Sonnenwinde oder Supernovae und Gammablitz

Die Krater mancher **Supervulkane** bedecken so große, auch ziemlich flache Landflächen, daß ihre Natur als Riesencaldera zuerst nicht recht erkannt wurde, obwohl dort heiße Quellen, Geysire und nach Schwefelwasserstoff stinkende Gase vom brodelnden Untergrund zeugen, wie der gesamte Yellowstone-Nationalpark/USA oder die Phlegräischen Felder bei Neapel. Auf der Erde werden nunmehr 23 Supervulkane angegeben (Internet 2018). Den **Yellowstone-Nationalpark** erkannte als

riesige Caldera 1871 der an der geologische Erkundung des USA-Westens stark beteiligte FERDINAND V. HAYDEN (Wikipedia 2018). Auf seine Initiative wurde das Gebiet 1872 zum Nationalpark erklärt, der erste Nationalpark der Welt. Bei 33 m Höhe in 2000 m Meereshöhe ist der Nationalpark 8,991 qkm groß (Internet 2018), innerhalb 86 und 56 km. Wie bedroht ist die gegenwärtige Menschheit von einem Supervulkan, der weithin das Leben auslöschen könnte und wohl anders wirkt als die Sanftheit des LYELLschen Aktualismus nahelegt? Besteht ein solcher Supervulkan gar auch in Mitteleuropa unter dem Laacher See und überhaupt in der Eifel (Internet 2018)? Sind es drohende politische Katastrophen, welche den Blick hierfür schärfen? Ausbrüche innerhalb der vor 640.000 Jahren entstandenen riesigen Yellowstone-Caldera in der weiteren Erdgeschichte erfaßten keineswegs stets das gesamte Gebiet. So wie auch in der von einem lückenhaften Rand einer trockenen früheren Caldera des Vesuv der viel weniger ausgedehnte spätere und heutige Kraterkegel sich befindet.

Vor etwa 74.000 Jahren brach im nördlichen Sumatra/Sumatera der Vulkan aus, der den beeindruckenden **Toba-See** zurückließ. Ein **Supervulkan**, der also eine weite Caldera hinterließ, mit den Ausdehnungen 87 km lang und 27 km breit und mit einer Wasserfläche von 1776,5 qkm etwa 3-mal so groß wie die Wasserfläche des Bodensee und so der größte Kratersee der Erde (Wikipedia 2018). Er gilt als der stärkste Vulkanausbruch der letzten 2 Millionen Jahre. Ein "vulkanischer Winter" sei gefolgt. Die aber wohl ohnehin bestehende Eiszeit wurde verstärkt. Für die Südhalbkugel gibt es keinen Nachweis. Die asche und Aschenwolke und die Gase haben gar die Existenz der Vormenschen bedroht (A. BOJANOWSKI 2005), seine genetische Vielfalt stark eingeschränkt. Die Dinge blieben aber sehr umstritten. In Südindien am Flusse Jurreru fanden sich unter und über einer auf den Toba-Ausbruch zurückzuführenden Ascheschicht gleichartige Steinwerkzeuge, gab es also keine Änderung der dortigen damaligen Steinzeitkultur. Aussterben von Organismen fanden sich ebenfalls nicht. Daß ein solcher Ausbruch etwa heute ein Menschheitskatastrophe wäre. ist jedoch kaum zu bestreiten. LYELL kannte das und anderes nicht, sah die Erdgeschichte in manchem zu rosig, denn der Aktualismus hat eben auch seine Grenzen.

Als der deutsche Arzt und Anthropologe BERNHARD HAGEN (in 1883, S. 146) 1881 den von Einheimischen viel befahrenen Tobasee erreichte, nicht als erster Europäer, so verkannte er in dem großen Seebecken die Natur als riesige Caldera und meinte "ist das Becken des Tobah-Meeres nur die entsprechend vergrößerte Ausgabe einer der die Hochebene so häufig durchziehenden Schluchten", aber "das Plateau fiel fast allseits unvermittelt schroff und jäh gegen 1000 Fuss direkt zum Seespiegel ab; ich hatte den Eindruck, als müsse durch irgendwelche Naturgewalt voreinst das Land hier plötzlich hinabgesunken sein. Die Ränder der Ebene

senkten sich scharf in mannichfachen Furchen, Zacken und Kanten hinab,” So sehr wurde einst verkannt, welche Ausmaße eine vulkanische Explosion annehmen konnte.

Auf der Nordinsel von **Neuseeland** liegt **Rotorua** in einer riesigen Caldera. Thermalquellen und Geysire zeugen vom noch bestehenden Magma im Untergrund.

Die **Phlegräischen Felder** (Wikipedia 2018) bedecken heute bei einer Höhe von 458 m eine Fläche von 458 qkm. Vor 39.000 Jahren gab es einen Ausbruch, dessen Asche bis Rußland verfrachtet wurde und sich in den Eiskernen auf Grönland nachweisen läßt.. Hat der verdunkelte Himmel mit Nahrungsverlusten die Neandertaler aussterben lassen, die nur in Europa und Zentralasien lebten und somit alle betroffen waren. Der 'moderne' Mensch in seinem größeren Verbreitungsgebiet, so in Afrika, wurde nicht insgesamt betroffen (YouTube 2018). Einen letzten Ausbruch in den Phlegräischen Feldern gab es 1538. Zu den andauernden Anzeichen von aktivem Magma im Untergrund gehören auch mehrfache Bodensenkungen und dann Erhebungen, die auch den bei LYELL eingehend behandelten Tempel auf dem Marktplatz von Pozzuoli betrafen. Die heutige Überwachung erfolgt hier rund um die Uhr ebenso wie die **kontinuierliche Überwachung** des Yellowstone-Nationalparks in Wyoming, der Sankt Andreas-Spalte in Kalifornien und vieler Vulkane auch anders, so in Ecuador.

Auch **in** nun wirklich **sehr historischen Zeiten**, also nachchristlich, haben Vulkane erdweit gewirkt, in der Atmosphäre und damit beim Wetter. 535/535 n. Chr. gab es den das Land und auch einige Maya-Städte verwüstenden Ausbruch des **Ilopango** im heutigen El Salvador. Eine Caldera mit etwa 14 km Länge und etwa 8 km Breite wurden hinterlassen und herrlich blaue Seen. Eine globale Abkühlung wird auf den Ausbruch zurückgeführt (Internet 2018).

Bis weit in 19. Jh. hinein gab es in von Europa fernen Regionen große, sich auch in Europa auswirkende Vulkanausbrüche, von denen man Europa nichts erfuhr, weil von dort keine Nachrichten, keine Schiffe kamen. Vor **1259**, nun gesehen 1257 /Wikipedia 20189 muß ein großer Vulkan ausgebrochen sein und in einer Schicht des Eises in Grönland findet sich "außergewöhnlich schwefelhaltiger Schnee" (A. BOJANOWSKI 2007). Auch in Eisbohrkernen der Antarktis wurde das nachgewiesen. Erdweite Hungersnot folgte, ein Massensterben auch in Europa, mit gefundenen Massengräbern in London. War es der Vulkan El Chichon in Mexico? Nach neueren französischen Forschungen wird nunmehr der die Schwefelsäure-Schwaden in der Hochatmosphäre auslösende Vulkan auf **Lombok** im Sunda-Archipel gesehen, der Samala. 43 km hoch sollen die Vulkanwolken gestiegen sein (YouTube 2018).

1783 und mit Unterbrechungen bis 1785 brachen die Vulkane der **Laki-Reihe** auf

Island aus und harte Winter auf der Nordhalbugel folgten. Isländische Reiseführer spotteten heute, daß Island damit die Französische Revolution ausgelöst habe.

Das Jahr 1816 gilt in Europa als das "Jahr ohne Sommer", mit Schnee im Juni und schlechten Ernten und für viele Hunger. Daß dies überall registriert wurde ließ annehmen, daß ein erdweit wirkendes Ereignis dahinterstand. Und keiner in Europa konnte damals wissen, daß dies die Folge des Ausbruchs des Vulkans **Tambora** weit östlich von Java auf der Insel Sumbawa war, denn dort liefen kaum europäische Schiffe an und Schiffe von Batavia/Djakarta nach Europa waren monatelang unterwegs. Etwa 300-mals so viel Material soll der Tambora ausgespien haben wie der Mount St Helens 1980 (A. BOJANOWSKI 2005), der doch viel in seiner Umgebung verwüstete und den Himmel weithin verdüstert hatte.

Der **Krakatau** nahe der Südspitze von Sumatra/Sumatera in der engen Sundastraße, mit Java auf der Gegenseite, lieferte 1883 den nun am eingehendsten auch von nahen Schiffen dokumentierten Vulkanausbruch der Neuzeit. Der Ausbruch veränderte die Sicht auf die Vulkane, gab einen Auftrieb für die Vulkanologie, beeinflusste das damals von Sicherheit geprägte Weltbild. Schon im Mai hatte es starke Ausbrüche gegeben. Als etwas Ruhe eintrat, stiegen sogar Vulkanologen an den Kraterrand. Aber der erste große überraschende Ausbruch kam am Sonntag, den 26. **August 1883**. Weitere Ausbrüche folgten, der schwerste am 27. August 10.02 Uhr. Tsunamis vernichteten weithin die Küsten. Zehntausende starben. Beim Krakatau-Ausbruch 1883 gab es eine rasche Nachrichtenübermittlung auch nach Europa, telegrafisch durch Kabel,. Europa konnte sich an leuchtenden Nachtwolken erfreuen.

Eine nur in der Gegenwart, um Jahre 1902, **erstmal**s beobachtete Erscheinung war der in dem Krater gebildete und hochgehobene Lavafropfen, die "**Lavaquellkuppe**", beim 1.397 m hohen Vulkan **Mont Pelé** auf der französischen Antilleninsel **Martinique**. Diese Versperrung des Gasaustritts nach oben wohl ließ die Gase sich einen seitlichen Weg bahnen und die explosionsartig austretende, "absteigende Glutwolke" **vernichtete** am 30. August **1902** bis auf 3 alle etwa 30.000 Menschenleben in der einst durch Zucker- und Sklavenhandel reich gewordenen **Hafenstadt St. Pierre**, eine Perle der Antillen, mit Lyzeum, botanischem Garten, Pferdebahn, elektrischer Straßenbeleuchtung, Kirchen und anderen schönen Gebäuden. 2 vorangegangene große Ausbrüche im Mai 1902 hatten sich nach anderen Seiten des Berges gerichtet. K. SAPPER (1905, S. 73) stieg 1903 auf den Gipfel des Mont Pelé, hindurch zwischen den versengten Stämmen der Bäume, und dann, wo keine Vegetation mehr war, "erblickten wir, halb von ziehendem Nebel verdeckt, die ungeheuer Felsennadel des Co[^]ne, die in ihrer gespenstigen Nacktheit, Steilheit und Höhe überraschender wirkte als je ein anderer Anblick ... auf unseren Reisen ..." Noch immer folgten weitere Ausbrüche von Dampf- und Aschensäulen (S. 77).

Der Pfropfen, wie ihn 1903 auch der Geograph GEORG WEGENER (1904, S. 114 ff.) sah und fotografierte, bröckelte dann ab.

Der **Vesuv** hatte mit dem beträchtlichen Verlust von Menschenleben und Zerstörung von Wohngebieten verbundene **Ausbrüche 1906 und 1944**. Der voraussehbare Ausbruch 1906 begann am 4. April und die Eruption lag vor allem in der zum 8. April führenden Nacht. 500 Menschen kamen ums Leben. Asche fiel sogar an der Ostsee (Interner 2018). 1944 wurden zwei Städte zerstört. Damals waren die Amerikaner schon in Neapel und es gibt beeindruckende Filmaufnahmen von der in die Städte eindringenden und die Häuser zerstörenden Lava. Wie einst zogen Prozessionszüge mit Marien- und anderen Heiligenfiguren durch die Region (Pathe u. a. auf YouTube, 2018). Die lange Ruhe seit 1944 wird als trügerisch angesehen. Bei einem eigenen (ZIRNSTEIN 1990) Besuch auf dem Vesuv war in dem Krater nicht ein Schleierchen zu bemerken. Wegen Verschluß des Kraters mit einem Lavapfropfen?

In einem Vulkanfeld in Mexico bei dem Dorfe **Paricutin** entstand am 20. Februar **1943** ein neuer, aber unterdessen erloschener Vulkan.

Einen gewaltigen Ausbruch erlebte das westliche Nordamerika am 18. Mai **1980**, als der in der vulkanischen 'Kaskadenkette' der **Mount Helens** ausbrach, nicht ohne vorherigen warnende Zeichen (NZZ Internet 2018). Es gab 57 Tote, gewaltige Wasserfluten, eine verdunkelnde Aschewolke über Seattle, Es wurde anschließen hier gut verfolgt, wie rasch Lebewesen wieder erschienen, die verwüstete Welt wieder grün wurde.

Nach etwa 550 Jahren Ruhe brach am 12. Juni 1991 auf der Philippinen-Insel Luzon 83 km nordwestlich von Manila der Vulkan **Pinatubo** (Internet 2018) aus und es folgte der stärkere Ausbruch am 15. Juni. Die Ausbrüche waren kurz vorher vorausgesagt worden und deshalb hielt sich die Zahl der Opfer in Grenzen. Erdweit gab es eine dünne Schicht schwefelsäure-haltigen Nebels. Die Temperaturen fielen um durchschnittlich 0,5° C.

Die vom friedvollen Zusammenleben der zu 88,4% schwarzhäutigen Bevölkerung von im Jahre 2011 4922 Einwohnern geprägten 102 qkm großen Karibikinsel **Montserrat** wird durch ein nach etwa 400 Jahren der Ruhe im Juni 1997 ausgebrochenen Vulkan zur Lava- und Aschenwüste, wobei auch hier eine Magmanadel im Krater eine Rolle spielte.

Der oft schon tätige **Merapi** auf Java blieb etwa 1992 - 2002 in einem Dauer-ausbruch aktiv und nach einigen Jahren Ruhe ging es 2010 und weiteren Jahren wieder los (Wikipedia 2018). Immer wieder gab es große Evakuierungen.

Auf **Island** brach am 14. April 2010 der Vulkan **Eyiafjallajökull** aus und legte

mit seiner in die Atmosphäre geschleuderte Vulkanasche bald den europäischen Flugverkehr weitgehend lahm. Die glasartige Struktur dieser Asche wird schon bei um 700°C zähflüssig und schädigt die Flugzeug-Triebwerke, die eine Temperatur bis über 1000°C aufweisen. Der vor allem aus Quarzkörnchen bestehende **Wüstenstaub** schmilzt erst bei 1650°C und ist damit für die Flugzeuge **weniger gefährlich** als die Vulkanasche (O. REITEBUCH et al. 2014, S. 27/28). Die moderne Technik muß also viele Parameter kennen und beachten, wenn sie gefahrlos funktionieren soll!

Und **Supervulkane**, Megavulkane, die den Tambora weit übertreffen, drohen der Menschheit. Etwa unter dem Yellowstone-Nationalpark, in dem Geysire sich wiederbelebten und Bodenaufwölbungen zu beobachten sind (YouTube). Aber es kann noch lange dauern, bis hier ein Ausbruch geschieht, oder es kann auch morgen sein. Etwa 20 Seismometer verfolgen die häufigen Erdbeben. Ein Ausbruch des Supervulkans der Yellowstone Caldera könnte nahezu das Ende der USA sein.

Große und weitausgedehnte vulkanische Vorgänge in weiter zurückliegenden Zeiten der Erdgeschichte

Gewaltige Lavamassen formten in manchen **zurückliegenden Perioden** der Erdgeschichte weite Regionen und waren von **erdweiten Auswirkungen** gewesen sein. Ein besonderes Kapitel im Magmenaufstieg sind die **riesigen Lava-decken**, jene im Dekkan, in Oregon in den USA, in Sibirien, in Südafrika, in Äthiopien. Wohl relativ ruhig und in längeren Zeiträumen, jedoch geologisch kurzen Zeiträumen und in festen Regionen kamen sie aus klaffenden Spalten zustande. Ihre Auswirkungen auf die Zustände auf der Erde, etwa in der Atmosphäre, mögen dennoch groß gewesen sein. Solche in ihrer Ausdehnung riesigen magmatischen Massen, ab etwa 1 Million qkm, nannten 1992 M. F. COFFIN und O. EIDHOLM (Wikipedia 2018; u, a, im Internet) '**Large igneous Province**', deutsch auch genannt '**Magmatische Großprovinz**'.

Über 1 Millionen Jahre lang, nun eingeordnet am **Perm-Trias**-Übergang flossen in großen Teilen Sibiriens die den **Sibirischen Trapp**/Trap (Wikipedia 2015, 2018 und weitere Beiträge im Internet) bildenden Magmamassen, 'Flußsalt'. Nicht aus einzelnen Vulkanen aus riesigen Spalten floß die Lava, in Hunderttausenden Jahren (Internet 2018). Auf Europa zum Vergleich ausgedehnt wären 2/3 des europäischen Kontinents bedeckt gewesen. Die Alterstellung galt um 1956 noch als "nicht sicher" (S. VON BUBNOFF 1956, S. 339), aber heute (2018) wird mit diesem langwährenden Vulkanereignissen als Ursache der gewaltigen Artensterbens am Ende des Perm fest gerechnet (Internet 2018). Die einstige Bedeckung mit diesem Trapp



Abbildung 373: Im Basalt Südafrikas.

(Wikipedia 2015) wird auf 7 Mill. Quadratkilometer geschätzt und beträgt infolge Abtragung heute etwa 2 Millionen Quadratkilometer, bei teilweiser Dicke bis 3 km. Wertvolle Metall-Lagerstätten entstanden. mit Nickel, Kupfer, Palladium. Asche verweist auf Explosionen. 1935 wurde hier Norilsk gegründet, wegen der Metallindustrie eine stark verschmutzte Stadt. Hat ein einstürzender Asteroid die Erdoberfläche so aufgerissen, daß das Magma nach oben drang? Wobei der Asteroid auch am entgegengesetzten Teil der Erdkugel eingeschlagen sein kann. Hängt die große Veränderung in der Organismenwelt, ein Massenaussterben auch in den Meeren vom Perm zur Trias mit der Trapp-Bildung zusammen? Im 21. Jh. (s. Internet 2018) wird das angenommen. Bei den Ausbrüchen kam Schwefeldioxid/SO₂ in die Atmosphäre, das als Schwefelsäure/H₂SO₄ in die Meere kam und sie versäuerte (Wikipedia 2018). In großen Tiefen des Meeres gibt es Methan-Hydrat. Bei steigender Temperatur des Meerwassers wird **Methan** freigesetzt und das Treibhausgas in die Atmosphäre aufgestiegen erhöht hier die Temperatur weiter. Sauerstoffmangel im Wasser läßt keinen Sauerstoff benötigende Mikroben, Purpurbakterien, sich vermehren (Internet 2018).

Oberkreidezeitlich, also vor 66 Millionen Jahren, bis ins tertiäre Eozän sind die geschichteten Lava-Massen, der **Trapp**, m **Dekkan** in Vorderindien, ab östlich von Mumbai/Bombay, wo die Lavamassen einst (S. VON BUBNOFF 1956, S. 540) heute über 500.000 qkm einnehmen (T. HARDT et al. 2011) und einst 1,5 Mill. qkm betragen haben mochten, bis 2000 m mächtig (Wikipedia 2018), ja geschätzte Dicke von 10 bis 50 km (T. HARDT et al. 2011, S. 32). 500.000 - 9.000 000 Jahre sollen die Eruptionen gedauert haben (Wikipedia 2018). Die Dicke Schwierig ist zu sagen, ob die großen Veränderungen in der Organismenwelt am Ende der Kreidezeit, das gewaltige Aussterben von großen Gruppen wie die Dinosaurier und zahlreiche Meeresorganismen wenigstens auch mit den gewaltigen vulkanischen



Abbildung 374: Rochlitzer Berg, von O.

Vorgängen etwa im Dekkan zusammenhängen oder der Meteoriteneinfall alles erklärt. Dem Aussterben der Dinosaurier ging zeitlich und vor dem Meteoriteneinfall voran das Verschwinden der Meeressaurier (Internet terra 2018) ?. Viele führen diese Faunenumbrüche heute nur auf einen Meteoriteneinsturz zurück. Vielleicht hat der Meteoriteneinfall das Ausbrechen von Lavamassen verursacht und hat so seine eigene Wirkung verstärkt? Begann der Lavausbruch, wenn oberkreidzeitlich, nicht vor dem Meteoriteneinfall? Gab es unter gewaltigen Staubmassen so etwas wie einen 'vulkanischen Winter', wie man ihn im 20. Jh. nach einem Atomkrieg als 'atomaren Winter' befürchtete?

In Nordwestsachsen, erforscht von sächsischen und mitteldeutsche Geologen, befindet sich teilweise aufgewölbt und unter oft nicht starker Deckschicht der **Porphyr des Unterrotliegenden** (K. PIETZSCH 1962, S. 279), Porphyr, verschiedener Art, erstarrte in nicht zu großer Tiefe. Das Porphyrgebiet von Nordwest-Sachsen und verbunden mit dem von Halle und Löbejün ist ein geschlossenes jungpaläozoisches Vulkangebiet von etwa 1700 Quadratkilometern und damit eines der größten in Europa, neben dem der Saar-Nahe-Mulde. An eine Magmatische Großprovinz reicht es nicht heran. Es erstarrte in Nordwest-Sachsen nicht nur Porphyr, sondern gibt auch **ausgeworfenes Vulkanmaterial, Tuff**. Der **Rochlitzer Berg** (R. GLÄSEL 1955, S. 19 ff.; K. PIETZSCH 1962, S. 291), der Gipfel 350 m NN, war **Stratovulkan** des Unter-Rotliegenden, bis 80 m Mächtigkeit aus vulkanischen Aschen, Sanden, feinkörnig, teilweise ungeschichtet, mit den für Vulkanausbrüche typischen 'Bomben' und Lapilli, Porphyrtuff, auch genannt Rochlitzer Quarzporphyr, obwohl der Tuff nicht das Erstarrungsgestein Porphyr ist. Im unteren Teil fanden sich auch Pflanzenreste. Wie weit war der Rochlitzer Berg von Deckschichten umhüllt gewesen?



Abbildung 375: Rochlitzer Berg, Steinbruch.



Abbildung 376: Rochlitzer Berg, Tuff.



Abbildung 377: Gemünder Maar.

Aber die Porphyrmassen in Nordwest-Sachsen und dem benachbarten südöstlichen Sachsen-Anhalt sind vergleichsweise bescheiden gegenüber dem, was anderswo erschlossen wurde.

Etwas unterhalb und auf der Erdoberfläche bildet eingedrungenes Magma in den Sedimenten auch die **Lakkolithe**, die GILBERT (1896) benannte

Vulkanembryonen, Maare

Nicht überall, wo Magma emporstieg, entstanden vollständige Vulkane. Das Magma blieb mancherorts ohne großen Ausfluß im Aufstiegskanal stecken und es entstand vielleicht durch **Gasausbruch** eine mehr oder weniger runde bis ovale Senke, ein **Maar**. In Deutschland gibt es großartige Maare in der **Eifel**, unweit Daun. Den in der Volkssprache geprägten Begriff 'Mahr' benutzte SEBASTIAN MÜNSTER in seiner 'Geograpia'. Der Trierer Geologe und Gymnasiallehrer JOHANNES STEININGER führte den Griff 'Maar' in die geologische Literatur ein (Wikipedia 2020).

W. BRANCO (BRANCA) beschrieb 1894/1895 die "125 Vulkan-Embryonen" **Schwabens** auf der Höhe oder im nördlichen Vorland der schwäbischen Alb vor allem um Urach. Bisher hatte GILBERT die Zahl der auf der Erde bekannten Maare mit 50 angegeben, nunmehr waren in Schwaben also viel mehr kleine und oft nicht richtig erhaltene Maare hinzugekommen. Von den schwäbischen vulkanischen Kanälen, die "keineswegs Spalten sind" (1894, S. 508, 510), von mittelmiozänem Alter, waren



Abbildung 378: Maar Schalkenmehren.



Abbildung 379: Toten-Maar.

manche bis weit hinab aufgeschlossen und konnte so deren Tuff-Füllung mancherorts bis 800 Meter hinab verfolgt werden und das in sie hineingelangte Gesteinsmaterial der Deckschichten dazu. Aufgeschnitten waren solche am Steilabfall der Alb (1894, S. 507)

Calderen, Ez. Caldera

Calderen galten als Kessel, die nach einem Vulkanausbruch den Krater füllten. Der Begriff wurde durch VON BUCH in die geologische Literatur eingeführt (Wikipedia). Die oft großen, Maare weit übertreffenden und umfangreichen mit Wasser gefüllten Kessel in Vulkangebieten, die Calderen, wurden etwa durch den britischen Petrologen JUDD ebenfalls auf vulkanische Explosionen zurückgeführt (H. RECK 1936). Genauere Untersuchungen im 20. Jh. ließen jedoch auch bezweifeln, daß derartige Massen, wie zur Aushöhlung vieler Calderen hätten weggesprengt werden müssen, kaum hätten mit den aus dem Vulkanismus bekannten natürlichen Kräften weggesprengt werden können. HANS RECK, der statt "Caldera" "Kaldera" schreibt, entwickelte vor allem nach seinen Forschungen an der Caldera der griechischen Vulkaninsel Santorin und unter Berücksichtigung der Abläufe beim Krakatau-Ausbruch 1883 die Vorstellung, daß die Calderen und die Krater unterschiedliche Erscheinungen sind. Calderen entstünden nach RECK und dann auch anderen Vulkanologen, wenn Magmaherde in der Tiefe zusammensinken und dann weiter oben liegende Massen abgesenkt werden. R. D. VERBEEK, der im Auftrag der niederländischen Regierung die Vorgänge am Krakatau rekonstruierte, und der deutsche Geologe BRANCA, hatten dem vorgearbeitet. Es wäre Phantasie gewesen, daß am Krakatau ein 75 Quadratkilometer großes Oberflächenstück einfach 'zerstäubt', in die Luft geblasen worden wäre. Die Flutwelle wurde ausgelöst infolge des Einbruchs, nicht des Ausbruchs. Inmitten des Kessels des Krakatau blieb auch eine Gesteinsbrücke stehen, was bei einer Explosion wenig vorstellbar war. Nach einer kurzen übermächtigen Schlußphase vom 26. bis zum 28. August 1883, als wohl Meerwasser bis zum Magmaherd kam, trat auch am Krakatau rasch wieder Ruhe ein

In einer Caldera können sich erneut Krater bilden, da der Vulkanismus in ihr noch nicht zu Ende sein muß. Aber während die Krater zum Aufbaukomplex eines Vulkans gehören, wäre eine Caldera meine Abbauf orm, "Ausdruck schollenhaften Niederbruches" (H. RECK 1936, S. 163). Krater sind eruptive Öffnungen. Calderen sind passive Abbauf ormen. Sie sollten dabei eher auch als eine Schwäche - und Alterserscheinung von ausklingendem Vulkanismus in einem Gebiet gelten. RECK arbeitete außerdem paläontologisch in Afrika, grub hierbei auch fossile Menschenreste in Ost-Afrika aus. Er starb an einem Herzleiden am 4. August 1937 in Laurenço Marquez, dem heutigen Maputo.



Abbildung 380: An der Caldera. Santorin.

Solche Überlegungen waren dann auch an den anderen großen Calderen der Erde anzustellen, so in Japan, dem Oregon-Krater in den USA, dem Bolsena-See in Mittelitalien (W. KRANZ 1937).

Es gibt auch kleinere Calderen, vielleicht dann eher Ausbruchsergebnis..

Rätselhaft blieben bei allen diesen Diskussionen um Vulkanismus immer wieder das Nördlinger Ries und das nicht weit entfernte Steinheimer Becken. Ihre Deutung als Einschlagkrater eines Meteoriten kam erst im 20. Jh. (s. dort).

Abklingender Vulkanismus? - Heißwasser, Solfataren

Wenn in einem Gebiet schwächere vulkanische Erscheinungen auftreten, wurde das öfters als **abklingender Vulkanismus** gedeutet wurde. In Mitteleuropa gilt das für den südlichen Randabbruch des sächsisch-böhmischen Erzgebirges zum **Eger-/Ohre-Graben** mit den nordwestböhmischen Bädern Franzensbad und Karlsbad, hier, wo sich GOETHE nicht nur als Badegast aufhielt, sondern auch für geologische Dinge interessierte. Von möglicher Magma im Untergrund zeugt der Sprudel von Karlsbad/KarlovyVary. Er liefert pro Minute 2000 l Wasser von 72° C und pro Liter 400 mg CO₂ (Internet 2018). In der Nähe von Franzensbad/Frantiskovy Lazne mit viel kühleren, und wegen ihrer Mineralienbestandteile therapeutisch interessanten Quellen befindet sich schließlich auch der GOETHE interessierende



Abbildung 381: Caldera. Tusnad O-Rumänien 1970.



Abbildung 382: Mofette. Soos, W-Erzgeb..

erloschene junge Kleinvulkan Kammerbühl (s.d.). In den Senken des Eger-/Ohre-Grabens bildeten sich Braunkohlenlager. Von blubbernden Gas-Aushauchungen, vor allem von CO₂ begleitet sind die zahlreichen **Mofetten** von Soos im westlichen Erzgebirge. So etwas wie kleine Geysire?

Oder ist das, was da rumort doch gefährlicher und kann erneuten zukünftigen vulkanischen Ausbruch andeuten? Was im Untergrund speist das Warmwasser von Karlsbad? Mit Aussagen zu einem abklingenden Vulkanismus ist man sehr vorsichtig geworden. **Abklingender Vulkanismus war eine Annahme**, die mit der Annahme einer **Abkühlung** der Erde harmonierte. Jedoch die wird bezweifelt. Der oft schreckliche Ausbruch als erloschen betrachteter Vulkane in verschiedenen Teilen der Erde hat viel Umdenken in dieser Frage gebracht. Wirklich erloschen sind sicherlich die Basaltberge der Lausitz, im Böhmischem Mittelgebirge, in der Rhön, im Hegau. Oder auch die in der Auvergne, die noch relativ junge Krater



Abbildung 383: Rauchendes Island.

hinterließen?.

Zahlreiche **Thermalbäder** gibt es in der ansonsten seismisch nicht in Erscheinung tretenden Pannonische Tiefebene. Heißwasser steigt andererseits vielfach empor dort, wo einmal Erdbeben wüteten und also seismisch unruhiger Untergrund oder auch Vulkanismus besteht, wie in Japan, bei Rotorua auf der Nordinsel von Neuseeland, auf Island. Die Solfataren, Geysire in Calderen wie im Yellowstone-Park, auf den Phlegräischen Feldern oder im Gebiet Rotorua deuten auf Magmakammern im Untergrund, die eines Tages wieder gefährlich werden können und die Gebiete stehen unter kontinuierlicher Kontrolle. Welches ehemalige Vulkangebiet darf als wirklich endgültig erloschen gelten?

Auf dem mit der Plattentektonik in besonderes Interesse gekommenen **Island** raucht es an vielen Orten, ein Land von Heißwasser im Untergrund, nutzbar zur Elektrizitätsgewinnung. Island, ist wegen der Vulkane aufgetaucht auf dem Mittelatlantischen Rücken, **spreizt sich** auseinander **in einer westlichen amerikanischen** und einer **östlichen eurasischen Erdplatte**. Zwischen ihnen liegt die Silfra-Spalte (Internet).

Die Ursachenfrage in der Tektonik, tektonische Theorien und Hypothesen Vielfältig sind die bis in die Gegenwart fortdauernden Bemühungen, die Kausalität für die tektonischen Vorgänge auszumachen. Viel diskutiert wurde die allmähliche **Abkühlung** der Erde vom glutflüssigen Zustand aus und die vermutlich damit verbundene Schrumpfung der Erdkugel, die **Kontraktions-Hypothese** (s. u). Die Verkleinerung der Erde sollte nicht kontinuierlich stattgefunden haben. Die infolge der Schrumpfung ansteigenden Spannungen äußerten sich in diskontinuierlichen Orogenesen und auch in Epirogenesen. Damit war die Erdschrumpfung der vielleicht grundlegende Vorgang in der Erdentwicklung, auf den viele



Abbildung 384: Überall Heißwasser: Island.



Abbildung 385: Rotorua. Neuseeland.

Phänomene zurückzuführen waren. KOSSMAT suchte aus Schwereunterschieden auf die Zustände im tiefen Erdinneren zu schließen und so den Ursachen der Gebirgsbildung näherzukommen. Zu neuen Gesichtspunkten zur Gebirgsbildung hatte schon in der zweiten Hälfte des 19. Jh. die Theorie von der '**Isostasie**' von CLARENCE EDWARD DUTTON (W. STEGNER 1971) geführt, wonach wie bei Eisschollen, die je nach Gewicht verschieden tief in das Wasser eintauchen, auch die Kontinente je nach Gewicht verschieden tief in das nicht ganz rigide, sondern nachgiebige Erdinnere eintauchen. Je nach der auf ihr befindlichen Last, weicht das Tiefenmaterial mehr oder weniger seitwärts aus. Das führt zu den Gebirgsbildungen, zu den Faltungen in den Geosynklinalen. Gebirge, vor allem die jungen Hochgebirge, sind tatsächlich Gebiete mit Schweredefizit. Unter den Ozeanen gibt es Überschwere (H. STILLE 1922). Werden, wie ALBERT HEIM ausführte, relativ leichte Gesteine in die Tiefe eindringen, so drängen sie die Tiefenmassen beiseite und setzen an ihre Stelle den aus den leichteren Massen bestehenden Faltenwulst. Gebirge wachsen damit nicht nur in die Höhe, sondern auch in die Tiefe. Nach einer Hypothese von GEORGE DARWIN sollte große Bewegung in die sich bildende Erdkruste gekommen sein, als sich der Mond von der Erde abspaltete. Diese Unruhe habe sich dann in der ganzen weiteren Erdentwicklung der Erdkruste (E. SUESS 1909) fortgesetzt und wurde später noch für die Kontinentalverschiebung herangezogen (s. u.).

Daß im Gefolge von rezenten Erdbeben Landgebiete, also vor allem Gebirge, einsehbar etwa an Küsten, eine leichte Erhebung erfahren, beobachtete DARWIN in Chile und etwa RICHARD DIXON OLDHAM beim Assam-Erdbeben 1897.

Gewaltige neue Erkenntnisse in der Verteilung von Erdbeben und Vulkanen

Mit der Lehre von der **Plattentektonik** (s. u.) und besonders den **Subduktionen** von Platten unter andere wurde neues Licht auf die Vulkane und Vulkanreihen und auf die Erdbeben geworfen und erscheint die Existenz von Vulkanen an ihren Orten und die Gefährdung bestimmter Regionen durch Erdbeben als gesetzmäßig erklärbar. Auch die Reihung von Vulkanen, etwa in den Anden und in Japan, auch an der Westküste von Nordamerika. Auch die Existenz von Vesuv und Ätna. Von wegen nur brennbares Material kurz unter der Erdoberfläche! In großen Tiefen liegen die Magmakammern! An den Rädern des Pazifik stoßen die Platten des Pazifik mit denen an der Küsten zusammen und stoßen sich unter sie, in Subduktion, wie an der Westküste Südamerikas. Aber solche Plattengrenzen liegen rings um den Pazifik und bilden ab Neuseeland nach Norden und nördlich an Australien vorbei in den ganzen Sunda-Archipel mit Lombok, Java, Sumatra und anderen Inseln,



Abbildung 386: Neuseeland: Tongariro.

Japan mit etwa 40 aktiven Vulkanen, Kamtschatka, in den Inselgruppen der Aleuten im Norden des Pazifik und dann abwärts im Westen der beiden Amerika mit den 'Kaskadenvulkanen' wie dem vor etwa 7700 Jahren ausgebrochenen und damals 1.600 m verlierenden und eine Riesencaldera, in Oregon, bildendem Mount Mazama, dem Mount St. Helens, Mt. Rainier und hinab bis in den Süden Chiles: der **Pazifische Feuerring** (YouTube 2018 u. a.). Auf diesem Pazifischen Feuerring liegen 3/4 aller aktiven und erloschenen Vulkane und geschehen 90% aller Erdbeben. Eine risikoreiche Welt, aber auch mit Schönheiten. Was die Forscher von einst, ob DARWIN mit dem Erdbeben in Chile oder die einstigen Vulkanbesteiger in den Anden erforschten, waren also Teile von einem Zusammenhang, dessen sie sich nicht bewußt waren, höchstens gewisse Ahnungen besaßen. Auch über den im 20. Jh. in Deutschland lange führenden Geologen HANS STILLE (s. d.) mit manchen seiner zu lernenden Begriffen ist die Zeit teilweise hinweggegangen. Kann der **gewaltige Fortschritt der Geologie** in der **zweiten** Hälfte des 20. Jh. gegenüber der Zeit vorher **besser deutlich werden**? Jene Geologen, die schon einst nach Zusammenhängen suchten, hier gab es eine neue Lösung ihres Bestrebens. Es gibt ein gewaltiges Vorwärts in den Naturwissenschaften und für manche schrumpft die Geschichte der Wissenschaft dann fast zur Belanglosigkeit und zählt nur die Gegenwart. Und überall werden die am meisten gefährdenden Vulkane intensiv überwacht.

Von vielen Einheimischen bei den Vulkanen am Feuerring werden die Vulkane religiös verehrt, etwa als Sitz der Seelen ihrer Vorfahren und Sitz von zu besänftigenden Göttern. Die wenigen aufgeklärten einheimischen Vulkanologen hüten sich, die Einheimischen überzeugen zu wollen, damit Unfrieden zu stiften und achten die Gebräuche und die Kultur (YouTube 2018). Wie viele Leute im aufgeklärten Europa sind weiter?



Abbildung 387: Vulkaninsel Island.

Erdbeben haben auch in Italien und vor allem auf Sizilien immer wieder verheerend gewirkt. Und auch nach Zehntausenden Toten wurde immer wieder aufgebaut. Das in seiner Geschichte schon manchmal erschütterte Catania wurde nach schon zerstörenden Lavaströmen vom Ätna 1609 am 11. Januar 1693 völlig zerstört, mit wohl etwa 110.000 Toten. Der Wiederaufbau im barocken Stil schuf ein neues wunderschönes Catania. Messina traf es am 28. Dezember 1908 und auch durch den Tsunami waren 90% aller Gebäude zerstört und über 60.000 Menschen tot - die größte Zahl von Erdbebenopfern in Europa im 20. Jh. (Internet 2008).

Exogene Faktoren der Landschaftsgestaltung und ihre Auswirkungen

Zum Zusammenhang von Exogenem und Endogenem

Zerrissen wirkende Sandsteinmassive und Sandsteintürme, zerschrundene Berghänge aus unterschiedlichem Gestein, angehäuften Sand- oder Schlamm Massen - daß Außenbürtige scheint in besonderem Maße die Erdoberfläche zu formen und von exogenen Faktoren in Jahrtausenden und mehr geformte Felsenformationen, die "Pilzfelsen", "steinerne Tische", an Tier- oder Menschengesichter erinnernde steinerne Gebilde und gar die "Felsentore" sind die von Touristen gern aufgesuchten geologischen Naturdenkmäler. Jedoch bei **unterbrochener Wirkung des Exogenen wird die Erdoberfläche eingeebnet**. Immer wieder mußte von innen Aufsteigen stattfinden, mußte das Endogene dem Exogenen neues Angriffsmaterial bieten. Die Energie für die exogenen Vorgänge, für fließendes Wasser, für Wind

und so auch für Meeresbrandung und für die chemische Verwitterung auslösenden Niederschläge stammt **von der Sonne** (C. MORDZIOL 1937, S. 413/414). Die Schwerkraft ist dann nötig, um das Wasser abwärts zu leiten und die Verwitterungskrümel schließlich nach unten zu lenken.

Die Faktoren des Klimas

Hitze, Feuchtigkeit, Niederschläge und ihre Menge und siasonale Verteilung, Temperaturwechsel, Luftbewegung, Meereswellen - das Klima bietet die Faktoren, welche die Landschaft gestalten und sich in den Landschaften der verschiedenen Klimagebiete auswirken.

Zu den externen Faktoren der Landschaftsgestaltung gehört unbedingt auch der **Frost, der Wechsel vor allem von Gefronnis und Auftauen**, was das "Eiszeitalter" und seine Landschaften bestimmte.

Verwitterung

Die Verwitterung, "die unter dem komplexen Einfluß der exogenen Kräfte bewirkte Zersetzung der äußersten Erdrinde" (H. L. F. MEYER 1917), die **Gesteinszerstörung an der Erdoberfläche**, wird durch unterschiedliche Vorgänge hervorgerufen, ist also ein sehr weitgefaßter Begriff. In Hinblick auf die Faktoren wird grob unterschieden zwischen **physikalischer, chemischer, biogener** Verwitterung. Verwitterung ist abhängig von den stark **klimabedingten** Verhältnissen an der Erdoberfläche. Man spricht von verschiedenen '**Morphoklimaten**' /Morphoklimata, den unterschiedliche Formen schaffenden unterschiedlichen Klimaverhältnissen (F. AHNERT 1996, S. 119). In polaren und subpolaren Gebieten, bei Permafrostboden, wird die Verwitterung anders verlaufen als in den Tropen und Subtropen. In kalten Regionen wird die physikalische Verwitterung, etwa Frostsprengung, überwiegen. Das gibt dann etwa den rauen Landschaften der Hochgebirge oder dem Norden Islands seinen besonderen, manchen faszinierenden Reiz. Ja das von der Verwitterung geschaffene Bild an der Erdoberfläche bestimmt in vielem das Landschaftsbild, bringt viel von der Ästhetik der Landschaften hervor. Die Gemälde der Maler LUDWIG RICHTER oder CASPAR DAVID FRIEDRICH vom oberen Riesengebirge oder dem Elbsandsteingebirge - was wären sie ohne die Gebilde der Verwitterung.

Andererseits verläuft die Verwitterung auch **unterschiedlich in verschiedenem Gestein** und an verschiedenen Mineralien. Verwitterung kann man sehen als 'Anpassung' der an die Erdoberfläche gekommenen oder der hier entstandenen Gestei-

ne an die Umweltbedingungen an der Erdoberfläche (F. AHNERT 1996, S. 88). In der Tiefe verändere sich etwa Granit solange noch seine Entstehungsbedingungen bestehen nicht. Er verändert sich, 'verwittert', an der Erdoberfläche. Jedes Oberflächenvorkommen von Granit oder jeder Granitaufschluß bezeugen das, und andere Gesteine verwittern auch gemäß ihrer Zusammensetzung..

Vom **Zusammenspiel verschiedener Faktoren** zeugt, wenn Organismen oft chemisch wirken, durch Abgabe von Substanzen, andererseits jedoch auch mechanisch die Erdoberfläche beeinflussen, beispielsweise durch Wühlen. In aufgelockerte Erdoberfläche können Luft und Wasser tiefer eindringen und dort Verwitterung bewirken.

Bei massiven Gesteinen und auch starker mechanischer Einwirkung, beim Bestehen von Klüftung und dieser gar rechtwinklig, gibt es den Blockzerfall, den kiesigen Zerfall, bei geschieferten Gesteinen den Schiefrigen Zerfall (F. AHNERT 1996, S. 101). Grobabschuppung bei Druckentlastung ergibt die **Exfoliation** (S. 103), übersetzbar als 'Entblätterung', Loslösung blattartiger Schichten. Wird das **verwitterte Gestein nicht abgetragen** entsteht eine **Schuttdecke**, entsteht ein **zerbröseltes Salprolith** genanntes Material oder eine **Lockermaterialdecke** mit dem oberen Teil als **Boden** (F. AHNERT 1996, S. 111). Je nach Ausgangsgestein sind die Krusten oder Verwitterungsrinden Calcret, Silcret oder entsteht als Anreicherung Silicium-freier Aluminum-Oxide Bauxit (S. 115 ff.).

Bei der unterschiedlichen Zusammensetzung der verschiedenen Gesteine, der Mineralien in ihnen, sind bei unterschiedlicher Temperatur und Feuchtigkeit die verschiedensten **chemischen Einwirkungen** zu erwarten. Der Chemiker JOSEPH LEMBERG (1876), Dorpat, untersuchte die Kontakterscheinungen in den Gesteinen von Predazzo in Süd-Tirol und wollte die Umbildungen des Granits und der Porphyrs verfolgen, aber: "Es stellte sich jedoch bald heraus, dass Experimente unerlässlich sind, wenn die Entwicklungsgeschichte der Gesteine über Theoretisieren und Deduciren hinaus kommen soll." Kalkgestein lag unter den Lösungsvorgängen mit Wasser. Es war aber etwa auch beobachtet worden, daß Gips von Kochsalz-Lösungen reichlicher aufgenommen wird als von reinem Wasser, möglicherweise wegen Doppelverbindungen und das so etwas hier und da eine Rolle spielen könne. An Lavaflüssen sollte andererseits manche Mineralbildung beobachtbar sein.

Manches zur Verwitterung untersuchte der Geologe KARL HUMMEL (F. HELLER 1974). Er studierte Geologie bei DEECKE in Freiburg, zog als Leutnant in den Ersten Weltkrieg, wirkte als Assistent in Freiburg und ab 1920 am Geologischen Institut der Universität Gießen, wo er 1924 apl. ao. Professor wurde. Der Jude HARRASOWITZ mußte 1934 seinen Lehrstuhl in Gießen räumen und HUMMEL, nunmehr "persönlicher Ordinarius", übernahm im November 1934 die Lei-

tung des Gießener Geologischen Instituts, 1936 als planmäßiger ordentlicher Professor. Im Zweiten Weltkrieg 1940 bis 1943 Artillerieoffizier und Wehrgeologe fiel er am 7. April 1945 bei Lanzenhain im Kreis Lauterbach in Oberhessen. HUMMEL formulierte 1922 (S. 42): "Jedes Mineral und jedes Gestein ist im Augenblick seiner Entstehung den physikalisch-chemischen Bedingungen seiner Umgebung angepaßt. Sobald das Gestein in eine andere Umgebung kommt, gerät sein Mineralbestand in einen labilen Zustand", das heißt es treten Umwandlungen ein, und zwar oft sehr spezifische. Die Bedeutung der verschiedenen Faktoren für die Verwitterung in einem bestimmten Gebiet ist viel schwieriger einzuschätzen, als manchmal erschien und gerade die Verwitterungsprozesse blieben viel umstritten. Forschungen in verschiedenen Regionen der heutigen Erde gaben immer wieder neue Anregung und gerade bei der Erforschung der Verwitterung war die aktualistisch betriebene Forschung wichtig. Etwa der württembergische Geologe OSCAR FRAAS (1867), der in den 60er Jahren des 19. Jh. in Wüsten der Vorderen Orients war, betonte die andersartige Verwitterung hier im Unterschied zu der in seiner Heimat. In Palästina, bei der Verwitterung unter regenlosem Himmel, fiel ihm der Mangel an Humus auf, der den Bergen Judäas fehlt und andererseits die Oberfläche der ebenfalls kalkweißen Schwäbischen Alb bedeckt. FRAAS führte den Humusmangel im Orient zurück auf den Stillstand des Pflanzenwachstums in der heißen Periode, in der die Pflanzen vertrocknen und das Material zerfällt und verstäubt und dann in Gase zersetzt wird. Damit Humus entsteht, wäre Winter nötig, weil unter der Schneedecke das Pflanzenmaterial sich langsam zersetzt.

Die an der Erdoberfläche ablaufende "Verwitterung" ist dabei nur eine der Möglichkeiten der Gesteinsveränderung, diejenige, die durch exogene Faktoren bewirkt wird. Gesteinsveränderung in der Tiefe, die man nicht mit dem Terminus "Verwitterung" belegt, nennt HUMMEL in der mittleren Tiefen-Zone "Cementation", was teilweise zur "Diagenese" zählt.

K. HUMMEL (1922, S. 42) unterschied **3 Tiefenstufen der Gesteinsumwandlung**:

Zone der **Verwitterung** auf dem Festland, untermeerisch **Halmoyrolyse**
exogen

Zone der **Cementationsvorgänge**, die z. T. zur 'Diagenese' zählen

Zone der '**Metamorphose**' im e. S., mit verschiedenen Tiefenstufen
endogen

Die mechanische Zersetzung der Gesteine geht dem Zerfall voraus (R. BRINKMANN 1948). Die Wirkung der Verwitterung besteht zunächst in der Veränderung

der Gesteine und in dessen Folge in der Veränderung des Reliefs der Erdoberfläche.

Die Verwitterungsprozesse erwiesen sich bei näherer Betrachtung als wesentlich komplizierter als manchmal gedacht wurde und die Erforschung der Verwitterung gehört zu den diffizilsten Problemen der Mineralogie, Petrographie und Geologie. Jedes Mineral mit seiner spezifischen chemischen Zusammensetzung wird auch durch die verschiedenen Agenzien in unterschiedlichen Prozessen umgesetzt. In den verschiedenen Klimagebieten wirken Temperatur und Niederschlägen unterschiedlich (H. L. F. MEYER 1917). Die Erforschung der Verwitterung war also auch an die Kenntnis der Vorgänge in den verschiedenen Klimagebieten geknüpft. Es ist nicht einfach, die Wirkung der verschiedenen Komponenten zu unterscheiden. Die einmal in Gang gesetzte Verwitterung folgt bei einer Klimaänderung gewiß den neuen Bedingungen, aber die Ergebnisse der bisherigen Verwitterungsprozesse werden nur mit der Zeit verwischt, restlos kaum. Ein neues Gleichgewicht stellt sich oft erst nach längerer Zeit ein. Die Verwitterungsphänomene eines bestimmten Gebietes können also noch etliche Zeit vorangegangenen Bedingungen entsprechen.

Die Verwitterung ist **verbunden mit der Bildung der Sedimente**, und der langjährige führende Sedimentpetrograph CARL WILHELM CORRENS (W. VON ENGELHARDT 1990) verband seine Forschungen mit den beiden Prozessen Verwitterung und Sediment-Entstehung, wobei er vor allem auch die Stoffwanderungen bei diesen Vorgängen erforschte. Der Petrograph C. W. CORRENS war der Sohn des Botanikers und bedeutenden Mitbegründers der modernen Vererbungslehre CARL ERICH CORRENS und der drei Jahre ältere Bruder des in der DDR auch politisch tätigen Chemikers ERICH CORRENS. C. W. CORRENS hatte nach dem Studium in Tübingen und Münster in Berlin bei POMPECKIJ promoviert, war bei KAISER und dem 1933 emigrierenden Kolloid-Chemiker HERBERT FREUNDLICH. 1926 und 1927 fuhr CORRENS mit auf der deutschen Atlantik-Expedition der "Meteor", nahm Kontakte zu Kollegen in Brasilien auf und besuchte Brasilien 1930 wieder und war 1958 sogar Gastprofessor in Sao Paulo. 1937 war CORRENS ao. Professor in Rostock geworden, 1930 dort ordentlicher Professor, und wurde 1938 Direktor des neuen, für ihn gegründeten Instituts für Sedimentpetrographie an der Universität Göttingen und ab 1941 auch Direktor des Göttinger Instituts für Mineralogie und Petrographie. Bedauerlich, daß sein allerdings schon etliche Jahre vorher wegen seiner jüdischen Herkunft emigrierte Vorgänger V. M. GOLDSCHMIDT Göttingen verlassen hatte und CORRENS nun wenigstens teilweise seine Stelle einnahm. CORRENS' Karriere war wie die zahlreicher anderer, oft ebenfalls bedeutender 'arischer' Forscher eingerahmt in eine widersinnige Emigration von großartigen Kollegen. **Von der Chemie her gese-**

hen erfaßte CORRENS (1943, S. 39) die Verwitterung als eine Stoff-Trennung, eine **Stoff-Sonderung**, und die Elemente fanden sich im Ausgangsgestein in anderer Menge als in dem aus der Verwitterung hervorgehenden Sediment. Als ziemlich rein bis über 90% enthielten sich in dem Verwitterungsprodukt dabei Calciumcarbonat und Siliciumdioxid/SiO₂.

Das **Ausmaß der** schon erfolgten **Verwitterung** in einem Gebiet kann, was schon HUTTON versuchte, auch eine Auskunft geben über den **Zeitraum**, der seit Erhebung eines Gebietes über den Meeresspiegel oder die Bildung eines Gesteinskomplexes **auf dem Festland** verflossen ist. B. COTTA meinte (1854, S. 147), daß "jedes Gebirge um so mehr oberflächlich zerstört sein wird, je länger es folglich über seine Umgebungen hervorragt und den zerstörenden Wirkungen dadurch besonders ausgesetzt war." Andererseits war ARCHIBALD GEIKIE (s. 1924, S. 91) beeindruckt von den höheren Teilen der Auvergne, wo in Lavamassen vom Ende des Tertiär schon Täler ausgeformt sind, also Talausformung in erdgeschichtlich gar nicht so langer Zeit stattgefunden hatte. Die Erkennung der im Tertiär in Mitteleuropa gebildeten Landoberflächen ließ deutlich werden, daß die heutige Zertalung in dieser Region erst seit dem Spättertiär stattfand (B. VON FREYBERG).

In den verschiedenen Klimagebieten wirkt die Verwitterung unterschiedlich rasch. Gebirge können (F. FRECH 1899, S. 578) soweit abgetragen werden, daß sie zur Ebene werden, sich oberflächlich den umgebenden Ebenen angleichen. Nur der innere Bau eines solchen einstmals zu einem gefalteten Gebirge gebildeten Krustenstücks berichtet von der einstigen Höhe. FRECH sprach von "erloschenen Gebirgen". Er nannte als Beispiele die südrussische Urgebirgsmasse, die östlichen Appalachen, die norddeutsche Tiefebene - mit den gefalteten Massen des Kaledonischen und des Varistischen Gebirges im Untegrund.

Alle Sedimente sind irgendwie das **Ergebnis von Verwitterung**, vielfach auch eines anschließenden Transportes. Sedimente sind Verwitterungsprodukte, wenn sie in Gewässer hineintransportiert wurden und der Verwitterung vergleichbare Vorgänge konnten sich auch bei den Ablagerungen am Gewässergrund fortsetzen. Terrestrische Sedimenten, wie sie etwa WALTHER in binnenländischen Senken sich bilden sah, mußten bei ihrer einstigen Ablagerung Verwitterungsprodukte oder sogar Böden gewesen sein. Weiter Transport fand statt bei der Bildung der eiszeitlichen Grund- und End-Moränen. An diesen Lockermassen setzt dann erneute Verwitterung ein. In der früheren Geologie wurden manchmal alle Lockermassen auf die Zusammenschwemmung durch Fluten zurückgeführt.

Die an Ort und Stelle erfolgende Verwitterung reicht unterschiedlich weit in die Tiefe, wobei in den Tropen die festländischen Verwitterungsprodukte recht große

Mächtigkeiten erreichen können (K. HUMMEL 1922). Das Grundwasser setzt der Verwitterung allgemein die untere Grenze.

Fossile Verwitterungsrinden wurden am Anfang des 20. Jh. beschrieben, so zuerst mit Profilen durch WÜST (H. L. F. MEYER 1917). Im Jahre 1913 wies HERMANN L. F. MEYER (1917) auf 2 scharf getrennte Verwitterungsperioden im Untergrund des Vogelsberges hin. Gesehen wurde, von FLIEGEL und BEY-SCHLAG, die präoligoncäne Kaolinisierung, die auch schon zur Bodenbildung (s. d.) gerechnet werden kann. Daß Verwitterung ziemlich rasch verlaufen kann, bezeugen nicht nur wenige Jahrzehnte alte Steinbruchswände, sondern auch verwitternde Bausteine an Gebäuden sowie Plastiken. Gesteinszersetzung und Mineralneubildung riefen und rufen immer wieder ernste Schäden etwa am Kölner Dom hervor. ERICH KAISER war namentlich auch wegen seiner Forschungen über die chemisch-physikalischen Vorgänge bei der Bausteinverwitterung 1904 auf die ordentliche Professur für Mineralogie und Geologie an der Universität Gießen berufen worden.

Zum Liegenbleiben oder dem mehr oder weniger weiten Transport von Verwitterungsprodukten wurden benutzt die Termini: **Eluvial** - Liegenbleiben an Ort und Stelle, **kolluvial** - abwärts bis zur nächsten Hohlform, **alluvial** - Ruhe weiter weg am Boden oder an Gehängen an Terrassen, dabei "alluvial" hier nicht im Sinne des alten Formationsnamen 'Alluvium' (E. KAISER II, 1926, S. 321).

Daß es auch im Meere, am Meeresboden, **untermeerisch**, so etwas wie Verwitterung, zumindestens Mineralzerstörung und Mineralneubildung gibt, hob KARL HUMMEL (F. HELLER 1974, K. HUMMEL 1922, 1931) hervor, der für diese am Meeresgrund stattfindenden Vorgänge der Mineralveränderung den Terminus "**Halmyrolyse**" einführte.

Im Bereich der Halmyrolyse setzt sich oft gleichzeitig die weitere langsame Sedimentation gleichzeitig fort. Untermeerisch entsteht Glaukonit, ein grünliches Kali-Eisensilikat, und zwar nach POMPECKJ in der Küstenzone einer aus kristallinen Gesteinen bestehenden Landmasse, dort, wo sich kalte und warme Gewässer mischen und organische Substanzen mitwirken.

Durch DETLEF BUSCHE, Professor der Physischen Geographie in Würzburg, wurde 2005 mit den Mitarbeitern JÜRGEN KEMPF und INGRID STENGER (s. Rezension von MANFRED STEPHAN in Studium integrale Journal 13. Jahrgang, Heft 2, Oktober 2006 in Internet) das Problem aufgeworfen, ob in der voreiszeitlichen Vergangenheit der Erde vielleicht ein das heute in den niederen Breiten vorhandene Tropenklima übertreffendes **viel exzessiveres Tropenklima** herrschte und deshalb weit in die Tiefe gehende, heute nicht mehr existierende chemische

Gesteinsverwitterung bestand. Das erkläre den gewaltigen Abtrag, der zu den heute nicht mehr entstehenden Fastebenen führte. Erst mit dem rezent vorhandenen Klima, mit dem Ende der "tropiden Erde", wurde die Flächenbildung durch die Talbildung abgelöst, wurden die Gesteine nicht mehr gleichmäßig abgetragen, erschienen die heutigen wechsellagen Landformen und damit Landschaftsbilder. Damit wurde in die Geologie und Geomorphologie etwas Neues gebracht, das immerhin Diskussionen auslöst. Wird es der Umwälzung durch die Plattentektonik zur Seite treten? Eine neue Geologie bringen?

Rolle der Gesteine bei der Formbildung in der Landschaft

Manche durch exogene Faktoren bewirkten Prozesse gehen stark über alle Gesteinsunterschiede hinweg. Aber gerade in Mitteleuropa, wo das Klima weithin ähnlich ist oder eine ähnliche Umgestaltung durchmachte, gibt es in der Tat vielgestaltige Landschaftsbilder und diese erscheinen gebunden an das in den einzelnen unterschiedlichen Regionen vorherrschende Gestein - erweist sich also das anstehende **Gestein** als ein wesentlicher **Faktor** für die Ausbildung eines **bestimmten Landschaftsbildes**. Daß Gestein die Physiognomie einer Landschaft stark bestimmen kann, betonte einst etwa B. COTTA, der die Verschiedenheiten der Oberflächenformen fast ausschließlich auf die verschiedene Gesteinsnatur zurückführte (A. HETTNER 1928). Er verwies etwa auf die unterschiedliche Durchlässigkeit oder Undurchlässigkeit der Gesteine für Wasser, und in der Tat wurde diese als wichtig für die Unterschiede in der Ausformung der Gesteinsmassive einer Landschaft, für die unterschiedliche Verwitterung, erkannt. Da die heutige Landoberfläche ein Ergebnis erst jüngerer geologischer Zeiten ist, ist für die Geomorphologie und die Geographie das Alter eines Gesteins wenig wichtig (A. HETTNER 1928), denn für die exogenen Faktoren, die erst in relativ geologisch junger Zeit das heutige Landschaftsrelief zuwegebrachten, war zum Verständnis der Formung einer bestimmten Landschaft die **Art des Gesteine** und nicht so sehr das dem Erdgeschichtsforscher so maßgebende Alter bedeutsam. Der Geograph PHILIPPSON (1919, S. 14) sah in seiner Landschaftskenntnis jedenfalls für viele Gebiete: "Unter dem Schleier, den diese äußeren Vorgänge, wie z. B. Erosion und Denudation, über die Erdoberfläche legen, leuchten doch immer wieder die Formen hervor, welche den einzelnen Gesteinen eigen sind." Landschaftsmaler haben das immer schön erfaßt. Eine Landschaft im Thüringer Schiefergebirge sehr eben anders aus als etwa die Landschaft in einem Buntsandsteingebiet oder die wiederum in einem dem Buntsandstein-Vorkommen benachbarten Muschelkalkgebiet (H. WEBER 1955). Regionen mit gleichen Gesteinen bieten ziemlich gleiche oder ähnliche Landschaftsbilder, haben "**Formkonvergenz**" (H. VON STAFF et al. 1911, S. 380). Getrennte Sandsteingebiete wie Sächsische Schweiz und Heuscheu-



Abbildung 388: Granitlandsch. Ob.lausitz.

er in Schlesien weisen ähnliche Züge auf und selbst mit Buntsandstein-Regionen gibt es wegen der auch in ihnen herrschenden Sandsteine Gemeinsamkeiten. Umgekehrt ist kontratsreich der Unterschied im Landschaftsbild dort, wenn in einigen Flußtälern, der ostsächsischen Polenz etwa, der Kreidesandstein des Elbsandsteingebirges an den Granit des Lausitzer Granitmassivs stößt. Fast schlagartig begibt man sich beim Übertritt vom Sandstein in das Granitgebiet in ein physisch-geographisch anderes Land, Und wieder durch eine eigene Physiognomie berühren die einst vergletscherten Landschaften des Nordens. Die verschiedenen Gesteine, die weiträumig eine größere Region bestimmten, reagieren auf die exogenen Kräfte, auf die Verwitterung, eben unterschiedlich. "Ein Granitgebirge wird anders modelliert als ein Sandsteinplateau, ein einförmiges Tafelland anders als ein aufgebrochenes Gewölbe" (J. WALTHER 1891, S. 554). PHILIPPSON (1919, S. 15) wies darauf hin, daß "... eine Landschaft mit grossen Härte-Unterschieden der Gesteine ... stets ungleichmäßigere Formen als eine solche mit einförmiger Gesteinsart" aufweist.

Auch recht **kleinmaßstäblich** machen sich Gesteinsunterschiede in der Landschaftsphysiognomie bemerkbar. Im Westerzgebirge etwa war einst Granit - welcher Entstehung auch immer - in der Tiefe zwischen alt-paläozooisches Schiefergestein eingedrungen und hatte diese Gesteine in Kontaktmetamorphose verändert. Viel später an die Oberfläche gehoben und freigelegt, wurden die Granite mehr angegriffen, 'vergrusten', als die das Granitgebiet etwa des **Kirchberger Granitgebietes** umgebenden metamorphosierten Schiefern. Diese bilden infolge ihrer größeren Verwitterungsfestigkeit einen ziemlich vollständigen Wall um das innere granitischen Ausraumbecken, das bis zu 70 m tieferliegt (D. QUECK 1974), Beispiel einer Reliefumkehr (s. d.).



Abbildung 389: Buntsandsteinland Pfälzer Wald.



Abbildung 390: Sandstein-Landschaft Sächsische Schweiz: Aussicht vom Kuhstall.



Abbildung 391: Muschelkalk Ohmgebirge.



Abbildung 392: Vulkanisch Böhm. Mittelgeb..



Abbildung 393: Fern Böhm. Mittelgeb..



Abbildung 394: Hegau vom Hohentwiel.



Abbildung 395: Herakleion. W-Türkei.

Das **Klima** wirkt sich in einer Region gewiß stark aus, aber doch auch mit Unterschieden in seiner Wirkung auf verschiedene Gesteine. In einem lange bestehenden Gebiet mit **Wüstenklima** sieht die Landschaft auch bei mit Mitteleuropa vergleichbarem Untergrund anders aus als in Mitteleuropa. Aber auch hier reagieren die verschiedenen Gesteine auf die hier anderen exogenen Faktoren spezifisch, und im Landschaftsbild wird das "Resultat ... bedingt ... einerseits von der Wirkungsart der spezifischen Wüstenkräfte. andererseits von den verschiedenen Eigenschaften verschiedener Gesteine" (J. WALTHER 1891, S. 553/554).

Die zur Formbildung des Landes führenden Vorgänge - Die allgemeine 'Erosion'

Die verschiedenen Vorgänge durch Außenfaktoren, welche in Unterschieden je nach Gestein die Erdkruste gestalteten, wurden von den verschiedenen Geologen und Geographen in ihrer Bedeutung und ihrem Ausmaß unterschiedlich eingeschätzt. Meistens wurde für die Zerstückelung, den Abtrag, der Terminus '**Erosion**' verwendet. Ein einfacher Blick in die Landschaften reichte nicht, um die exogenen Faktoren richtig zu deuten. Überlegungen und Geländeuntersuchungen, oft eher nur **Geländerfahrungen**, mußten Wahrscheinlichkeit für die Aussagen bringen.

Bei dem für Ackerbaugelände und Weideländereien offensichtlichen, verhängnisvollen **Bodenabtrag** wird von **Bodenerosion** gesprochen.



Abbildung 396: Erosionszerstörung Bulgarien.

Zerstört das Meer immerfort das Festland? - Die Abrasionstheorie

Ständige Landzerstörung und auch die Entstehung von Ebenen auf dem Land wurde nach einer im 19. Jahrhundert vertretenen Vorstellung in großem Ausmaß als das Werk von ins Land eindringender Meeresbrandung gesehen, auch **ohne daß der Meeresspiegel anstieg. Das Meer schuf sich Raum. Das Festland verlor.** Ganze Inseln, ja Festländer, sollen so mit der Zeit Stück für Stück vom Meer 'aufgefressen' worden sein, und um zu verschwinden mußte eine Insel, ein Festland nicht abtauchen. Die "Abrasionstheorie."

Nach LYELL und später namentlich nach RAMSAY und unter den Deutschen VON RICHTHOFEN (W. DEECKE 1916) solle sich das Meer immerfort von den Küsten her in das Festland hineinfressen, es zerstören, einebnen. Nach Hebung dieses Landes entstünden jene flachen Ebenen, die vielfach auf den Rumpfgebirgen erscheinen (E. v. DRYGALSKI 1906, 1933, A. HETTNER 1906). Auf Grund von Beobachtungen in China sah F. VON RICHTHOFEN dort die Abrasionstheorie bestätigt. Wer den dauernden Wellenschlag etwa an südenglischen Küsten erlebt hat, wie LYELL in seiner Jugend, oder wer die ständige Brandung an Irlands Westküste kannte, der mag unter dem Eindruck dieser auch bezaubernden Naturerscheinung den Meereswogen viel zuschreiben.

An ständig sinkenden Küsten mag Abrasion bei der Meerestransgression durchaus zutreffen. Als grundlegender geologischer Vorgang ließ sich die Abrasion jedoch nicht halten. WILHELM DEECKE (1916) etwa hat darauf verwiesen, daß an den meisten Küsten weit ins Meer reichende Sedimentablagerungen entstehen, von Sand oder Geröll, die das fortdauernde Eindringen des Meeres in das Land in den meisten Küstenbereichen, jedenfalls ohne dauernde Landsenkung, verhindern. Wie



Abbildung 397: Brandung. Corsica.



Abbildung 398: Algarve Lagos.



Abbildung 399: Meer formt Küste, Island.

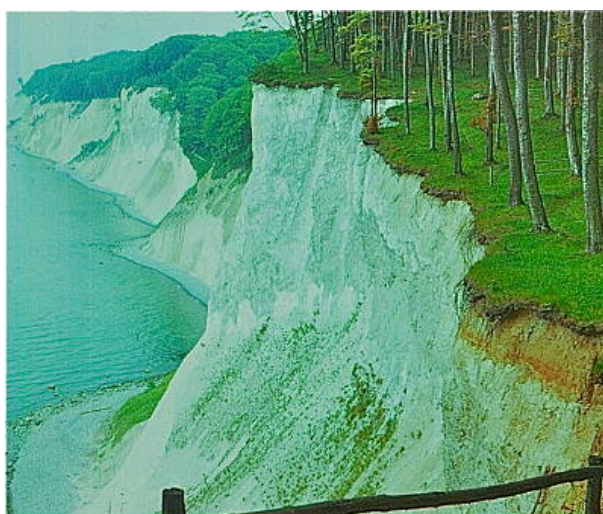


Abbildung 400: Rügen, Küstenabbruch fortlaufend.

DEECKE (S. 384) hervorhob blieben alte Landbereiche, offensichtliche Inseln wie das Französische Zentralplateau, von der Trias bis ins Tertiär von Meer umgeben, durch die Zeiten erhalten, wurden also nicht vom Meer wegrasiert. Erhalten blieben die gehobenen Strandlinien Norwegens und die Brandungskehlen. Und auch die jüngere Insel Bornholm hat durch die Zeiten ihre Umrisse in der sich nach der Eiszeit wandelnden Ostsee bewahrt. Und an der "hinterpommerschen Küste", wo DEECKE einmal gewirkt hatte, "sehen wir, wie der verschleppte Schutt als flacher Strandkegel die Küste schützt und so ausglättet, daß wirkliche Meeresabrasion nur an wenigen Stellen erfolgt (Kirche von Hoff.)" (S. 385). An der Steilküste Rügens habe der Mensch am Vorstrand zu viel verändert (S. 384).

Wegen der "Abrasionstheorie" wurde die Schaffung von Ebenen durch fließendes Niederschlagswasser jedoch zeitweilig und teilweise enorm unterschätzt. RECK sprach später (1912 / 1913, S. 84) vom 'übermächtigen, dogmatischen Einfluß der Abrasionstheorie', dem die Geologen vor allem auf den "meerumbrandeten britischen Inseln" anhängen, wobei tatsächlich Teile der Nordseeküsten und auch die britische Insel mit der Zeit und beschleunigt durch Sturmfluten dem Meere zum Opfer zu fallen schienen. Die Niederlande liegen unter dem Meeresspiegel und hier kann das Meer bei Schäden an den Dämmen dann vernichtend eingreifen. Auch VON RICHTHOFEN schränkte die Gültigkeit seiner Abrasionstheorie zunehmend ein. Der Mitbegründer der Geomorphologie RICHTHOFEN hatte sich also bei einem geomorphologischen Problem erst einmal vertan. Aber die Kräfte der Landformung im einzelnen sicher zu klären ist schwieriger als es vielleicht erscheint. Küstenabbrüche gibt es natürlich, auch wenn die Folgen umstritten waren.



Abbildung 401: Gorge du Verdon.

Der Begriff "Abrasion" wie mancher Terminus wurden von den einzelnen Gelehrten nicht immer im gleichen Sinne benutzt. Etwa der Geograph A. HETTNER benutzte bewußt den Terminus "Abrasion" "für jede durch äußere Kräfte bewirkte Abhobelung oder Einebnung (Penplanation) des Landes, ohne Rücksicht auf die bewirkende Kraft, die man durch ein Adjektivum bezeichnen kann" (1904, S. 15).

Niederschlagswasser auf dem Festland – Fließgewässer und Talbildung

Auch, wenn das Wasser als wichtiger geologischer Faktor allgemein anerkannt war, gab es Debatten über vieles, wurde über die Entstehung der Täler von Geologen und Geomorphologen besonders intensiv diskutiert.

Anerkannt war zunächst die 'lineare' Erosion des fließenden Wassers in den Tälern, also der der Fließgewässer bei HUTTON und PLAYFAIR. Jedoch das ganze Ausmaß dieser linearen Erosion blieb umstritten. LYELL führte jedenfalls manche Täler noch auf Meereseinbrüche zurück. In Deutschland sah PESCHEL viele Täler als Folge von Spaltenbildungen. Vor allem auch A. v. KOENEN (A. v. KOENEN 1885, 1886, POMPECJK 1915) rechnete damit, daß wohl die Mehrzahl der Täler oder der Talbecken anfangs durch einen Einsturz beziehungsweise eine Versenkung entstanden ist, wobei die anschließend darin abgelagerte "Diluvial- und Alluvial"-Decke diese tektonisch Vorbildung verbergen konnte. Erst sekundär hat die Erosion des fließenden Wassers das Tal weiter ausgeformt. Es blieb auch später anerkannt, daß **'tektonische Linien' die Anlage und den Lauf von Flüssen vorgeben**



Abbildung 402: Norwegen.



Abbildung 403: Dades-Schlucht Marokko.



Abbildung 404: Schlucht Via mala.

konnten. Das gilt gerade für den **ingesenkten Oberrhein-Graben** zwischen Schwarzwald und Vogesen, in dem der Rhein von Süden nach Norden fließt. Daß namentlich große Täler nicht nur durch den durchfließenden Fluß, nicht allein durch Erosion geschaffen wurden, sondern hier **endogene Kräfte** den Anfang setzten, erkannte zuletzt auch LYELL an (J. H. 1926, S. XXXViii). Was auf jeden Fall fließendem Wasser auch am schwachen Anfang den **Weg bahnte** waren die in den meisten Gesteinen vorhandenen **Klüfte**, namentlich wohl die senkrechten. CLOOS (1951, S. 213) schrieb hier wohl etwas sehr locker: "Alle Gesteine sind zerklüftet. Wären sie es nicht, so hätten Flüsse und Steinbrüche zehnmal so viel Arbeit, um hineinzuschneiden und Stücke fortzuführen." Warum "zehnmal so viel"? -wohl nur bildlich gemeint, nicht als exakte Zahlenangabe.

Die bedeutungsvolle Rolle von **Wasser beim Landabtrag** und vor allem bei der Bildung der Täler, also durch die das Tal durchfließenden **Flüsse** selbst, betonte nach dem Nordamerikaner DANA dann vor allem der 1811 geborene englische Geologe JOSEPH BEETE JUKES (G. L. H. DAVIES 2004, A. J. J.-B. 1892), dann auch GREENWOOD (so bei A. HETTNER 1928) und PENCK (1889). Vergleichbar dem in seiner Reisezeit noch jüngeren DARWIN fuhr der schon in Neufundland als Geologe hervorgetretene JUKES 1841 als 30-jähriger auf einem Vermessungsschiff in die Region um Australien und das Große Barriere-Riff wie um Neuguinea. Er entstieg dem wieder in England angekommenen Schiff 1846 als welterfahrener Geologe. Namentlich auch in Irland war JUKES entscheidend an der geologischen

Kartierung beteiligt. Er ging als der vielleicht beste englische Feldgeologe seiner Zeit in die Geschichte ein. Die Formung der Landoberfläche erschien JUKES 1862 (S. 378) als ein geologisches Problem, das bisher nur gelöst worden war "in a very general way", also eingehendere Untersuchung erforderte, obwohl es eine sehr allgemeine Angelegenheit war. Flüsse hat JUKES namentlich im südlichen Irland studiert (1862), so die **Beziehungen zwischen dem Material der Flußtäler und den im aufwärts liegenden Territorium lagernden Gesteinen**. Nicht das "Meer" war für ihn also bei der Landformung entscheidend, sondern wie er vorschlug, "we must look chiefly to the "weather" as the producer of the glens, ravines, and valleys by which our mountains and plains are traversed" (1862, S. 402). JUKES, dessen Ansicht steigend Anerkennung fand, starb schließlich nach einem schweren Sturz 1864 im Jahre 1869.

In England war ALFRED TAYLOR (W. H. GEORGE 2004) ein erfolgreicher Unternehmer in Messing, aber auch derjenige, welcher als Amateurgeologe die **Landerniedrigung**, vor allem **durch Flüsse**, auch **quantitativ** festzustellen versuchte, und zwar auch durch Messung der wegtransportierten und anderswo durch die Flußtätigkeit abgelagerten Materialmengen. Zur Flußgestalt ermittelte TAYLOR, daß sich das Flußquerprofil einer Parabelgestalt annähert. TAYLOR kam 1853 auch zu dem Ergebnis, daß auf die Eiszeit eine starke Regenperiode folgte.

Der Erosionstheorie brach weiter Bahn dann vor allem der namentlich als Paläontologe hervorgetretene Schweizer RÜTIMEYER. Der Geograph HEINRICH SCHMITTHENNER meinte später (1956, S. 261) von RÜTIMEYER, daß er "der werden- den Geomorphologie eigentlich erst die Tore" aufstieß. Von neueren Äußerungen sei noch angeführt PHILIPPSON (1919, S. 18): "'Wo es Flüsse gibt, sind sie das Hauptagens der Oberflächenformung neben den inneren Kräften. "

Für die **Spaltentheorie** sprachen gesehene Mißverhältnisse zwischen der Weite der Täler und der Größe und damit Kraft der Flüsse. Das Tal erschien oft breiter, als daß man dem darin fließenden Fluß die Ausräumung zuzutrauen meinte. Für die **vorwiegende Erosion** sollten sprechen die **Prall- und Gleithänge**, die oft durchaus bestehende **Beziehung der Flußgröße zur Weite der Talsohle**, die gleiche Höhe der Talsohle von **ineinander mündenden Tälern** (schon HEIM 1791, PLAYFAIR, aus A. HETTNER 1928). RÜTIMEYER (H. SCHMITTHENNER 1956, S. 261) sah andererseits in den Talleisten über den Alpentälern, also hoch an den Wänden, auch einstige und nunmehr **oben hängengebliebene Talböden**, also Täler von nicht mehr vorhandenen einstigen Nebenflüssen, für welche die Ausräumung des Haupttales weit vorangeschritten war, und gerade das sprach auch für die Rolle des fließenden Wassers.



Abbildung 405: Dnjepr Kiew rechts Steilufer.

Der russische Gelehrte LOMONOSSOW beschrieb 1763 die ihm aufgefallene Erscheinung, daß bei den großen Strömen Rußlands **das linke Flußufer stärker** erodiert wird **als das rechte**, also etwa bei Dnjepr und Wolga das östliche, linke Ufer ein Steilufer ist. SLOWZOW und VON BAER fanden die Erklärung in der das fließende Wasser auf der ja rotierenden Erde leicht **ablenkenden Corioliskraft**. Nicht wie diese noch glauben nur bei Strömen von Süden nach Norden, auch unabhängig von der Fließrichtung wirkt die Corioliskraft (Wikipedia 2013). Felseufer begrenzen natürlich die Erosion und Hochwasser beeinflussen auch, und das Phänomen von Flach- und Steilufer zeigt sich besonders bei Strömen in Lockermaterial. Bei der Erklärung von Talbildungen ist das unbedingt zu beachten.

Es wurde auch im einzelnen untersucht, wie das fließende Wasser die Auswaschung zustandebringt. Das sollte kaum geschehen durch das Wasser allein, sondern eher durch die transportierten Gerölle, auch die in Kleinformat.

Mancher Reisende konnte weitere aktuelle Beobachtungen zum Wasserabtrag beitragen, die wenigstens im Groben zu Überlegungen anregten, so, wenn SVEN HEDIN (1909, S. 244) 1907 vom Transhimalaja nach Süden, zum tief eingeschnittenen Tale des Brahmaputra, hinabstieg: "Auf der Südseite des Transhimalaja sind die Täler also viel energischer in die Gesteinsmassen eingeschnitten, als irgendwo auf dem hohen Plateauland. Und warum? Weil die Niederschläge der Monsunwolken auf der Südseite des Transhimalaja unvergleichlich reichlicher sind als auf seinem Nordhang."

Wo wenig Vegetation besteht, gibt es besonders eindrucksvolle Täler. Landstufen. Hindernisse bringen **Wasserfälle**. Wasserfälle zeugen von rezenter weitergehender Gebirgsabtragung.

Bis wohin kann Wasser abtragen? Natürlich nur bis zum Meeresniveau. Das bildet



Abbildung 406: Wasser formt; Banff, Canada.



Abbildung 407: Dettifoss, Island.



Abbildung 408: Gebirgsabtrag. Wasserfall Kimml/Österr..

die **Erosionsbasis**. Steigt der Meeresspiegel, etwa nacheiszeitlich, so steigt die Erosionsbasis. Der Fluß verlangsamt seinen Lauf. Mitgeführtes Material wird vor allem im Unterlauf stärker abgelagert. Das gilt für die Ströme Süd-Chinas, wodurch dort die Küste "zu einer Ingressionsküste mit breitem Inselgürtel und Riasbuchten" wurde" und landeinwärts "zu weitgehender Aufschüttung in den Unterläufen aller Flußtäler" führte (W. CREDNER 1933, S. 163), zu den "Aufschüttungsebenen der Deltawasserläufe" (S, 164).

Wie stark haben **selbst bescheidene Bäche sich in ihre Umgebung eingefressen**. Der Paläoanthropologe KARL GORJANOVIC'-KRAMBERGER (1908) erschloß um 1900 eine von Neandertal-Menschen samit damaligen Tieren aufgesuchte Höhle bei Krapina in Kroatien, die von einem Bach, dem Krapina-Bach, in dessen rechter Seitenwand ausgewaschen worden war. Die Höhle liegt heute 25 Meter über dem Bach (S. 61), hat also ihr Bett seit der Zeit der Neandertalen so stark vertieft. Eine abgesenkte Erosionsbasis mag mitgewirkt haben.

Eine besondere Rolle spielen **unterirdische Gewässer** in bis zu gewissem Grade löslichem Gestein, was zu **Karstphänomenen, je zu Karstlandschaften** führt.



Abbildung 409: Quarzader im Gestein.

Durch Fließgewässer transportiertes und abgesetztes Material in Fluß- und Strom-Tälern

Flüsse transportieren (F. AHNERT 1996, S. 191) manches und **setzen** es je nach Tragkraft der Fließgewässer bei verlangsamster Fließgeschwindigkeit **ab**. Weit weggetragen, oft ohne Absetzen bis ins Meer, werden **Lösungs-Fracht** und **Schweb-Fracht**, Weicheres Steinmaterial wurde stark zerrieben, etwa Schiefergestein. In Flußregionen mit noch höherer Fließgeschwindigkeit wird mehr oder weniger allein widerstandsfähigeres Material abgesetzt, in tieferen Flußabschnitten auch Feinmaterial, bis hin zu Lehm und Ton. Abgesetzt und eher schrittweise und auch je nach Wasserführung weitertransportiert wird also die **Geröll-Fracht**, die 'bedload', das '**Flußgeschiebe**', je nach Widerstandsfähigkeit. Quarz, obwohl etwa in den Kieselschiefern meist nur in dünneren Strängen vorliegend, widerstand als Quarz-Kiesel. Die Flußbetten auch weiter oberhalb enthalten daher viele Kieselsteine. An den Rändern und am Grund auch der deutschen Flüsse kann man das Material ihrer Herkunftsregion massenweise finden. So gibt es böhmischen Basalt im Elbtal bei Meißen nördlich von Dresden. Der Dichter BRECHT wußte: "Am Grunde der Moldau wandern die Steine." Aber die Steine am Flußgrund wandern nicht nur an der Moldau. Abgesetzt wird Flußgeschiebe je nach Schleppkraft in den verschiedenen Flußteilen und wo sie nicht so hoch ist entstehen im Fluß **Schotterbänke** (F. AHNERT 1996, S. 201).

Ändert der Fluß seinen Lauf, kennzeichnen die im Gelände des ehemaligen Flußlaufes verbleibenden **Geröllmassen** seinen **früheren Lauf**. So läßt sich etwa der ehemals **andere** Elblauf in Sachsen rekonstruieren.

Wie groß, wie mächtig kann das von fließendem, vielleicht reißendem Wasser weg-



Abbildung 410: Alter Elbelauf b. Kamenz.

getragene und anderswo abgesetzte Material sein? Das entschied, ob man auch ein anderes Transportmedium, Gletscher, für das weite Wegschaffen von wenigstens Riesenblöcken anerkennen mußte.

Der **Gelbe Fluß** in China, der Huang He, gilt als der Fluß, resp. Strom, "der weltweit die meisten Sedimente transportiert" (M. VOLLMER 2020, S. 43). Bei der Durchquerung des Lößplateau nimmt er Jahr für Jahr "Millionen Tonnen gelblicher Erde" auf, "die er als kleine Partikel mit bis 50 Mikrometer Korngröße ins Meer transportiert." Diese Partikel geben dem Huang He seine gelbliche Farbe, "zeigen" im "roten und grünen Spektralbereich ... eine deutlich eine deutlich höhere Reflexion als im blauen, was zu der beobachteten gelblichen Farbe führt." Die im Mündungsbereich abgelagerten Sedimente veränderten immer wieder das Delta des Huang He, und 1996 "wurde der frühere Hauptkanal im Delta" durch den Menschen "blockiert" und der Fluß wurde so nach Nordosten abgelenkt. Auch an **Gletscherzuflüssen** bewirken kleine mineralische Teilchen eine spezifische Farbe, ein Grau-Weißlich, auch durch Streuung an Luftblasen mit bewirkt.

Auch andere Flüsse haben wenigstens zeitweise infolge mitgeführter Partikel eine bestimmte Farbe, etwa Rot, wie auch der Name 'Roter Fluß' nahelegt. oder bei viel Humus Schwarz, und **zeugen so vom Transport von Materialien** durch Fließgewässer.

Fluß-Terrassen

Die Tiefenerosion bei Flüssen in Gebirgsregionen war in Ruhezeiten geringer oder blieb aus und nahm wieder zu mit tektonischer Hebung und das führte zu den



Abbildung 411: Schotter Elster b. Plauen.

'**Felssohlenterrassen**' an den felsigen Flußflanken in Gebirgen (F. AHNERT 1996, S. 235).

Flüsse haben in verschiedenen Perioden unterschiedlich wegtransportiert und abgelagert. Das war vor allem auch abhängig von dem in den Fluß gekommenen Material. In **Kälteperioden**, also den Eiszeiten, wie schon ausgeführt, wurde viel grobes Material abgetragen und gab es geringere Wasserführung der Flüsse, auch durch Zufrieren. Es gab **starke Ablagerungen**. Bei Wiedererwärmung und stärkerer Wasserführung **sanken** später **die Flüsse in das von ihnen abgelagerte Material** ein, oft ein Einsinken recht tief.. Das abgelagerte Material wurde **nicht** an allen Stellen wieder **ausgeräumt** und solches Material, Reste der ehemaligen Flußablagerungen, begleitet oft hoch über dem heutigen Flußbett so manchen Flußlauf, als **Terrasse**. Oft sind sie unscheinbare 'Landformelemente (F. AHNERT 1996, S. 2359, aber neben der allgemeinen Erosion legten und legen Kies- und Sandabbau die Terrassen vielerorts stärker frei.

Die Terrassen lassen sich **zeitlich**, jedenfalls relativ, **einordnen**, Die am höchsten liegenden Terrassen sind die ältesten. Und so konnten auch schon vor den modernen Altersdatierungen mehr oder weniger in den Terrassen gefundene Dinge, Fossilien, Knochen vielleicht, und die in ihnen an manchen Orten hinterlassenen Geräte vorzeitlicher Menschen in eine zeitliche Reihenfolge gestellt werden. So wurde im Sommetal bei Abbeville Feuersteingerät von urzeitliche Menschen gefunden und das hat neben Höhlenfunden die Paläanthropologie mit in Existenz gebracht. Im Flachland gibt es dann kaum noch Terrassen und liegen Hinterlassenschaften im Flußkies.



Abbildung 412: Schotterterrasse Chemnitz.



Abbildung 413: Hoch Gottleuba-Schotter.



Abbildung 414: Erosionsfolge Mure, bei Almaty.

Abtrag im Hochgebirge und Bildung von Muren

In den Tälern hoch aufsteigender Gebirge können gewaltige Geröllmassen, **Muren**, abwärts transportiert werden und am Talausgang Ortschaften bedrohen, ja teilweise verschütten. Dieses Schicksal erlebte die Stadt Almaty/Alma Ata, die einstige Hauptstadt von Kasachstan.

Der allgemeine Landabtrag - Die Denudation

Die lineare Erosion schuf die eingeschnittenen Täler und jene Landschaft, in welcher zwischen den Tälern teilweise breite Landrücken stehenblieben. Aber auch diese stehenbleibenden Landteile wurden offensichtlich abgetragen, wenn sie auch langsamer als die Täler ausgeräumt wurden. Aber bei jedem Regen und bei der Schneeschmelze, so wurde argumentiert, floß Wasser überall, bildete ein Netzwerk auch sehr kleiner Gerinne und räumte auch flächenmäßig ab (J. G. ANDERSSON 1906), ein schon vorher auch als **Denudation** bezeichneter Vorgang. An Strömen wie dem Mississippi war die gewaltige ständig transportierte Schlammfracht aufgefallen. Etwa DEFFNER (W. CARLE'1955) in Württemberg hatte die Schlammfracht der Flüsse und die von ihnen weggeführten gelösten Stoffe zu quantitativ zu erfassen gesucht und daraus die anzunehmende durchschnittliche jährliche Erniedrigung des Landes errechnet. Auch gewaltige Schichtpakete sollten so im Laufe langer Zeiträume verschwinden können. Es sollte also nicht verwundern, wenn alte Gesteine, ehemals vielleicht von jüngeren hoch überdeckt, wieder an der Oberfläche lagen. DAVIS nahm an, daß auch unter einer Vegetationsdecke das Land abgetragen wird. Andere rechneten bei Vegetation mit einer doch stärkeren Bremsung des



Abbildung 415: Krummwuchs b. Hangabtrag.

Landabtrags (J. G. ANDERSSON 1906).

In die Sandsteintafel des Elbsandsteingebirges haben sich nach der Landhebung die Elbe und alle ihr zufließenden breiteren und größeren Gewässer eingefressen und all die Täler und Schluchten herausmodelliert. Aber vor allem in der Vorderen Sächsischen Schweiz gibt es die 'Ebenheiten', aus denen nicht unmittelbar umgeben von Fließgewässern isolierte Felsmassive, so Lilienstein und Königsstein, aufsitzen. In der Mitte des 19. Jh. hat etwa A. VON GUTBIER 1858, (S. 62) angenommen, daß die einzeln stehenden Felsenberge wie der Lilienstein nicht allein den auf dem auf dem Festland wirkenden Faktoren ihre Herausmeißelung verdanken können, denn trotz aller "Auswaschung ... unmöglich können wir glauben, daß dieses Zerstörungswerk, welches im Bereich mehrerer Quadratmeilen nur einzelne Felskuppen stehen ließ, allein durch das atmosphärische Wasser vollbracht worden ist," und rechnete mit einem vielleicht in die 'Diluvialzeit' anzusetzenden erneuten "Hinzutritt des Meeres .., in dessen Niveau die Klippen des Sandsteingebirges eingetaucht sein müssen." Dem war aber nicht so - **die exogenen Faktoren**, und dabei sicherlich nicht Wasser allein, waren **unterschätzt** worden.

Diese Erniedrigung des Festlandes durch weiträumig und nicht nur in begrenzten tieferen Rinnen abfließendes Wasser führte schließlich zur "**peneplain**", zur **Fastebene**.

Zwischen der **Landabtragung**, dem Anfallen von Abtragungsmaterial **und** der **Sedimentation** in Sedimentationsräumen sind **Zusammenhänge** zu sehen (B. WILLIS 1910, u. a. S. 249). Flaches Land liefert weniger Abtragungsmaterial als Gebirgsland und gibt geringere Sedimentenhöhe in den das abgetragene Material aufnehmenden mehr oder weniger nahen Sedimentationsräumen, also etwa in die Sedimente aufnehmenden See, und das beeinflusst die Ausbildung von Sediment-



Abbildung 416: Herausmodelliert Lilienstein.



Abbildung 417: Zirkelstein. Sächs. Schweiz.



Abbildung 418: Vom Zirkelstein zum Gr. Zschirnstein.

Schichten.

Fließendes Wasser wirkt überall, wo es fließt, in gleicher Weise, Aber wo durch Flußablenkung, Entnahme von Flußwasser, Staustufen usw. **eingegriffen** wird, **ändern sich die Orte, wo das Wasser wirkt**, wird die Landschaft anders geformt, als es ohne Eingriffe geschehen wäre. Das geschah natürlich schon in den alten Bewässerungskulturen. Und es gibt überall menschengesformte Landschaft. Selbst an starken Wasserfällen, wie dem Niagaradall, wird Wasser für Energiegewinnung abgeleitet, kann das normalerweise herabstürzende Wasser nicht mehr wie vorher wirken.

Wind als exogener Faktor, in Wüsten und überhaupt bei Lockermaterial

Wind bei der Wüstenbildung, das galt für JOHANNES WALTHER. Der Wind wirkte, wie auch anderswo festgestellt wurde, in unterschiedlicher Weise. Wie zuerst in Nordamerika deutlich wurde, verursachte der sandbeladene Wind auf festen Gesteinen Schleifspuren (J. WALTHER 1901), sogenannte **"sandcuttings"**. In der Technik wird das Sandstrahlgebläse zum Mattschleifen von Glasplatten angewandt. Diese Schleifspuren des Windes können übrigens den Gletscherspuren ähnlich sein, wobei die Windschliffe jedoch auch an ganz senkrechten Felswänden auftreten. So gibt es offensichtlich sowohl Gletscher- wie Windschliffe an Porphyrfelsen in den Hohburger Bergen nördlich von Wurzen. Eine braune Verwitterungsschicht kann die Felsen überziehen. Der sandfreie Wind kann Bodenmaterial abheben, ein von WALTHER mit **"Deflation"** bezeichneter Vorgang, eine besondere Form der 'Denudation', der allgemeinen Erniedrigung der Landoberfläche. Im Jahre 1891 etwa definierte WALTHER "Deflation" (S. 382): "Abhebung und Fortführung der durch Verwitterung, Sandgebläse, Insolation etc. gelockerten Gesteinsfragmente". Anderswo wird das Material abgelagert und gab es eine bemerkenswerte Bildung von **Ablagerungen infolge Materialverwehung durch Wind**, so von Löß. Pilzfelsen, Kelchsteine und ähnliche Gebilde können drauf deuten, daß der Wind die abgehobenen Sandkörner vor allem nahe dem Boden trieb und so bodennah die Felsen besonders stark abgeschliffen hat. Für solche Felsgebilde in Mitteleuropa war das Wind von ehemals.

Gemäß OCHSENIUS war auch für die Bildung der chilenischen Salpeter-Lager Wind wichtig (s. dort). **Wind** erschien also **als** durchaus **bemerkenswerter geologischer Faktor**.

Und Wind wirkt auch in dem Sand **an Meeresküsten**, wo ebenfalls **Dünen** zusammengeweht werden können und der Sand fortbewegt wird. An einigen Stellen



Abbildung 419: Kelchstein b. Oybin.



Abbildung 420: Belogradsik/Bulg..



Abbildung 421: Wanderdüne Leba.

der Ostseeküste konnten namentlich nach Abhölzung vorher bestehenden Waldes weder verbleibende Bäume noch Bauten dem durch Wind zur 'Wanderung' gebrachtem Sand der 'Wanderdünen' widerstehen. Wird der Sand wieder fortgeweht, wird Verschüttetes wieder freigegeben.

Auf der Kurischen Nehrung hat der im Forstdienst tätige WILHELM FRANZ EPHA (H. PÖLKING 2013, S. 91/92; Wikipedia 2013) im 19. Jh. Maßnahmen entwickelt, den Sand auf den hohen **Dünen** zu **bändigen**: auf den Dünen Anlage von durch trockenes Röhricht- und Strauchgesteck begrenzten kleinen Quadraten, diese aufgefüllt mit Geschiebelehm und Mergel und bedeckt mit Seetang und Reisig und dann mit Kiefern bepflanzt.

Zusammenfassung: Durch exogene Faktoren bedingte Vorgänge

Verwitterung durch chemische Prozesse, durch physikalische Prozesse, so **Insolation**. Ergebnis etwa: **Felszerfall**.

Meer: Abrasion. Transport.

Fließendes Wasser: Erosion, Denudation, Transport von Geröllen. Ergebnis etwa **Talbildung**. In Wüsten selten, aber teilweise gewaltige Ströme: Bildung von **Fanglomeraten**.



Abbildung 422: War sandverschüttet: bei Leba.

Wind: Sandcutting, Deflation, Ablagerung. Ergebnis etwa: Dünen, Wüstenlack.

Eis (d. dort).

Landschaften im Einfluß und Wechselspiel von endogenen und exogenen Faktoren

Nach der Vorstellung der die Erdkruste gestaltenden Faktoren, der "Kräfte", die endogenen und exogenen, mit Erwähnung auch etlicher ihrer Folgen, soll nun Weiteres über die durch das Wechselspiel der Faktoren entstandenen Landformen vorgestellt werden - der besondere Gegenstand der Geomorphologie.

Landschaft unter wechselndem Einfluß

Auf jede Landschaft wirkten und wirken ständig die verschiedensten Faktoren. Über jeweils vorherrschend tätige erhoben sich die Auseinandersetzungen in der Geomorphologie. Welche Rolle spielt der **Gesteinsuntergrund**, spielen die **tek-**

tonisch angelegten **Strukturen**? Wo iele Brüche und Verschiebungen sind, werden diese wohl das Landschaftsbild prägen? Besonders nach 1920 wurde dem Klima eine besondere Wirkungsmacht zugemessen. Es entstand eine "**klimatestische Morphologie**" genannte Richtung. Klimawirkungen sollten über die Gesteins-Unterschiede ziemlich gleichmacherisch hinweggehen können und dann bei druchaus nicht gleichartigem Untergrund die Landformen bestimmen oder entscheidend mitbestimmen. Einer der Hauptvertreter der "klimatestischen Morphologie" wurde HANS MORTENSEN (H. POSER 1964) 1931 Ordinarius an der Universität Freiburg i. Br., 1934 / 1935 bis zum Ende in Göttingen. Als Ergebnis war auch eine weithin anwednbare die Erdoberfläche beschreibende 'Morphologie der Klimazonen' vorgesehen (J. HÖVERMANN 1965, S. 12). Andere Geologen und Geomorphologen standen kritisch zur "klimatestischen Morphologie", so MACHATSCHEK.

Es wurde gesagt schon in den Anfängen der klimatestischen Morphologie bei ERICH KAISER (1926, II, S. 250), daß an den **verschiedenen Stellen** einer Landschaft, auch in demselben Großraum, innerhalb **derselben Klimazone**, bei aller Abhängigkeit der Landschaft vom Klima an den verschiedenen Stellen unterschiedliche Faktoren wirken, also ein Raum nicht allein vom Großklima bestimmt wird, KAISER meinte (1926, II, S. 250): "Wie die Großformen zumeist durch durch das Ineinanderwirken der verschiedenen Faktoren, die Kleinformen durch das Vorwalten des einen oder anderen Faktors hervorgerufen werden" (Hervorhebung im Original), " ... lokal spielen sich Vorgänge ab oder haben sich abgespielt, die scheinbar akimatestische Erscheinungen bedingen, uns fremde Formen, fremdartige Umgestaltung und dem Klima des Gebietes fremde Neubildungen zeigen." Wie steht es, möchte man ergänzend fragen, mit Pilzfelsen und Steintischen in Mitteleuropa, in dessen humdien Klima? J. HÖVERMANN 1965, S. 12) fürchtete den Zirkelschluß, daß man aus den Oberflächenformen Abtragungsbedingungen ab"leitet, "die man bestimmten Kilmaverhältnissen zuschrieb, um dann aus diesen Klimaverhältnissen die Oberflächenformen zu erklären." Zu dem wäre es so, "daß nur unter günstigen Bedingungen mit einer Konstanz der Formungsvorgänge für eine zur Ausbildung charakteristischer Oberflächenformen hinreichend lange Periode gerechnet werden kann" (J. HÖVERMANN 1965, S. 12). Eine Landschaft spiegelt also kaum nur ein Klima wider. "... Formen, die für ein bestimmtes Gebiet in einem bestimmten Klima durchaus charakteristisch sind", dürfen nicht "als typisch für eine bestimmte Klimazone unzulässig verallgemeinert werden" (S. 13). Man wird viel mehr Beonderheiten erwarten müssen als von einer Verallgemeinerung ausgehen.

Vorzeitercheinungen in den heutigen Landschaften, 'Vorzeitformen'

An der Erdoberfläche ist **fast alles 'Vorzeit'**, die Gesteine, die Hebungen und Senkungen und Verwerfungen. Ohne schon lange wirksame endogene Kräfte wären weder Alpen noch Himalaja zu ihren heutigen Höhen emporgestiegen. Aber auch die namentlich durch **exogene Faktoren**, die durch Gletscher, Wind, starke Flüsse bedingte Landschaftsformung stammt viel aus der 'Vorzeit'. Auf diese Faktoren zurückgehende 'Vorzeitformen' hat die sich dieses Begriffes bedienende Geomorphologie besonders angenommen, also 'Vorzeitformen' sind im wesentlichen eine auf das Exogene konzentrierte Angelegenheit. Da sich Landschaften nur allmählich ändern, oft in Jahrmillionen, tragen sie viele Züge ihrer Vergangenheit, wenn diese andere Bedingungen als die letzte Periode aufwies. Viele Formen in der Landschaft gerade auch in dem von Klimawechseln betroffenen Mitteleuropa, über das "allein in den letzten vier Jahrmillionen fast alle zwischen Tropen und Subpolargebiet bekannten Klimate hinweggingen" (J. BÜDEL 1961, S. 318) entstanden in ihren Grundzügen nicht unter aktuellen Klimabedingungen. Landschaftsformen sind deshalb vielfach mehr oder weniger '**Vorzeitformen**', ein besonders von dem lange an der Universität Hamburg wirkenden o. Professor der Geographie SIEGFRIED PASSARGE (H. LOUIS 1959) betonter Begriff. Diese Formen fallen unter den von PASSARGE eingeführten Terminus der "**Disharmonie**", unter dem jene Formen vereinigt werden, "welche nicht dem Klima ihre Entstehung verdanken, unter dem sie heute liegen" (E. KRAUS 1923 b, S. 109). S. PASSARGE betonte 1926 (S. 173, daß etwa in Deutschland "die Formen der Berge, Täler und sonstigen größeren Gebilde sind durch die heutzutage wirksamen Kräfte nicht zu erklären ..." In Mitteleuropa jedenfalls und eigentlich überall **überwiegen** dann **die Vorzeitformen** alle **rezente Landformung**. Besonders die Eizeit war wirksam, lieferte, mit den Worten von PHILIPPSON (S. 22) "das großartigste Beispiel an hinterlassenen Landschaftsformen, an denen die Faktoren des jetzigen milden Klimas erst wenig verändert haben." Was heute in Mitteleuropa wirkt sind gemäß PASSARGE (1926, S. 173/174) "lediglich die Kleinarbeit an Flußufern, in Schluchten, auf Steilhängen, deren Abflachung noch nicht gelungen ist, ... geht in bescheidenem Tempo vor sich." Man selbst möchte hinzufügen: Wenn die Sahara einst keine Wüste war, sondern in jedenfalls vielen Regionen grünes Land, dann drängen sich heute hier wohl kaum Vorzeitformen auf. Die Landschaft wurde geformt in etwa 5000 Jahrtausenden? Aber man sollte an des Geographen PHILIPPSON (1919, S. 22) Worte denken: "Wir sehen Flußtäler dort, wo infolge Klimawechsels oder infolge Verschiebungen in der Erdkruste heute keine Flüsse mehr sind, z. B. in manchen Wüsten, Strandterrassen, wo heute kein Meer ost uff." In Mitteleuropa sieht man als Vorzeitformen also besonders die von einstigen Gletschern zusammengestauch-

ten Moränen, die Gebilde im Gletschervorland, die Oberflächenerscheinungen im Gebiet des Periglazial, also etwa die Blockmeere mitteleuropäischer Mittelgebirge, aber auch auf Tropenregen im Tertiär zurückgeführte Rumpftreppen. Die losen Braunkohlequarzite auf den Höhen mancher Mittelgebirge, manchmal bis zimmergroß, entstammen tertiären Süßwasserbildungen (E. KRAUS 1923 b) und wurden durch Verwitterung aus ihrem Zusammenhange frei. W. SALOMON-CALVI schrieb von "**toten Landschaften**". Landschaften widerspiegeln wie die Gesteine und namentlich die Sedimente also vieles aus ihrer Geschichte. Gegen den Terminus "tote Landschaften" wurde zu Recht eingewandt, daß nur die einst sie formenden Kräfte in dem betrachteten Gebiet 'tot' sind, aber durch vom heutigen Klima bedingte Kräfte vielleicht gerade zur Zeit Landschaften sehr 'lebendig' umgeformt werden (E. KRAUS 1923). Stillstand in der Erdoberflächenformung war nie, Umformung war immer und blieb. Auch die **Vorzeitformen** unterliegen einem **ständigen Veränderungsprozeß**, befinden sich in verschiedenen Stadien einer Umwandlung (PHILIPPSON 1919, S. 22). Die auf die letzte Eiszeit, die Weichsel- oder Würm-Eiszeit zurückgehenden Formen sind oft besser ausgebildet als die älterer Eiszeiten. Heute noch in Umbildung begriffene Formen wurden auch als "**Arbeitsformen**" bezeichnet, also als Unterschied zu Vorzeitformen (E. KAISER 1926, II, S. 385). BÜDEL (J. HÖVERMANN 1965, S. 14) suchte "in erster Linie" aus **Verwitterungsvorgängen** und **Bodenbildungen** eine klimatische Morphologie zu gestalten, ja die "Bodenbildungen auch terminologisch zur Grundlage der klimatischen Morphologie zu machen versucht." Gewiß tragen Bodenbildungen oft Züge vergangener Bedingungen (auch E. KRAUS 1923 a). BÜDELs Zuordnung der Rumpfflächen in ein feuchtes Tropenklima, in Mitteleuropa für das Tertiär gesehen, führten aber so viel Widerspruch, daß OTTO MAULL (J. HÖVELMANN 1965, S. 15). an der klimatischen Morphologie zweifelte. Aber das war nicht das letzte Wort.

Landschaftsformen mit Gestaltung unter nicht der Gegenwart entsprechenden Bedingungen, also gesehen namentlich unter dem Einfluß andersartiger exogener Faktoren sind am ehesten aus jüngeren Perioden erhalten, so wie etwa die von den Gletschern und deren Schmelzwässern gebildeten glazialen Formen. Sandsteinfelsen, welche eher an aride Gebiete erinnern, wurden auch als "Nester arider Vorgänge" mitten in unserem humiden Klima angesehen (E. KRAUS 1923 b, S. 120).

Erdbeben und Vulkanausbrüche gab es bis in die Gegenwart und sie haben oft Neues in der Landschaft geschaffen, Calderen und Brüche etwa, gehören aber keinem speziellen Klima an.



Abbildung 423: Mittelgebirge Thüringer Wald.

Die varistisch gefalteten, dann durch Dislokationen und Heraushebung bestimmten und dann der Abtragung ausgesetzten Mittelgebirge in Mitteleuropa und anderswo

Die deutschen Mittelgebirge haben eine wechselvolle Geschichte mit wenigstens zwei durch lange Zeiträume getrennten und wiederum länger andauernden Vorgängen ihrer Bildung.

Die Mittelgebirge bestehen namentlich aus jenen in der varistischen Gebirgsbildung oder teilweise auch schon einmal vorher gefalteten Schichten und den dabei in der Tiefe mit eingeführten kristallinen und metamorphen Gesteinen, die alle als 'Grundgebirge' bezeichnet wurden (A. WURM 1948). Die in die varistischen Gebirgsbildung einbezogenen, altpaläozoischen Sedimente sind teilweise fossilarm bis fossilleer, schon infolge der Metamorphose der Fossilien beraubt worden, was ihre stratigraphische Einordnung oft schwierig und lange umstritten machte. Wie viel gab es Diskussionen, wohin etwa die Goldauterner Schichten oder bestimmte Schiefer im Thüringer Wald nun zu stellen sind. Auch waren immer mehr Ver- und Überschiebungen anzunehmen. Das **abgetragene** varistischen Gebirge und jedenfalls große Regionen zwischen den heutigen Mittelgebirgen wurden mit bis in die Gegenwart weitgehend flach liegenden, nicht noch einmal stark gefalteten Schichten bedeckt und in den Mulden hatten sich die Abtragungsmaterialien des Obercarbon und Rotliegendes angesammelt,

Ab Zechstein gab es weite, alles bedeckende Überflutungen, wie dann auch im Muschelkalk, im Jura, in der Kreidezeit. Auch hierbei ist strittig: Wie weit ragten Inseln, gar die Anfänge der späteren Mittelgebirge, aus Zechsteinmeer und

später wenigstens zeitweise, heraus? Wohl ab der zweiten Hälfte des Mesozoikum hoben sich 'Horste' heraus oder sanken gar Niederungsgebiete ab. An Störungen, an Dislokationen, Verwerfungen, in verschiedenen Teilen Mitteleuropas verstellten sich verschiedene Regionen gegeneinander, nach oben oder unten, so wie sich Eisschollen in einem sturmgepeitschten Eismeer gegeneinander stellen, eindrucksvoll einmal gemalt von CASPAR DAVID FRIEDRICH.

DEFFNER wird von A. HETTNER (1904, S. 14) als derjenige genannt, der "im deutschen Mittelgebirgsland das Auftreten und die große Bedeutung der Verwerfungen zuerst nachgewiesen und dessen Charakter als den eines Schollenlandes erkannt hat" (A. HETTNER 1904, S. 14). Der dann auch von dem Geographen ALFRED HETTNER (1904) viel genannte Terminus "**Schollenland**" gibt die Verhältnisse wohl recht deutlich wieder, wobei die "Schollen" in verschiedenster Weise gegeneinander verstellt sind und innerhalb dieser auch wieder begrenztere Störungen bestehen "Diese Zerstückelung ist eine der wichtigsten, wenn nicht die wichtigste Tatsache der Bodengestaltung Deutschlands" (S. 25). Oft ist nur die eine Seite einer Mittelgebirgs"scholle" durch große Verwerfungen begrenzt, ist hier einseitig stärker herausgehoben, während die andere Seite flach geneigt ist und die Scholle nach einer Seite 'abgekippt' ist. Es entstehen so die **Halbhorste** und Keilschollen in VON RICHTHOFENS Terminologie, wobei dann vor allem von **Pultschollen** gesprochen wird. Das Sächsische Erzgebirge wurde an der Südseite gehoben, der Harz und der ihm ähnliche kleinere Kyffhäuser an der Nordeite. Die Sprunghöhe etwa am steilen Südhang des sächsisch-böhmischen Erzgebirges wurde mit 600 Metern festgestellt (J. E. HIBSCH 1891), während das Erzgebirge sich nach Norden ganz flach abdacht. Südlich des Erzgebirges erscheint ein Einbruchbecken, in dem auch rege Vulkantätigkeit bestand und zu dem das Böhmisches Mittelgebirge gehört. Vom Mückentürmchen auf der böhmischen Seite des Erzgebirges bei Zinnwald hat man den fast einmaligen Blick hinab in einen im Norden nirgends bestehenden Hang des Erzgebirges in das abgesunkene Becken mit den Braunkohlenlagern und den Vulkanresten im Hintergrund. Der kleine Gebirgszug des **Kyffhäuser** (Werte unserer Heimat, Band 29, Berlin 1976; E. PHILIPPI 1910, S. 367/368), 450 - 473,6 m hoch, ist ein an der Nordseite stärker herausgehobenes kleines Schollengebirge, mit sogar dem Erscheinen einiger kristalliner Gesteine an der höhergestellten Nordseite und dann nach Süden zu gebildet aus Obercarbon und Rotliegendes. Der Südhang wird dann gebildet von dem jüngeren, dem Rotliegenden aufliegenden Zechstein, hier größtenteils Gips. Die "Aufsattelung und Abtragung des Kyffhäuser-Gewölbes" lag nach den Beobachtungen von E. PHILIPPI (1910, S. 368) schon vor dem Oligozän, aber aus verschiedener "Höhenlage der einzelnen Oligozänpartien" schließt PHILIPPI auch "auf recht erhebliche postoligocäne Dislokationen." Einem einmaligen Akt verdanken die Schollen, die Mittelgebirge, ihre Existenz alle nicht.



Abbildung 426: Im N mehr gehob. Pultscholle Kyffhäuser.



Abbildung 427: Kyffhäuser N OberCarbon.

Der **Harz** erscheint mehr als herausgehobener "**Horst**", jedoch auch mit nicht dem gleichem Aufstieg an beiden Seiten und stärkerer Heraushebung an der Nordseite.

Was einst auf den Mittelgebirgsschollen eventuell lag, wurde "abgehobelt", nur die herausgehobenen Rümpfe blieben übrig, aus Gesteinen, die einst, vor dem Herausheben, in der Tiefe lagen. Vielerorts kaum noch einmal gestört wurden herausgehoben in die Mittelgebirge von heute Gesteine, die, in den Varistischen Orogenese, schon einmal Gebirge waren oder deren Abtragungsschutt, also vor allem das Rotliegende bildeten, und dadurch sind "Die Berge einer Landschaft von heute nichts als ein Abfall von Bergen der Vorzeit, die selber nicht mehr da sind, ... (H. CLOOS 1951, S. 217). Fehlen bei herausgehobenen Schollen nach-untercarbonische Ablagerungen sprach VON RICHTHOFEN von Rumpf- oder Abrasionsschollen, liegt noch Mesozoikum auf, wurde von Tafel- oder Deckschollen gesprochen. Als man noch keine Vorstellung vom Ausmaß möglicher Abtragung hatte, hielt man die aus alten Gesteinen, etwa aus Granit oder Gneis bestehenden Mittelgebirge als in der ganzen Erdgeschichte beständige Massive. Sie blieben bestehen in einem rings um sie brandendem Meer mit dessen wechselnder Ablagerung und Tiefe. Große Felsen in der wechselnden See. Daß sie tief abgetragen auch sicherlich einst von Meeressedimenten bedeckt waren und dann sich aus dem Meer heraushoben, die alten Gesteine durch Abtragung des Darüberliegenden weit über die Umgebung, das begriff man erst allmählich.

Im **Rheinischen Schiefergebirge** liegen jedoch Sedimente des Rotliegenden und des Mesozoikum nunmehr in verschiedener Höhe, und auch nur in Resten. Einstmals aber haben, wie etwa E. KAYSER meinte, diese Sedimente als einheitliche Decke und in horizontaler Lagerung auf dem einstigen tiefen Territorien des heutigen Rheinischen Schiefergebirges gelegen (C. MORDZIOL 1910). Schon ehe sich der Buntsandstein als erste mesozoische Abteilung ablagerte, war offensichtlich das Gebiet zu einer ebenen Rumpffläche, einer paläo-mesozoischen **Peneplain**, abgetragen. Mit der Hebung des Horstes des Rheinischen Schiefergebirges wurden die darauf abgelagerten Sedimente wiederum abgetragen und drang die Abtragung vielfach noch in die unter dem Rotliegenden oder dem Mesozoikum liegenden paläozoischen Gesteine ein. Erhalten blieben mesozoische Sedimente, wo sie in tieferes Niveau sanken. Und sie zeugen von der einstigen Überlagerung des das Rheinische Schiefergebirge bildenden Rumpfes.

Diese Dislokationen, Verwerfungen, welche die Schollen trennen oder auch innerhalb dieser oder der abgesunkenen Regionen vorhanden sind, verlaufen größtenteils in einer anderen Richtung als die Sättel und Mulden des alten varistischen Gebirges, oftmals sogar nahezu quer. Die Anordnung dieser Verwerfungen folgt im großen und ganzen dem von L. VON BUCH und FRIEDRICH HOFFMANN schon

erkannten Verlauf. Die Sättel und Mulden des varistischen Gebirges in Thüringen und Sachsen liefen in Süwest-Nordost-Richtung, jedoch der Thüringer Wald, der Harz und auch die schlesischen Gebirge (F. FRECH 1902 b) stehen mehr oder weniger quer zu dieser Richtung, die Sudeten etwa "ein durch jüngere Brüche begrenztes Bruchstück der in jungpaläozoischer Zeit aufgefalteten Hochgebirge" (S. 554). Die Verteilung der Gesteine, das heißt wo Granit oder Porphyry oder Rotliegendkonglomerat vorkommen, wird durch die Sättel und Mulden der jungpaläozoischen varistischen Gebirgsbildung bestimmt. Die heute die herausgehobenen Mittelgebirge begrenzenden **Dislokationen** sind wohl älter, in ihrer letzten Wirkung auf wesentlich jüngere Zeiten zurückzuführen.

Wandert man im Thüringer Wald von Eisenach nach Saalfeld so überquert man erkennbar an dem Gesteinswechsel auf dem Kamm des Nordwest-Südost ziehenden Thüringer Waldes die einst quer dazu bestehenden Sättel und Mulden des Varistischen Gebirges, von der Eisenacher Mulde ausgehend den Ruhlaer Sattel, dann die "Oberhöfer Mulde" mit über 40 km Breite, dann folgen der Schwarzbürger Sattel, die Ziegenrück Mulde, der Ostthüringer Hauptsattel, der sich sächsischen Granulitgebirge fortsetzt und dem sich in Sachsen im Süden die Erzgebirgische Mulde anschließt. W. VON SEIDLITZ sprach einmal (1925) von der "Vergitterung tektonischer Achsen im Bauplan Thüringens", was sich im Untergrund im nördlich vom Thüringer Wald gelegenen Thüringer Beckens fortsetzt.

Die Dislokationen, welche die Schollen voneinander trennen, gehören verschiedenen Perioden an. Sie, wie schon oben grundsätzlich vermerkt, aufzufinden und auch ihr Alter festzustellen haben sich zahlreiche Geologen bemüht.

In Nordwest-Deutschland, im Norden und Westen des Harzes, hat vor allem VON KOENEN (1905 a) von Göttingen aus viele das nordwestdeutsche Bergland bestimmenden Dislokationen erstmals festgestellt, hat ihre hauptsächlich eingenommenen Richtungen, die Zeiten ihrer Entstehung, ihre Wirkung auf die Gebirgsbildung und ihre Erstreckung über größere Landflächen verfolgt. KOENEN hat damit das Verständnis für den geologischen Aufbau Niedersachsens eröffnet (A. v. KOENEN 1905 a, POMPECKJ 1915). H. STILLE, der zweite Nachfolger KOENENs in Göttingen, hat dann in besonderem Maße die von Dislokationen bestimmte Bildung von Bergländern und Senken in Nordwestdeutschland fortgesetzt. Wie schon FRECH (1899) und andere wußten, entstanden Dislokationen noch im Carbon nach der Faltung und die Schollen bewegten sich in viel jüngerer Zeit teilweise längs wiederbelebter alter Dislokationen. Aber andererseits wird das Auftreten der die einzelnen Schollen hebenden Kräfte mit der Alpenbildung zusammengebracht. Die unterschiedliche Hebung der Krustenteile, der Schollen im außeralpinen Mitteleuropa führte dazu, daß unterschiedlich alte Gesteine an die Oberfläche kamen und auch gemäß der nachfolgenden Abtragung also ein regelrechtes Mosaik



Abbildung 428: Sächsische Schweiz: Kuhstall.

verschieden alter Bildungen die Oberfläche bestimmt. Sind im Harz vor allem devonische Gesteine aufgeschlossen, so im Erzgebirge wenigstens teilweise in großen Tiefen entstandene metamorphe Gesteine. Rotliegend-Porphyre und auch Granite bilden den Kamm des Thüringer Waldes. Im Thüringer Becken blieben jene Triasschichten erhalten, die einst wenigstens bis zu gewisser Weite, nachweisbar in Reststücken, auch das Gebiet des gegenwärtigen Thüringer Waldes bedeckt haben.

Der Sandstein des **Elbsandsteingebirges** entstand im Meer. Der Sandstein mußte dann herausgehoben worden sein, tektonisch kam Zerrüttung durch die Lausitzer Überschiebung. **Abtragung und Zerklüftung** bestimmen vielerorts die Sandsteingebilde, welche an vielen Stellen die heutige Schönheit des Elbsandsteingebirges ausmachen, Wie schnell verlief die Heraushebung? Von geologischem Interesse sind **Felsentore**, als größtes das Prebischtor, als zweit-größtes der in fast 337 m Höhe gelegene Kuhstall und kleinere Durchbrüche neben dem Kuhstall. Der Durchbruch des Kuhstall ist 11 m hoch, 17 m breit. Eine tonige Zwischenschicht liegt dem zugrunde. Hat ein Bachdurchfluß zur Zeit mitgewirkt, als das 'Gebirge' noch tiefer lag? Wieviel Spekulation kann hier erlaubt sein?

Was geschah mit dem aus der Tiefe aufsteigendem Granit im Kleinen? - Grantitektonik: CLOOS

Granit war stofflich untersucht. Und überall gab es gröbere Bewegungsspuren, welche dem Geologen "die Heftigkeit, die Richtung, das Ausmaß der Orts- und Formveränderungen anzeigten" (H. CLOOS 1951, S. 211). Aber konnte man mehr



Abbildung 429: Kleiner Felsdurchbruch nahe Kuhstall.

über das Emporquellen und die Erstarrung des Granits in einem Gebirge wie dem Riesengebirge sagen? Der auch als Architekt geschulte HANS CLOOS vermeinte es und sah es als ein noch offenes Problem der Geologie, und offene Probleme zu erkennen zeugen von dem schöpferischen Geist. Und in seiner Methode suchte er in der Einregelung, der Richtung der kleinen Kristallen und an Schlieren, festgestellt an Tausenden von Felsoberflächen zu einem gefestigteren Bild von der Bildung der Granitplutone im Riesengebirge zu gelangen. Das geschah in einem Sommer von Breslau aus: "Wir nehmen einen schweren und einen leichten Hammer, um große Felsen anzuschlagen und kleine Merkmale freizulegen, einen guten Kompaß und Neigungszeiger, um diese Merkmale zu messen, ein Paket Geländekarten, um diese Messungen geordnet einzutragen, und dann fahren wir an einem hellen Junimorgen dem blauen Gebirge zu. Ehe der November die Berge in Schnee und Dunkel hüllt ..." (H. CLOOS 1951, S. 211/212). Bei niedrig liegenden Felsen mußte man wohl auf den Knien herumrutschen. Aber für die untersuchten Merkmale, die Kristallregelungen, wurde offenbar: sie "stehen ... untereinander, von Fels zu Fels, von Tal zu Tal, in geregelten Beziehungen", es erscheint ein "Strukturbild", "das Bild einer riesenhaften und einmaligen, von ungeheuren Kräften nach oben getragenen Quellung", und das alles 'fügt' sich "nur zu zwei einfachen, großen, aus vielen Schalen gefügten Kuppeln zusammen, die aneinander anschließen und das ganze Gebirge durchsetzen oder überspannen" (H. CLOOS 1951, S. 213). Damit begründete CLOOS die **Granittektonik**, gab eine Vorstellung von dem, was sich in der Tiefe abgespielt hatte, bevor das Gebirge gehoben wurde. Im aufstei-

genden, noch schmelzflüssigen Material des werdenden Riesengebirgsgranits gab es also im Endeffekt kein wildes, richtungsloses Durcheinandergewirbel. Das Kleine, die Kristalle und Kriställchen an der heutigen Felsoberfläche wurden gesehen als Widerspiegelung von Größerem, also **Kleintektonik** zur Entschlüsselung der Großereignisse. Granit - ein Glied in der Bildung der Erdkruste bei WERNER, wurde nun in seiner Bildung in einer Region, dem einst auch beachteten Riesengebirge, von einer ganz anderen Seite erfaßt. Von der Erdgeschichte im engeren Sinne wußte man vielleicht nicht mehr, aber erkannte, wie die Oberflächenstrukturen zustandekamen.

Die am Granit entwickelte Untersuchung wurde auf an die Oberfläche gelangte Eruptivgesteine, auf vulkanische Gesteine übertragen. "Der Vulkanismus", hieß es einmal bei CLOOS, "wird zu einer Gebirgsbildung mit hochplastischem Material" (zitiert aus: K. ANDRÉE 1948, S. 12). Nach Forschungen in den USA haben HANS CLOOS und sein Bruder ERNST die "Strukturanalyse" auf die basaltischen, "kleinen subvulkanischen Intrusionen des Siebengebirges" bei Bonn übertragen und fanden auch hier, "daß die Lage des Schlotes und die Form des Schmelzaufstieges sich in der Anordnung der aus der Tiefe mitgebsachten Kristalle abgebildet hatte" (zit. H. MARTIN 1970, S. 178).

In Experimenten mit weicherem Material in Kästen hat CLOOS (1936) die tektonischen Erscheinungen nachzubilden versucht

Mittelgebirge anderswo

Ural und Appalachen erschienen, wie es jedenfalls F. FRECH 1899 sah, als am Schluß der paläozoischen Ära gefaltete langgestreckte Ketten, die bei jüngeren tektonischen Bewegungen im Sinne der alten Faltungsrichtung wieder emporstiegen. Erfolgt in einem abgetragenen Faltengebirge erneute tektonische Bewegung im Sinne der alten Faltungsrichtung, wie eben beim Ural, so entsteht wieder eine Faltengebirgskette. Durchschneiden die späteren tektonischen Bewegungen die alte Faltungsrichtung, nehmen die neu gehobenen Krustenteile die Form von Rumpf- oder Horstgebirgen an.

Faltung im unterirdischen Salz

Daß in dem durch Dislokationen stark bestimmten Nordwest-Deutschland es auch zu Faltungen in weichem Material kommen konnte, zeigen die Salzlager, die unter Druck plastisch wurden und wo Salzstöcke in Lücken gepreßt wurden, wie

auch VON KOENEN (1905 a) als einer der ersten feststellte. Das wurde vor allem durch die Auswertung der Befunde von Bohrlöchern möglich. Der Mineraloge F. RINNE hat das durch Experimente gestützt, wenn er bei einem Druck von 2000 Kilogramm auf den Quadratzentimeter eine sehr weitgehende Umformung von Steinsalz- und Sylvin-Spaltungsstücken erzielte bei unverändertem Zusammenhang und optischem Verhalten. Die Salzaufpressung konnte nach den Befunden von KOENEN (1905 a) dessen Deckgebirge, namentlich den Anhydrit und den Buntsandstein, vielfach zerrütten, zerstückten und verschieben. Auch das trug bei zu den durch Salz bedingten Karstphänomenen.

Gebirge und ihre Abtragung

Das physiognomische Bild der Gebirge, auch der deutschen Mittelgebirge, ist stark von der Verwitterung bedingt, in Abhängigkeit auch von ihren unterschiedlichen an der Erdoberfläche lagernden Gesteine. Ihre Wasserdurchlässigkeit bestimmt stark mit.

Die Heraushebung der Gebirge erfolgte endogen, damit auch ihre Höhe, auch Dislokationen in ihnen. Die äußere Ausgestaltung wird stark von exogenen Kräften mitbestimmt. Dabei bestehen die größeren Höhen wegen der Verwitterung wie wegen der größeren Heraushebung aus den härteren Gesteinen. Weichere Gesteine erhielten sich eher im Schatten der Schollen aus dem härteren Gestein.

Beim Vergleich verschiedener Gebirge der Erde wurde die Rolle der Verwitterungsprozesse für die **Gestaltung der Bergländer** deutlich. In Höhenlagen, in denen europäische Hochgebirge **alpinen Charakter** tragen, finden sich in den Tropen und Subtropen, so in Mexico, sanftere, den Mittelgebirgen der gemäßigten Breiten vergleichbare Formen. In den höheren Breiten, im Norden mit seinem rauheren Klima, schon im nördlicheren Skandinavien und selbst im Bergland von Wales mit dem fast 50 m unter der Höhe des Brocken bleibenden 1094 m hohen Snowdon, nähern sich **selbst weniger hoch aufragende Gebirge alpinem Charakter**.

Die Entstehung alpiner Formen erweist sich also nicht an die Meereshöhe als solcher gebunden, sondern an die ähnliche Verwitterung, die in den verschiedenen Breiten in unterschiedlicher Höhe stattfindet, bestimmt vom lokalen Klima. In den höheren Breiten, im Norden, hatte gerade auch die viel stärkere Vergletscherung in den Eiszeiten die schrofferen Formen zustandegebracht (A. HETTNER 1928), die fortbestehendes wechselhaftes Klima bestehen ließ.

Hinsichtlich der Großformen der Hochgebirge, so der Alpen, bemerkte PENCK etwa 1924, auf der Naturforschertagung in Innsbruck, daß die Eiszeitwirkungen



Abbildung 430: Snowdon, Wales.



Abbildung 431: Ben Nevis, Schottl..

im Grunde doch nur "Verzierungen" der größeren Formen der Alpen sind (H. SPREITZER 1951). Aber was wären die Alpen ohne sie!

Tal-Landschaften. - Engtäler, Sohlentäler, U-Täler

Täler kennzeichnen viele Regionen der Erde und ihre Herausbildung haben Geologen wie Geomorphologen beschäftigt und das hat zum zunehmenden Verständnis der exogenen Faktoren wesentlich beigetragen, von der oft vermuteten Uranlage der Täler bis zur neueren Erfassung der Ausräumung, wie schon bei HUTTON. Jedoch hinsichtlich Tälern heißt es von Labrador (Lexikon): "Auf der innern Hochfläche haben die Flüsse auf weiten Strecken keine wirklichen Täler und Betten, ... Das abfließende Wasser irrt zwischen den niedrigen Felsenrücken hin und her, staut sich vieltausendfach zu Seen und Sümpfen (muskegs) und stürzt in Gesalt zahlloser Schnellen und Wasserfälle von einer Stufe zur andern. Auch die Wasserscheiden sind wenig streng." Anders ist es dann am Rande eines Hochlandes, wo die rückschreitende Erosion beginnt.

Auch auf den gehobenen deutschen Mittelgebirgen, etwa dem Harz, gibt es eine Hochfläche, wo die noch kleinen Wasserläufe oft zwischen Wiesen kaum eingesenkt in ihren Betten fließen. Zum Rande hin, wo also die Heraushebungsgrenze verläuft, gibt es tiefeingeschnittene Täler. Das Bodetal südlich Thale ist wohl eines der schönsten.

Nur am Rande des gehobenen Mittelgebirgshorstes hat eben der Einschnitt bisher stattfinden können und erst langwährende rückschreitende Erosion müßten die Täler weiter in größerer Tiefe in die Gebirge hineinführen.

Wo viel Aufschüttung stattfindet und statt der Tiefenerosion die Seitenerosion wirkt, entstanden die **Sohlentäler** (F. AHNERT 1996, S. 204 ff.).

Bewegte sich in höherem Gebirge in einem Engtal, in V-Form, ein **Gletscher**, wurde ein solche Tal zu einem **U-Tal**, einem **Trogtal** ausgehobelt, also wegen Seitenabtragung zu einem Tal mit erweitertem Talgrund ausgeschliffen.

Unter den auffälligen Phänomenen der Flüsse befinden sich die '**Mäander**', Flußschlingen. Ihr Abschneiden führt zu den Altwässern. In der Oberrheinebene wurden sie abgeschnitten, der Rheinlauf begradigt.

Münden Ströme mit viel mitgenommener feiner Materialfracht an flachen Küsten bildet sich ein **Delta**, wächst bei gleichbleibender Küste immer weiter, Mit seinen etwa 24.000 Quadratkilometern hat das sich ausweitende Delta des Nil, das von oben dem Buchstaben delta ähnelt, diesen Flußmündungen den Namen gegeben. Auch LYELL interessierte die Deltabildung und die hier möglich erscheinende



Abbildung 432: Eingeschnittenes Bode-Tal.



Abbildung 433: Ein U-Tal, Hohe Tatra.



Abbildung 434: Fruchtland Ägypt..



Abbildung 435: Wüste geg. Fruchtland..

Feststellung der Bildungszeit. Über 80 Millionen Menschen leben heute auf diesem Raum, dem für die Nahrungserzeugung innerhalb der Grenzen Ägyptens nur das bis 25 km breite und vom Nil jährlich mit Schlamm versorgte **Fruchtland** und einige Oasen zur Verfügung stehen. Hier hat ein Strom mit seinem Transportmaterial ein von Wüsten umgebenes historisch reiches ganzes Land geschaffen.

Die anthropogen stark beeinflussten Auenlandschaften

In Mitteleuropa gab es nach der letzten Eiszeit und später vor allem durch das im Mittelalter stattgefundenen Vordringen von Menschen in die **Mittelgebirge** und die **Rodung der Wälder** verstärkten Abbau der Bodendecke, Das Material wur-



Abbildung 436: Elbe-Auelandschaft Wörlitz.



Abbildung 437: Der mit Bühnen gezähmte Tieflandsstrom Elbe b. Belgern.

de dann in der Niederung von den dort viel langsamer fließenden Flüssen oder Strömen abgelagert, auf den vorher unter den periglazialen Bedingungen des ausgehenden Eiszeitalters, des Spätglazials, abgelagerten Schottern, dem Kies und bildete **Auelehm**, Aueton. Ziegelreste in dem Auslehm weisen auf den erdgeschichtlich jungen Abtrag, viel jünger als ein Großteil der ins pharaonische Ägypten zurückreichenden Ablagerungen beim Nil, Auewälder und dann menschengemacht fruchtbare Wiesen und Äcker kennzeichnen diese mitteleuropäischen **Auelandschaften**, etwa an der mittleren Elbe, so im Gebiet um Dessau. Das ist durchaus den Ablagerungen im Fruchmland des Nil zu vergleichen. Bei Nässe ist der Aueboden aber schwer zu bearbeiten, beim Trockenwerden entstehen Risse. Günstige Bedingungen müssen zu Bearbeitung abgepaßt werden und man spricht von 'Minutenböden', also oft nur kurzen günstigen Bearbeitungszeiten. Der unter dem Auelehm liegende Kies drainiert. die Auen, führt Wasser ab.



Abbildung 438: Überflutung Unstrut-Aue Mai 1961.

Die Aue des Flusses Pleiße bei Leipzig ist weniger dick, aber immerhin fanden sich bei einem berühmten Fundort bei Markkleeberg 1- 1,3 m unter der heutigen Oberfläche bronzezeitliche Scherben auf dem Auekies unter dem Lehm, also wurden der Auelehm über den Scherben erst ab der Bronzezeit, 1000 - 800 v. Chr. gebildet. Slawische Scherben, die damit ins frühe Mittelalter führen, wurden aus etwa 0,5 m heraufgeholt (R. GLÄSEL 1955, S. 132). In der Aue begegnen sich Holozän-Geologie und Vorgeschichtsforschung und Botanik.

Flußüberschwemmungen nach der Schneeschmelze oder starken Sommerregen sind nicht nur menschenabhängig, sondern eher auch normal, erneuern die Bodenablagerung.

Große Auenwälder erhielten sich an der Donau in Niederösterreich und in der Slowakei.

Der Einfluß des **modernen Menschen** mit **seinen Flußbegradigungen** und **Staustufen** in den Flüssen hat einen anderen eigenen Einfluß auf die Flußsedimentation, hindert etwa das Hinabführen der Sedimente in den Unterlauf und setzt sie hinter den Staustufen ab. Es vermindern sich die Feinschlick-Ablagerungen in den an Landwirtschaft reichen Delta-Gebieten von Nil und Jangtsekiang.

Auch an den deutschen Flüssen wird massenweise für Beton **Kies entnommen**. Die Flußbetten werden also völlig verändert



Abbildung 439: Mäander in Fläche.



Abbildung 440: Mäander Polenz.

Das Rätsel Durchbruchstäler - Geomorphologie und Geologie eng verbündet: Antezedenz

Mit Diskussionen über Gebirgsbildung verknüpft waren die Erörterungen über die **Durchbruchstäler** (V. HILBER 1889), Flußtäler, die teilweise als beeindruckendes, landschaftlich reizvolles Engtal, höheres Land, etwa ein Mittel- oder auch Hochgebirge, durchschneiden, wie beim Durchschneiden des Rheinischen Schiefergebirges durch den **Rhein** oder besonders eindrucksvoll beim **Canon** des **Colorado**-Flusses mit seinem in den Felswänden gegebenen Einblick vom Perm an abwärts bis zum Präkambrium. Dabei konnte ein Fluß ein Gebirge nicht nur in einem geraden Lauf durchschneiden, sondern **auch in Mäandern**, die sich auf Ebenen immer einmal ändern, in einem Engtal aber kaum noch seitwärts ausweichen konnten.



Abbildung 441: Isker-Durchbruch Balkan.

Verwunderung über ein solches Durchbruchstsl äußerte auch schon der frühe USA-präsident THOMAS JEFFERSON beim Durchbruchstal des Potomac durch den Blue Ridge im Osten der USA (F. AHNERT 1996, S. 254). Anfangs wurde angenommen, daß der Fluß sich vor dem Gebirgszug, den er durchbricht, staute und der Druck der gestauten Wassermassen schließlich den Durchbruch schufen. Nachdem GEORG FORSTER (in 1958, S. 380) auf seiner Rheinreise 1790 mit ALEXANDER VON HUMBOLDT das **Rhein-Engtal bei Bingen** durchfahren hatte, meinte er "..., daß einst die Gewässer des Rheins vor Bingen, durch die Gebirgswände gestaut und aufgehalten, erst hoch anschwellen, die ganze flache Gegend überschwemmen, bis über das niveau der Felsen des Bingerlochs anwachsen und dann unaufhaltsam in der Richtung, die der Fluß noch jetzt nimmt, sich nordwärts darüber hinstürzen mußten. Allmählich wühlte sich das Wasser tiefer in das Felsenbett, und die flachere Gegend" - also südlich davon, Mainz, Oppenheim usw. - "trat wieder aus demselben hervor. ... und der Strom" hatte "einen Abfluß."

Für die **Elbe**, die von Böhmen nach Norden zieht, nahm Graf VON STERNBERG 1820 an, daß sie einst an den Felsen des Elbsandsteingebirges endete und damals, "als die Elbe die Felsen noch nicht durchbrochen hatte", sich in Innerböhmen ein großer See befand. In ihm sollten die Kohlenlager Nordböhmens entstanden sein. Für den Engpaß der Salzach bei Golling plädierte für einen solchen Durchbruch von aufgestauten Wassermassen VON BUCH, für die Rhone bei l'Ecluse DE SAUSSURE, für den Durchbruch der Weser durch die Porta westphalica zwischen Wiehengebirge und Wesergebirge bei Minden FRIEDRICH HOFFMANN (1830, 1.).

Aber diese Erklärung ließ sich nicht halten. Schon relativ schwache künstliche Staumauern sind relativ stabil und das Wasser fließt bestenfalls über. Andere Hy-



Abbildung 442: Rhein am Tor zum Schiefergebirge. Bingen.

pothesen folgten. Auch gibt es Engtäler mit Mäandern. V. HILBER nannte 1889 neun Hypothesen, von unterschiedlichem Wert und mit der Möglichkeit, daß die Entstehung der einzelnen Durchbruchstäler auch unterschiedlich erfolgt sein konnte. Gerechnet wurde etwa mit der **rückschreitenden Erosion** tief in das den Fluß speisende Gebirge hinein, zurück bis zum Durchbruch, die **Regressions-Theorie**. Zwei auf einander gegenüberliegenden Seiten eines Gebirges sich einschneidende Flüsse sollten rückschreitend sich eventuell in ihren Quellgebieten treffen können, was den Durchbruch brachte. Fraglich war, ob die Kraft des Wassers für so viel rückschreitende Erosion ausreichen konnte, da die Flüsse zum Gebirgszentrum, zum Quellgebiet hin, immer schwächer werden.

Am meisten beeindruckte dann die Hypothese von der **Antezedenz** ("Antezedenz") der Flüsse von Durchbruchstälern. Ein Fluß, auch ein mäandrierender, konnte **einst in einem Flachland** geflossen sein, das langsam bis zu Gebirgshöhe aufstieg.

Ging die Hebung des Gebietes langsam genug vonstatten, konnte sich der **Fluß einschneiden**. O. PESCHEL beschrieb 1870 die Ansicht: "... findet das Aufsteigen so langsam statt, daß die Erosion damit Schritt halten kann, so wird ein Fluß sein altes Bett behaupten können, während an seinen Ufern die Wände eines Landrückens oder eines Gebirges aufwachsen ..." Einmal in dem sich hebenden Gebiet eingeschnitten, konnte er nicht mehr ausweichen. Pendelten die Flüsse auf der Ebene noch umher, so verlor mit seiner Eintiefung in einem Hebungsgebiet der Fluß die Möglichkeit, die "früher wahllos eingeschlagenen Windungen und Krümmungen wieder zu verlassen." Die Mäander wurden, wie H. RECK (1912/1913) später eindrucksvoll ausdrückte, zu "**Zwangsmäandern**".

Die Vorstellung von der Antezedenz von Gebirge durchbrechenden Flüssen wurde vorgestellt vor allem durch den US-amerikanischen Geologen J. W. POWELL (G. P. M. 1963) **1875**, nach seiner Bootsfahrt **1869** mit Gefährten in Booten vom Canon des Green River hinein in den tief eingeschnittenen **Colorado-Fluß** mit seinem faszinierenden Canon. Auch wenn für den Green River das nicht so zutraf, galt die Antezedenz für den Colorado-Canon und wurde auch für andere Gebirge durchschneidende Flüsse als möglich gefunden, ob für das Engtal des Rheins oder die Elbe beim Elbsandsteingebirge. POWELL führte eine zweite Expedition zum Colorado 1871. Bis 1925 (O. ABEL 1926, S. 196) war ein solches völliges Durchfahren des Colorado-Canon nicht noch einmal geschehen.

Die Faltung, welche den inneren Bau vieler Gebirges ausmacht, war beim Emporsteigen im ganzen bereits abgeschlossen gewesen und hatte mit dem Flußeinschneiden nichts zu tun, sondern mit der Hebung. Die so gegebene Deutung der Entstehung der Durchbruchstäler **entsprach der aktualistischen Vorstellung** von der Allmählichkeit der geologischen Veränderungen, also LYELLs Vorstellung, ja wurde **für die aktualistische Auffassung eine entscheidender Beweis**. Ein plötzlich emporgestiegenes Gebirge hätte einen Fluß abdämmen müssen, wie eine feste Staumauer. Nur in einem langsam aufsteigenden Land konnte der "Stein gehöhlt" werden, gab es ein Zusammenwirken über lange Zeitspannen wirkender endogener und exogener Faktoren. Kaum Quertäler finden sich nach PENCK (1883) in trockenem Klima, hier, wo also auch Flüsse von seit langem fehlten.

Ein **Beweis** dafür, daß ein **Durchbruchstal auf Antezedenz** zurückgeht, sind **Reste ehemaliger Talböden an den Talflanken** (H. LOUIS 1979, S. 348), denn der Aufstieg des durchbrochenen Gebirges ging nicht unbedingt kontinuierlich voran, Es gibt vielleicht sogar Flußablagerungen noch ganz oben.

Im **Himalaja** (H. SCHMITTHENNER 1916), fiel auf, daß die von dort nach dem Norden fließenden Gewässer sich nördlich des Gebirges in den gewaltigen Längstälern des Indus, Setledsch, Brahmaputra sammeln und diese dann nach Süden durchbrechen, um in den Indischen Ozean zu münden. Hier war es der irisch-britische Indien-Geologe HENRI BENEDICT MEDLICOTT, der die Antezedenz annahm. Er fand, daß die südlich des Himalaja parallel verlaufenden Siwalik-Berge aus Himalaja-Schutt bestehen, damit die Berge jünger sind als der Himalaja, die Flüsse aber älter als die Siwalik-Berge. Ebensolche Diskrepanz zwischen der Orographie, also der Richtung der Bergketten, und dem Gewässernetz, mit seinen die Bergzüge durchbrechenden Flüssen, bietet **Süd-Asien**, einer der hier "am meisten in die Augen fallendsten Erscheinungen der Morphologie Süd-Chinas und auch des weiteren Süd-Ost-Asiens ..." (W. CREDNER 1933, S. 155). RICHTHOFEN, der sich auch bei der Vorstellung der Abrasion vertan hatte, meinte zu den Flüssen in Süd-China, daß sie einst auf einer das ältere feste Gestein überlagerndem Ablage-

rung flossen und nach dessen Abtragung die Kraft hatten, sich auch noch in die festeren Gesteine einzuschneiden, also **epigenetischer** Entstehung sind, gebildet in dem stehenden Gebirge. Von einem der Flüsse, dem 'Wushui' meinte er 1910 (S. 477) (so zitiert aus W. CREDNER 1933, S. 156), daß er wäre "viel zu unbedeutend, um ein so mächtiges Gebirge wie den Tsing Yün Shan zu durchschneiden." WILHELM CREDNER, der das Gebiet ebenfalls bereist hatte, aber kam zu der Ansicht, daß unabhängig von der Streichrichtung der aufsteigenden Gebirgsketten die Flüsse den Weg fanden "in enge Durchbruchstäler, in denen sie die ihnen entgegenwachsenden Hochketten queren" (S. 159). Die Beibehaltung der Richtung der Flüsse entgegen den Gebirgsketten war "bedingt, durch die ungeheure Langsamkeit" der "Krustenbewegungen". Vielleicht sollte man immer wieder daran denken, wenn von orogenen Phasen die Rede ist und die sich dabei dennoch abspielende Langsamkeit leicht in den Gedanken untergeht.

Für das **Rheintal zwischen Mainzer und Neuwieder Becken** war die Antezedenz manchmal erörtert, aber bis zum Anfang des 20. Jh. auch bestritten worden (C. MORDZIOL 1910, dorthier auch die folgenden Zitate). Das Rheintal galt manchen als regelrechtes Musterbeispiel eines 'Spaltentales', geschaffen durch die Tektonik. Bestritten wurde die 'Spaltennatur' des Rheindurchbruchs zwischen Bingen und Bonn 1844 (S. 4) durch C. F. ROEMER. Eine Spalte könne kaum jene Krümmungen aufweisen, wie sie der Rheindurchbruch besitzt. Außerdem müßten die Nebenflüsse, also Mosel, Sieg, Aar oder Lahn dann ebenfalls in Spalten fließen. Auf den Höhen am Talrand vor allem auch des Rheins aber fanden sich Flußgerölle, die einmal der Rhein beziehungsweise dessen Nebenflüsse mitgebracht hatten. Der Rhein, wo erklärte C. F. ROEMER war einmal in größerer Höhe geflossen. Der Rhein und seine Nebenflüsse haben sich dann in das Gelände eingeschnitten und somit das Engtal geschaffen. Es wurde auch von OEYNHAUSEN die Einsenkung des Rheintals als die Folge einer großen, umfassenden, kontinentalen 'Terrain-Erhebung' gesehen, wodurch das Gefälle der Flüsse verstärkt wurde. Der vielseitige, in seinen Erklärungen manchmal so richtig treffende und manchmal abseitige GUSTAV BISCHOF zog dann die Schlußfolgerung, daß das heutige Rheinische Schiefergebirge ehemals ein Flachland war, der Fluß also zunächst nicht in einem höheren Niveau floß. Der Rhein und seine Nebenflüsse aber schnitten sich ein, als die Scholle des Rheinischen Schiefergebirges sich hob oder jedenfalls gegenüber den nördlichen und südlichen Vorländern ein höheres Niveau erhielt. Rheingeschiebe hoch oben am Talhang sind mit in das höhere Niveau gelangt, sicherlich nicht von einem einst in dieser Höhe fließenden Rhein abgelagert worden. "Angenommen", erörterte BISCHOF 1863 (S. 374), "ein Land werde in gleicher Zeiten eben so viel gehoben, als das Bette seiner Flüsse erodiert. In diesem Falle bleibt letzteres immer in gleicher Meereshöhe, während das ganze, der Hebung aber nicht der Erosion unterworfen Land fortwährend steigt; mithin ein mehr oder weniger tief einge-



Abbildung 443: Rhein, bei St. Goar, von Loreley.

schnittenen Thal entsteht". C. MORDZIOL (1910) beschrieb als einen Beweis für die Antezedenz des Rheinstals im Rheinischen Schiefergebirge die Identität von 'Dinotheriensanden' des Mainzer Beckens mit Flußschottern (Kieseloolith - Schotter) "auf den terrassenartigen Hochflächen zu beiden Seiten des Rheintales bei St. Goarshausen. Das waren also die einst viel tiefer gelegenen Ablagerungen eines jungtertiären 'Urrheins', der von Gebieten südlich des späteren Rheinischen Schiefergebirges nach Norden entwässerte". E. KAISER nahm an, daß der Rhein zur Miocänzeit sich von der Niederrheinischen Bucht aus rückwärts, nach Süden einschneidet bis zu den Flüssen im Oberrhein - Gebiet und so im damaligen tiefen Landes ein ursprünglicher Rhein von Süd nach Norden floß, bis der Riegel des Schiefergebirges anstieg.

Ehemalige "Flußterrassensedimente am Rheindurchbruch liegen heute ungefähr etwa 100 m über dem rezenten Flußbett" und verdeutlichen die Heraushebung des 'Rheinischen Schildes', (P. VAN DEN BOGAARD et al. 1988, S. 80), wobei die etwas entfernteren Mittelgebirge, wie Taunus oder Hunsrück, größere Höhen erreichten. Der Rhein überquerte das Schiefergebirge wohl seit dem Mittel-Miozän (Internet 2017) und schnitt sich dann ein.

Eingeschnitten ist auch die **Saar** in ihrer beeindruckenden Schleife bei Mettlach

In Sachsen bricht die **Elbe** durch das Elbsandsteingebirge. Einer der schönsten Abschnitte im **Elbelauf im sächsischen Elbsandsteingebirge**, rings um Königstein, besteht aus zwei solcher Zwangsmäander, die sich mit dem Aufstieg des Landes und dem Einschneiden des einst auf einem Flachrelief geflossenen Elbelaufs mit einst freien Mäandern herausbildete (H. VON STAFF 1914, S. 34, 36).



Abbildung 444: Rhein bei St. Goar, oben ist es flach.



Abbildung 445: Devon/Schiefer, nahe Loreley.



Abbildung 446: Saar-Schleife Mettlach.



Abbildung 447: Elbe-Durchbruch.



Abbildung 448: Wipper-Durchbruch Hainleite.

Etwa HANS RECK wies Durchbruchstäler in der **schwäbischen Alb** nach, so das etwa 12 Kilometer lange Prim-Faulenbachtal. Im **nördlichen Thüringen** wird von Durchbruchstal gesprochen bei dem von Norden kommenden Fluß **Wipper**, der bei dem Dorfe Seega die bis 180 m über den Fluß aufragende Muschelkalkmauer der Hainleite durchfließt und mündet im Süden davon in die Unstrut, die wiederum weiter flußabwärts bei den Sachsenburgen noch einmal das Nordthüringer Gebirge nach Norden durchbricht. Auch hier gilt die Annahme, daß die Flüsse einst in einer Ebene flossen, wobei der Muschelkalk einst viel weiter nach Norden gereicht habe, nach dort, wo also die Wippe herkommt, und erst mit der Landhebung begann die Zertalung in Thüringen. Da das Gefälle der Wipper im Durchbruchstal ausgeglichen ist und diluvialer Schotter nur wenig über den Fluß liegt, meinte B. VON FREYBERG 1920, daß die Eintiefung auf der präoligozänen Rumpffläche begann. Das also etwa kann man aus dem Tale ableiten.

In Bulgarien durchbricht der **Isker-Fluß** von Süden nach Norden in einem von hohen Felsen umsäumten Engtal mit zahlreichen Windungen das Balkan-Gebirge, ein in Südost-Europa beeindruckendes Beispiel eines Durchbruchtales.

Man muß sich auch klar sein: **Jeder Fluß** in einem **sich langsam hebenden Gebiet** wird sich bei ausreichender Stärke **einschneiden**, ob es nun bis zu einem beeindruckenden Durchbruchstal kommt oder in einem vielleicht weiträumigen Gebiet wie dem aufgestiegenen Mitteldeutschland nicht so großartig, aber eben einem Tal mit Talflanken. Etwa die von Süden, vom Erzgebirge und über das Erzgebirgische Becken kommenden Flüsse wie Mulde und Zschopau fließen durch Mittelsachsen nordwärts durch das ziemlich harmlose Sächsische Grnaultgebirge das in teilweise schönen Talstrecken.

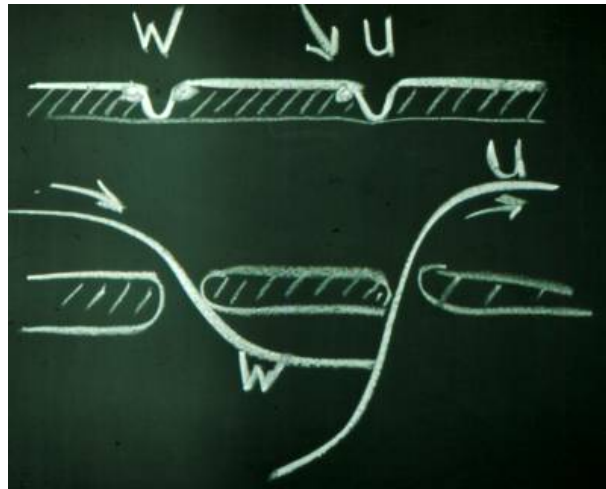


Abbildung 449: Wipper,w u. Unstrut u.



Abbildung 450: Isker-Durchbruch. Lakatnik.



Abbildung 451: Im Isker-Tal.



Abbildung 452: Zwickauer Mulde Mittelsachsen.

Binnenseen - ihre Entstehung: Auch hier Geomorphologie und Geologie eng verbündet

Seen sind meistens ziemlich **ephemere**, in ihrer Existenz zeitbegrenzte Formen der Erdoberfläche. Das im Unterschied zu den Flüssen und ihren Ausräumungstälern, die trotz mancher Laufveränderung sich oft durch viel längere Perioden hindurch verfolgen lassen. Abdämmungsseen, durch entstehende natürliche Sperre in Flußläufen im Gebirge infolge herabgefallenen Gehängeschuttes sind relativ einfach zu erklären. Aber andere Seen boten Probleme. Und die Erklärung ihrer Entstehung und ihrer Geschichte berührte Ereignisse der Erdgeschichte wie Landhebung. Also auch hier das notwendige Zusammenwirken von Geologie und Geomorphologie.

Es war ein Geographie-Professor, RUDOLF CREDENER in Greifaswald, der hierzu 1887 wichtige Beiträge lieferte. Der am 27. November 1850 in Gotha geborene RUDOLF CREDNER (O. JAEKEL 1907 - 1908) war der Bruder des sächsischen Landesgeologen HERMANN CREDNER. RUDOLF CREDNER studierte in Halle, Leipzig, Göttingen und promovierte mit einer rein geologischen Arbeit. 1878 habilitierte er sich in Halle, wurde in Greifswald 1881 außerordentlicher Professor und konnte ab 1891 die Geographie als Ordinarius bekleiden. Wie mancher Geograph der Zeit war er auch Geologe und vor allem Geomorphologe und gab der Geographie ihre geologische Grundlage, machte sie zu einer naturwissenschaftlichen Disziplin. Durch R. CREDNERs Leipziger Kollegen PESCHEL und andere sah man in der Geschichte sehr vieler binnenländischen Seen eine einstige Meeresverbindung, ihre Entstehung durch Abschnürung von Meeresteilen. Sie **galten** so als **Reliktseen**. In vielen binnenländischen Seen wurden Lebewesen als solche gesehen, die aus dem Meer stammen sollten. Das sollte selbst für den doch so binnenländischen Baikal-See gelten und ebenso für den Aralsee, das Tote Meer, den eher nach einsti-

ges Meeresverbindung aussehenden Kaspi-See selbstverständlich auch. Als Beweis für die einstige Meeresverbindung galten für den Baikalsee wie für den Kaspisee vor allem dort lebende **Seehunde**. Sie sollten dort von der einstigen Meeresverbindung übrig geblieben sein, waren Relikte, Meeres-Überbleibsel, Meeres-Relikte, die sich immerhin wie manche niederen Organismen auch nunmehrigen fehlenden oder geringen Salzgehalt angepaßt hatten. In den oberitalienischen Seen gibt es zwar keine Seehunde, aber andere Organismen sollten wie in nordeutschen Seen auf einstige Meeresverbindung verweisen. Waren viele der binnenländischen Seen Reliktseen, dann mußte sich zu ihrer Abschnürung das Festland gehoben haben. Als Reliktseen zu sehende Seen verwiesen also augenscheinlich auf starke Landhebungen, auf tiefgreifende Veränderungen in der Verteilung von Land und Meer und somit auf wichtige Vorgänge in der Bildung der Erdkruste. RUDOLF CREDNERS Bemühungen galten dem bald in vielem anerkanntem Nachweis, daß diese als Meeresorganismen betrachteten Relikte auf verschiedenem Wege in von Anfang an binnenländische Seen hätten gekommen sein können. Seehunde hätten durch Flüsse, vielleicht gar aufgestaute, in der Eiszeit, nach dem Baikalsee kommen können. CREDNER mußte hierzu auch noch zum Zoologen werden. Und wie bei Problemen der Evolutionstheorie war auch hier die Kenntnis von den bisher völlig unterschätzten Wandlungsmöglichkeiten von Organismen gefragt. CREDNERS Schlußfolgerung war, daß nicht einfach als Meeresrelikte angesehene Lebewesen den einstigen Meereszusammenhang eines binnenländischen Sees bezeugen können, sondern nur die geologischen Zusammenhänge aussagefähig sind (II, S. 2). Auch daß binnenländische Seen in Gebieten aus alten Meeressedimenten entstanden sage nichts über behauptete einstige Meeresverbindung der heutigen bestehenden Seen, wie etwa bei den Seen Oberitaliens in einem Gebiet des marinen Mittelpliozän (II, S. 2). Der Baikalsee wie das Tote Meer sollten durch Bruchbildung auf Festland entstanden sein und die ostafrikanische Seenkette dann auch. Alpenseen waren Gebilde der Eiszeit. Riesige Brackwassergebiete aber werden die noch immer niedrige Kaspisenke gewesen sein, Teil des 'Sarmatischen Meeres', das weit nach dem Westen bis in "das pannonisch-siebenbürgische Becken" und nach Osten in das "rumänisch-pontische-aralo-kaspische Becken" (II, S. 43) reichte. Während in den einen Regionen die jungen Hochgebirge aufstiegen, die in Südauropa wie auch der Kaukasus, gab es dazwischen die Becken. Noch mancher Geologe ging den möglichen Zusammenhängen nach, KOSSMAT etwa, der das Pannonische Becken in seine Überlegungen zum umgebenden Gebirgsaufstieg einbezog.

Reliefumkehr

Eindrucksvolles Zeugnis für die Unterschiede der Verwitterung in unterschiedlichen Gesteinen bietet die **Reliefumkehr**, die Inversion. Tektonisch abgesenkte härtere



Abbildung 453: Der Pöhlberg über Annaberg.

Gesteine in einer Umgebung von weicherem Gestein "wittern" mit der Zeit heraus. Das 'Tiefere' wird zum 'Höheren'. Hartes abgesenktes Material, gar in einem Tal, wird Anhöhe über der weggeräumten Umgebung. So verhielt es sich bei den **Basaltbergen im oberen Erzgebirge**, bei Scheibenberg, Pöhlberg, Bärenstein, welche Reste von Lavaströmen in Flußbetten waren, also damit tiefer als die Umgebung lagen. Die Härte der zu Basalt erstarrten Lava führte zum Sieg über die weggeräumte Umgebung. Erkannt hat diese Reliefumkehr jedenfalls für die Basaltberge im oberen Erzgebirge nach K. PIETZSCH (1962) LOHRMANN 1898.

Reliefumkehr - das gibt es bei dem aus Malmkalk bestehenden 689 m NN hohen Hesselberg in Mittelfranken, der, höchster Berg Mittelfrankens, seine ältere, aber mehr abgetragene Umgebung um 200 m überragt (Internet). Im Saaletal bei Kahla in Ost-Thüringen erhebt und erstreckt sich in weitgehender West-Ost-Richtung der kurze, aus hellem Muschelkalk bestehende tektonische **Graben der Leuchtenburg**, 395 m NN, etwa 240 m über seine aus Buntsandstein bestehende weichere Umgebung. Reliefumkehr - an der Leuchtenburg wohl besonders schön zu erkennen.

Zurückweichen des Traufs von Schichtstufenlandschaften, vor allem des Nordabbruchs der Schwäbischen Alb

Der aus Meeressedimenten bestehende, nach Nordwesten gerichtete Steilabbruch der Schwäbischen Alb, der namentlich aus dem Kalk des Malm über dem Dogger (Brauner Jura) besteht, war oft Gegenstand der Diskussion über den Abtrag des Landes. Der **steile weiße Jura** wurde von L. VON BUCH ein Korallen-

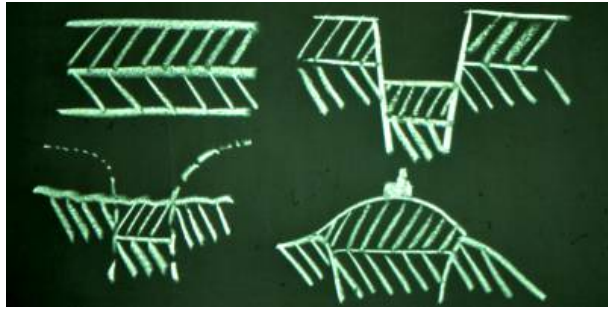


Abbildung 454: Leuchtenburg-Graben.



Abbildung 455: Leuchtenburg-Graben v. SW.



Abbildung 456: Leuchtenburg-Graben, von NW.



Abbildung 457: Reliefumkehr b. Wachsenburg.

riff genannt, "wie das noch heute in tropischen Gegenden auf dem Grunde des Meeres aufwächst" (F. A. QUENSTEDT 1858, S. 571). Der mauerartige Abfall der Schwäbischen Alb sollte damit "eine alte Meeresküste" sein, "woran sich die Kraft der Urwellen brach". Durch die Tätigkeit von fließendem Wasser, aber nicht nur dadurch, ist die Schwäbische Alb nach den Untersuchungen von BRANCO (BRANCA) 1894 / 1895 seit dem Mittelmiozän in einem etwa 23 Kilometer breiten Streifen abgetragen worden und wurde so der vom Weißjura gebildete steile Trauf um diesen Betrag zurückverlegt worden. Einst war der Albtrauf demnach in der Gegend der späteren Stadt Stuttgart. In Vulkanschlotten nördlich der heutigen Schwäbischen Alb fand BRANCO Stücke von Weißjura, hier bewahrt aus jenen Zeiten, da es viel weiter nach Norden beziehungsweise nach Nordwesten reichte. Ein Tuff bei Scharnhausen schaut rezent aus dem Oberen Keuper heraus, aber "Brocken der ganzen fortgewaschenen Gesteinsreihe" bis zum Weißen Jura (Malm) stecken noch in ihm (W. BRANCO 1894, S. 562). Weitere Spezialuntersuchungen zum Zurückweichen des Albtraufs stammen etwa von GEORG WAGNER (1924).

Der Albtrauf! Nichts mehr von einstiger Meeresküste. Die lag weit im Vorland.

Steilstufen bietet auch der **Muschelkalk**, so in Nord-Thüringen am **Dün**, fast so beeindruckend wie an der Alb.

Konservierte Oberflächen

Alle **Sedimente**, ob von Wasser, Wind, Gletschern, und auch vulkanische Auswurfsmassen wie Tuff oder **Lava**, die auf eine **andersartige Oberfläche** gerieten und auf ihr lagern, **konservieren** diese, solange die auflagernden Sedimente selbst



Abbildung 458: Schwäb. Alb, b. Hohenzollern.



Abbildung 459: Schwäb. Alb, Owen.



Abbildung 460: Schwäb. Alb v. Holzmaden aus.



Abbildung 461: Schwäb. Alb: Hohenzollernburg.

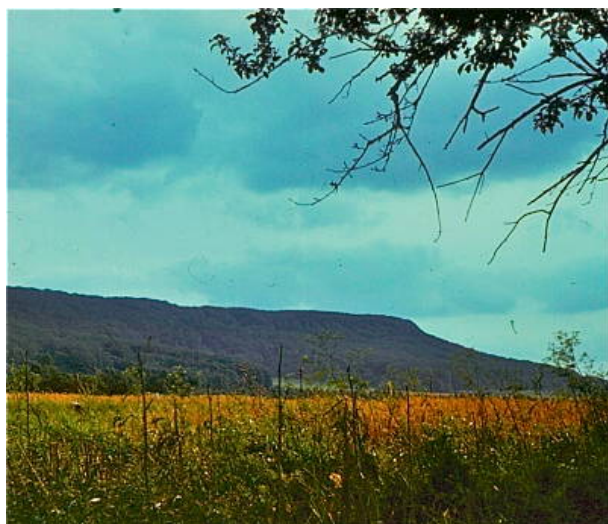


Abbildung 462: Muschelkalk-Steilstufe, N des Dün.



Abbildung 463: Muschelkalksteilstufe Dün.

erhalten bleiben, bilden oft eine Diskordanz. Nur oberflächennah wird durch das andersartige aufgelagerte Material die darunterliegende Oberfläche mehr oder weniger verändert, aufgewühlt durch einbrechende Meereswellen oder durch die Hitze unter einem Lavastrom. Wenn die unterlagernde Oberfläche einmal eine Landoberfläche war, gar eine Peneplain, ist das besonders wertvoll. Auf der alten Landoberfläche kann dann eine alte Verwitterungsrinde untersucht werden.

Festland unters Meer: Was bietet die so konservierte Festlandsfläche?

Dringt Meer auf Festland vor und das im allgemeinen wohl auf flaches, denudiertes Land, so wird das Meerwasser die darunter liegenden Landoberfläche beeinflussen, aber die auf einem Festland sich abspielenden Vorgänge hören auf und es wird dann die überflutete Festlandfläche konserviert. Das wurde deutlich und etwa 1913 von K. PIETZSCH für das Kreidegebiet im östlichen Sachsen vorgestellt mit der schon behandelten **Cenoman-Überflutung**. Mit ihr, einer Abteilung der oberen Kreidezeit, begann die Sandsteinbildung, welche später das Elbsandsteingebirge zusammensetzte. Auf der von Kreide-Sandstein bedeckten Unterlage, zu der also eine ganz auffällige Diskordanz besteht, fiel den Kartierern an etlichen Stellen eine auffällige Rötung auf, für welche zersetzter Porphyry auszuschalten war. Die kohlensäurehaltigen Meeresgewässer brachten Kaolinisierung, aber konservierten auch eine als vorangegangene, also 'präcenoman' zu sehende Rötung der Festlandsoberfläche. Nicht bis zum Laterit, aber zum '**Rotlehm**' war die Verwitterung vorangeschritten gewesen. Südlich der Kleinstadt Rabenau gibt es das kleine iso-



Abbildung 464: Kreidesandstein auf Gneis Ölsa.

lierte Vorkommen von Cenoman-Sandstein 'Götzchenbüschchen' bei Ölsa (H.-D. BEEGER et al. 1965, S. 208), wo der lockere Sandstein für lokale Zwecke abgebaut wurde und an einer Stelle unter diesem Sandstein das aus Gneis gebildete Grundgebirge mit angeschnitten wurde. Dessen Oberfläche ist hier violett verfärbt, zeigt also Rotererdebildung - damit eine kleiner Blick auf eine Landoberfläche, die entstan, als die Abtragung des Varistischen Gebirges bis auf den Gneis kam. Nun läßt sich über die Klimaverhältnisse zur Zeit der Rotlehm bildung denken.

Wenn alle Erhebungen eingeebnet sind oder wären: Rumpfflächen, 'Peneplains'

Hypothetisch wäre denkbar, daß in langen Zeiträumen ohne Aufstieg von Krustenteilen das **Land** eingeebnet wird, **all sein Relief verliert**. Manche dann als ganze wieder aufgestiegene Landschaften wurden als solche eingeebneten Regionen gesehen. 1876 sah das POWELL für Gebiete der USA. DAVIS führte für solche Regionen 1899 den Terminus '**peneplain**' ein, der in Deutsch mit '**Fastebene**' wiedergegeben wird (F. AHNERT 1996, S. 276 ff.). Im deutschen Sprachraum wurde auch der auf VON RICHTHOFEN zurückgeführte Terminus '**Rumpffläche**' gebräuchlich.

Deutschland insgesamt ist heute keine Ebene, kein einheitliches Flachland. Aber es ist deutlich, daß es nach Zeiten tektonischer Ruhe einst weite Einebnungen, hier wie anderswo, gab. Manche Festlandsgebiete, auch in höherer Lage, etwa Regionen in deutschen Mittelgebirgen, im Frankenwald etwa, sind sanfte Ebenen, Zeugnis früherer Verebnung, Peneplains, die mit dem Aufstieg der Mittelgebirge

ohne Verwerfungen in ihnen in höheres Niveau gebracht wurden. Damit schnitten sich die Flüsse ein, fließen in ihnen in steilwandigen Tälern, so wie die Flüsse der Durchbruchstäler. Zwischen den steilen Flußtälern bestehen ebene Flächen. Im **sächsischen Vogtland** sieht man auf der Höhe weithin flaches Land. Aber beim Wandern steht man plötzlich vor einem eingeschnittenen Tal, sogar tief eingeschnitten. So geschieht es vor dem Tal der Weißen Elster und ihrer Nebenflüsse, so der Göltzsch und der Triebisch. Die **Gestalt einer Landschaft bestimmt die Anlage von Verkehrswegen**. Täler der gehobenen 'zerschnittenen Fastebene' des Vogtlandes mußten für die **Eisenbahn auf hohen Brücken** überquert werden, manche die eindrucksvollsten weithin. Die 78 m hohe höchste Ziegelsteinbrücke der Welt bei Mylau wurde erbaut 1846 - 1851. Für die 68 m hohe Elstertal-Brücke, welche für die Bahnlinie Leipzig - Hof bei Jocketa die Elster überquert, verbauten bis 800 Arbeiter 1846 - 1851 etwa 12 Millionen Ziegelsteine (Wikipedia 2017). In **Ostsachsen** floß Basalt auf Ebene und erhielt an solchen Stellen die Ebene unter sich, vom Basalt bedeckt.

Gibt es mehrere solche Ebenen gestaffelt hintereinander sprach PENCK von einer **Piedmonttreppe**.

VON RICHTHOFENS in China gewonnene Theorie vom Meer als dem eine Rumpffläche schaffenden Agens von 1882 fand nur zeitweilig Anerkennung, wurde genannt ein letzter Versuch, "nochmals das Meer als Gestaltungsfaktor des Festlandes" heranzuziehen (R. BRINKMANN 1948, S. 27). Wenn eine solche meeresbedingte Einebnung für das Zechstein-Meer angenommen wurde, so widersprach dem, "daß die Abtragung der varistischen Falten schon im Rotliegenden, also unter festländischen Bedingungen, vollendet war" (S. 28), hier also kein Meer die Vererbung zuwegebringen mußte. Diese Ebenen, 'Rumpfflächen', galten mit der Erforschung der Verwitterungsvorgänge als Ergebnis langdauernder festländischer Abtragung, wobei mit der Abkehr von der Einebnung durch Meeresabrasion das von den Niederschlägen stammende Wasser oder überhaupt auf dem Festland übliche Verwitterungsvorgänge maßgebend erschienen (A. HETTNER 1928). Mit dem Aufstieg eines Krustenteiles habe die Abtragung begonnen und sich mit dem weiteren Aufstieg und auch nach dem Stillstand der Hebung fortgesetzt. A. HETTNER allerdings **bezweifelte**, daß irgendwo die **Zeit tektonischer Ruhe ausgereicht** hätte, um **eine 'Peneplain'**, wenigstens eine volle, **zustandezubringen**. Stets war vor diesem Ergebnis wieder Reliefbildung durch die endogenen Kräfte aufgetreten.

Solche Peneplains oder Teile solcher gab es auch in der erdgeschichtlichen Vergangenheit und wurden von folgenden Sedimenten oder auch vulkanischem Material bedeckt, und nach der Abtragung dieser darüberliegenden Materialien trat die alte Ebene mehr oder weniger wieder hervor. Und war gar die Verwitterungsoberfläche



Abbildung 465: O-Thüringen, Fastebene.



Abbildung 466: Vermoortes ebenes Obererzgebirge.



Abbildung 467: Gehobene Ebene Vogtland.

konserviert. Das **Zechstein-Meer** war auf eine mehr oder weniger abgetragene Landoberfläche, die des abgetragenen Varistischen Gebirges, vorgedrungen. Die gehobenen ziemlich ebenen Flächen in **Ost-Thüringen** oder auf den ziemlich ebenen Muschelkalk-Platten wurden als die vom Zechstein-Meer überflutete Ebene des abgetragenen Varistischen Gebirges gesehen, auf der die Zechstein-Ablagerungen und eventuell weitere darüberliegende Sedimente abgetragen worden waren. Ja vielleicht lagen Sedimente aus dem gesamten Mesozoikum darüber, waren aber alle bis zur Abtragungsfläche unter dem Zechstein wieder verschwunden und war die alte, vom Zechsteinmeer überflutete Fläche wieder freigelegt worden, wenn auch in höhere Lage emporgestiegen. So sah es J. WALTHER (s. E. PHILIPPI 1910 b, S. 306/307, 315). Als zu vereinfacht sah das EMIL PHILIPPI, seit 1906 ao. Professor der Geologie und Paläontologie an der Universität Jena. Oligozän-Schotter auf den Muschelkalk-Höhen über Jena ließen PHILIPPI zu der Schlußfolgerung kommen, daß diese heutigen Ebenenflächen erst vor dem Oligozän anzusetzen sind und vorher also manches geschehen sein konnte, bis sich die Einebnung bis vor dem Oligozän, ausbildete. Größere **Verwerfungen** mit teilweise beträchtlichen Höhenunterschieden zwischen den beiden Flügeln der Verwerfungen/Dikslokationen im Inneren Thüringens oder am Rande machten sich auf den prä-oligozänen Einebnungsflächen **nicht mehr** morphologisch **bemerkbar**, lagen also vor der prä-oligozänen Einebnung. Bei der Finne-Störung werden für den Höhenunterschied zwischen den beiden Flügeln streckenweise bis etwa 200 m angegeben (S. 348). Diese Einebnung ging über die unterschiedlichen Gesteine an der Oberfläche hinweg. Der Aufstieg von Thüringer Wald, Kyffhäuser und Harz setzt sich längs angelegten Linien post-oligozän fort. Im Oligozän wurde die prä-oligozäne Landoberfläche teilweise kaolinisiert. Auch Basalt floß mancherorts über die prä-oligozäne Landoberfläche, diese war also auch prä-basaltisch (S. 359). Mit dem Aufstieg der prä-oligozänen Landoberfläche setzte deren bis heute fortgehende Denudation ein und nur auf manchen Gesteinen blieb daher die gehobene Peneplain erhalten, auf Muschelkalk mehr als auf dem stärker zertalten Buntsandstein (S. 311, 340). Auch auf den Höhen des Kyffhäuser "bei durchschnittlich 450 bis 470 m beobachtete PHILIPPI "nicht ganz unerhebliche Verflachungen" (S. 368). Ähnlicher Auffassungen wie PHILIPPI war auch der zunächst um Halle forschende E. WÜST, der 1909 in Thüringen und Umgebung eine frühtertiäre und eine pliozäne Verebnungsfläche postulierte (so b. E. BECKSMANN 1934, S. 544). BRUNO VON FREYBERG (1977, S. 8) nennt die Veröffentlichung von PHILIPPI "bahnbrechend, seine Ableitungen beherrschten damals alle Vorstellungen" und blieben auch 1977 im 'Kern' gültig, und nur sekundär konnte strittig sein, "welche Unebenheiten und Härtinge man einer Rumpffläche noch zubilligen will." PHILIPPI war Teilnehmer der deutschen Südpolarexpedition auf dem Schiffe 'Gauß' gewesen und zur Zeit seiner Veröffentlichung 'Über die präoligozäne Landober-

fläche in Thüringen' war er am 27. Februar 1910 in Helwan bei Kairo bei einem Genesungsaufenthalt noch nicht 39-jährig gestorben.

Und für die Lausitz und angrenzende Gebiete, vor allem um die Lausitzer Überschiebung, erforschte die Einebnungen HANS VON STAFF, veröffentlicht 1911 und 1914. An der Lausitzer Überschiebung und deren Ausdehnungen war Granit auf den Kreidezeit-Sandstein geschoben worden. Diese Überschiebung mußte also nach dem Abschluß der Sandstein-Bildung geschehen sein. Die Braunkohlen und Knollensteine hätten sich auf der im Oberoligozän und Miozän vorhandenen ebenen Landoberfläche gebildet, unter gemäß den Braunkohlenpflanzen und auch die Einkieselungen der Knollensteine verursachenden tropischen Bedingungen, als es auf der Ebene wieder geringe Krustenbewegungen und die Braunkohlen liefernden Sümpfe gab (1914, S. 5). Die vorangegangene Peneplain wäre über alle Dislokation hinweg ausgebildet gewesen, also mußte die Lausitzer Überschiebung (s. d.) der nachmaligen Einebnung lange vorangegangen sein. Die Verwerfung war "morphologisch erloschen" (S. 17). Erst mit der späteren Landhebung erwiesen sich die nebeneinanderliegenden Gesteine Granit und Sandstein gegenüber der nun wieder starken Denudation unterschiedlich angreifbar und es kam zu dem landschaftlichen Unterschied zwischen dem Granit-Gebiet und dem Sandstein-Gebiet. Aber die Lausitzer Überschiebung wirkte sich nur noch in dem Gesteins-Nebeneinander aus (S. 23). Auf das eingeebnete Land kamen dann die Basaltausbrüche und auf sie eine post-basaltische Fläche. Peneplains wechseln mit Hebungen.

Den **Wechsel von Einebnung und ihrer Aufhebung** durch Gebirgsbildung schilderte eindrucksvoll einmal der Jenaer Mineralogie-Professor GOTTLOB LINCK (zit. bei W. VON SEIDLITZ 1920, S. 25): "Rund 300 000 Kubikmeter Wasser nehmen jährlich am Kreislauf teil und arbeiten daran, das Relief der Erde zu verflachen und alles eben zu machen. Es würde ihm auch gelingen, wenn nicht immer wieder neue Gebirge aus dem Meere aufstiegen (Diastrophen) und dadurch die Arbeit des Wassers, die seit dem Erkalten der Erde schon drei oder viermal von neuem beginnen mußte, beleben."

Peneplains - Entstehung unter andersartigem, nämlich tropischen Klima? Auch ein Stück 'klimatische Morphologie'?

Stufen und Verebnungsflächen in verschiedenen Höhen der Gebirge, auch der Mittelgebirge, hat man auch mit periodischen Hebungsschritten erklärt und das schien naheliegend. Aber das blieb nicht ohne **Einwände**, so von MACHATSCHEK (1955, II), Er gibt (S. 562) LOUIS wieder, "daß im humiden Klima und bei Bildung einer Bodendecke die Hangformen noch kein beweiskräftiges Ar-

gument für den Ablauf von Krustenbewegungen und damit auch nicht für die Primärrumpfnatur einer Fläche mit konvexen Hängen liefern. Denn wegen der stärkeren Abtragung der oberen Hangstücke müsse auch bei gleichförmiger Abtragung ein konvexes Hangprofil entstehen.”

Die **Rumpfflächen in Mitteleuropa**, etwa in Mittelgebirgen, im Vogtland und Ost-Thüringen namentlich, wurden zuerst durch den in Erlangen wirkenden Geologen BRUNO VON FREYBERG, dann auch, beginnend in den 30er-Jahren des 20. Jh, durch Geographen wie JULIUS BÜDEL (G. STÄBLEIN 1984), seit 1951 Geographie-Ordinarius in Würzburg, und OTTO JESSEN (H. LOUIS 1974), **auf** ein nicht mehr in Mitteleuropa herrschendes **tropisches Klima**, zurückgeführt. Das wurde abgeleitet aus LandschaftsUntersuchungen in tropischen Gebieten. JESSEN studierte solche Ebenen auf einer 1930 / 1931 mit seiner Frau durchgeführten Forschungsreise durch Angola, damals noch portugiesische Kolonie. JESSEN wurde danach 1933 Geographie-Ordinarius in Rostock, 1946 in Würzburg, 1949 in München, wo er 1951 in noch relativ frühem Alter starb. JESSEN (1936) hatte in seinem Reisebuch über die vom Westen nach dem Inneren folgende Rumpfflächen-Treppe und die östlich hinter einem Randgebirge folgende Fastebene des Planalto geschrieben: ”Die Stufen dieser großartigen Treppenlandschaft sind weder Schicht- noch Bruchstufen, sondern - auch in der Anlage - echte Denudationsstufen, die Ebenheiten wie der Planalto echte Rumpfflächen. Bruchbildung, junge Faltung und Vulkanismus sind in Angola morphologisch ganz ohne Belang” (S. 325). Es heißt weiter (S. 326): ”Die Hauptrumpffläche Innerangolas ist eine wellige, ausdruckslose Hochfläche mit sehr breiten, flachen Muldentälern und ebenso breiten und flachen Geländewellen dazwischen. ... Die Einebnung des Reliefs bis zur Fastebene und manche anderen Erscheinungen lassen auf ein sehr hohes Alter der Abtragungsfläche schließen ... Nirgends sind alte Schotterterrassen erhalten. Ein in hohem Grade verarmter Boden mit dicker Eisenschlackenschicht überzieht in wechselnder Mächtigkeit die Oberfläche. ...”

So wie die von Gletschern gebildeten Formen in heute vergletscherten Gebieten untersucht wurden, müsse man deshalb in heutigen Tropengebieten wie Angola die den tertiären mitteleuropäischen Flächen analogen Flächen studieren, so davon abkommen, wie es noch die meisten Forscher tun, ”der Erklärung jener tertiären Flächen und Stufen in den deutschen Mittelgebirgen immer noch Ablagerungsverhältnisse zugrunde” zu legen, ”wie sie unter den klimatischen Bedingungen der Gegenwart in unseren Breiten gegeben sind” (O. JESSEN 1938, S. 36). Im warmen wechselfeuchten Klima wären Angolas Fastebenen entstanden. Die in Mitteleuropa erfolgten Verwitterungsstudien von HARRASOWITZ boten manche Anregung. Vom oft tropischen Klima in Mitteleuropa zeugten die Braunkohlenbildungen, von Trockenheit ein Teil von deren Unterbrechung.

BÜDEL hatte Rumpftreppen im westlichen Erzgebirge schon am Anfang der 30er-Jahre des 20. Jh. beschrieben und später die Entstehung solcher Flächen unter eben den auch von JESSEN angenommenen Bedingungen vertreten.

VON FREYBERG (1938) griff auf seine Untersuchungen in Brasilien zurück und hat Verwitterungsprofile mitgebracht, ging also voll im Sinne des Aktualismus vor. Die in tropischem Klima stattfindende chemische Verwitterung habe die Gesteine ab der Kreide und namentlich im Tertiär die Gesteine "tiefgründig aufgeweicht" (S. 165), sodaß diese von Wasser getränkt auch bei geringer Neigung an den Hängen abwärtsgleiteten. "Als Endprodukte blieben nur Quarz, ausgebleichter Glimmer und Kaolin" (S. 165). Die **Kaolinisierung** wird besonders hervorgehoben. Nicht schon der vom Zechsteinmeer überflutete Landoberfläche des abgetragenen Varistischen Gebirges wären also die heutigen Rumpfflächen Ost-Thüringens zu verdanken.

Außer durch von Gletschern geformten Landschaften **widerspiegelt** sich **Vergangenheit**, hier tropische, in der Landschaft auch **auf den Höhen der Mittelgebirge** wider, eben in ihren Verebnungsflächen, Die Vergangenheit liegt mehr als einst angenommen nicht nur in verfestigten Gesteinen.

Gegen BÜDELs Annahme der Bildung der Rumpfflächen "vornehmlich im feuchten Tropenklima" gab es auch **Einwände**, und LOUIS führte sie auf tropisches Wechselklima zurück, VON WISSMANN sah sie unter ariden Klimaverhältnissen entstehen, und an der 'klimatischen Morphologie' gab es also auch in diesem Spezialfall schon genannte Zweifel (J. HÖVERMANN 1965, S. 15).

Fastebenen gibt es manche. Als Härtlinge ragen mancheorts '**Inselberge**' heraus. In der Fastebene des **mittleren Australien** ragen als Härtlinge der **Ayers Rock** und die Olga-Felsen heraus. Der Ayers Rock (P. McL. D. DUFF 1993, S. 368), bestehend aus nahezu vertikal stehenden präkambrischen Straten ist 2,6 m lang und erhebt sich 335 m über die umgebende Ebene. Er war und ist den Aborigines heilig und durfte jedenfalls 2001 an manchen Stellen nicht fotografiert werden.

Küstenlandschaften - das Werk vor allem von Meer und Wind, besonders der häufigsten Windrichtung

Küsten werden stark bestimmt vom anstehenden **Gestein**, der Uferhöhe, von der **vorzugsweisen Windrichtung**, von der Brandung. So entstehen bei herausgehobenem Festland Steilküsten. An Flachküsten der Ostsee wird Sand wegen des üblichen Westwindes längs der Küste von West nach Ost und Nordost verlagert, sammelt sich an den Bodden genannten flachen Küstenbuchten hinter westlich gele-



Abbildung 468: Älteres Meeresskliff: Darß.

genen Küstenvorsprüngen und bildet die mehr oder weniger hakenförmigen **Nehrungen**, welche als flache Sandgebilde schließlich die Meereseinbuchtungen, die Bodden, vom offenen Meer abschneiden. Landeinwärts von der Nehrung besteht, oft noch lange, die wassergefüllte **Lagune**, oft nur nach an wenigen Durchlässen oder nicht mehr mit dem offenen Meere, seewärts der Nehrung, verbunden. Die Sandanlandung kann sich auch mit dem schon bestehenden Festland verbinden und auf dem Darß liegt vor einem älteren Meeresskliff neuere Sandanlagerung auch diese schon waldbewachsen, es gibt so Alt-Darß und den flachen Neu-Darß.

Die nach Osten gerichteten Haken am Nordende von Hiddensee und am Darß sind klein gegenüber dem, was sich weiter im Nordosten bildete, die Halbinsel **Hela**, die östlich von Danzig liegende 56 km lange **Frische Nehrung**, und noch weiter im Nordosten die **Kurische Nehrung** mit 98 km, voller teilweise gebändigter großer Sanddünen und auf der Nehrung zahlreiche Dörfer. Zwischen Nehrung und Festland liegt bei den langen Nehrungen ein **Haff**, das einer Lagune entspricht, wie ein Binnensee, durch einmündende Flüsse ausgesüßt, meist bestes Fischereigewässer. Die Kurische Nehrung hat kurz vor der Stadt Memel einen Durchgang, das Memeler Tief (H. PÖLKING 2013, S. 89). Daß Sandanschwemmung einen Hafen blockiert war das Schicksal der Stadt Oldenburg in Holstein, also weit im Westen der großen Nehrungen.

Der durch die Abschneidung der Bodden-Buchten durch Nehrungen erfolgende 'Küstenausgleich' intensivierte sich im **Mittelalter**, der Zeit der 'jungsubatlantischen Transgression' (G. KATZUNG et al. 2004, S. 263). Auf den Nehrungen erfolgt die **Umbildung der Dünen**, mit sich verändernder Vegetation (S. 263).

Wüsten - was waren und sind sie, wie entstanden sie?

Wo entstanden **Wüsten**? Wo **ein Meer austrocknete**? Als es noch keine Vegetation außerhalb von Feuchtgebieten gab, war alles Land Wüste. Auch wenn Regen fiel. Sicherlich unausgeglichen mangels Vegetation. Auch in Kälte sind Wüsten, ganz anders als die trockenheißen Wüsten. Man spricht auch von Kältewüsten. **Trockenheit** ist sicherlich eine Voraussetzung für Wüsten. Was formte dann diese Trockengebiete aus? **Der Wind**? Er allein? Geologen und Geographen lieferten zum Teil nicht übereinstimmende Einsichten in die Wüstenentstehung. Je nach Definition gehören in der Gegenwart 30 - 36% der Festlansoberfläche zu den Wüsten. Und aus den Erkenntnissen aus den Wüsten von heute, fanden sich **Phänomene der Wüsten auch in Sedimenten der Vergangenheit**, auch sehr ferner, mußten Wüsten gesehen werden als an der Erdkrustenbildung unübersehbar beteiligt. So wie in den subpolaren Regionen die Periglazialerscheinungen der Gegenwart erkannt wurden und es dann weitergehende Erkenntnisse auch über vergangene periglaziale Vorgänge gab, so war es mit der Erforschung der Wüsten. Wobei nicht gesagt sei, daß an vergangene Wüsten nicht schon manches Mal, etwa beim 'old red sandstone', gedacht worden war. Aber bei der Betrachtung von Festland als Abtragungsgebiet und Meer als Ablagerungsraum wurde (R. BRINKMANN 1948, S. 30) "das Dasein eines großen kontinentalen Ablagerungsbereiches so gründlich übersehen, daß man den Begriff des festländischen Sedimentationsgesteines beinahe als Widerspruch in sich empfand" (R. BRINKMANN 1948, S. 30). Das wäre anders bei Erkenntnissen über das Meer, "wo man über die vorzeitlichen Meeresabsätze schon lange gut unterrichtet" war, bevor man von den heutigen genauere Kunde hatte" (R. BRINKMANN 1948, S. 33).

Sand, gar in Dünen, bedeckt nur einen Teil der Wüsten.

Häufig besteht Wüste aus **Geröll**, ist das Feinmaterial weggeblasen. So entstehen durch Deflation, die nur grobes Geröll zurücklassenden **Blockwüsten/Hamada**. Nicht ganz so grob ist das zurückgelassene Material in der **Kieswüste/Serir** oder Reg. Wo sich Sand ablagern kann gibt es die **Sandwüste/Erg** (alles bei H. FÜCHTEBAUER et al. 1988, S. 883), die gern mit der Vorstellung von Wüste im engeren Sinn verknüpft wird. Wie PASSARGE (H. LOUIS 1959, S. 182) extra nachwies: Wo der Wind keinen Sand vorfindet, der als Schleifmittel wirkt, fehlt fast ganz die Korrasion. Riesenwüste ist die **Sahara**, heute die **große Wärmewüste der Erde**, die erst vor etwa 5000 v. Chr. wenigstens ihre heutige Ausdehnung zu erreichen begann oder wieder erhielt und in deren einstigem Grün zeitweise Viehzüchter lebten. Auf der Sahara, und wo sich wie auf der Arabischen Halbinsel in den verschiedenen Regionen die verschiedenen Wüstentypen finden. Aber große Wüstengebiete gibt es auch in Nordamerika, Innerasien, Chile, Australien, auch in NW-Indien.



Abbildung 469: S-Marokko.

Kleinere Wüstengebiete gibt es auch, so im Osten der Sierra Nevada Spaniens, in deren Windschatten. **Etwa 1/3 des Festlandes** der Erde ist heute Wüste oder wüstenähnlich und fällt so als menschlicher Lebensraum außer für eine geringe Zahl von Menschen aus (YouTube Japan TV).

Größerer Schutt von verwitternden Bergen namentlich in vegetationsarmen Regionen wird an deren Fuß abgelagert und führt zu den im eigenen Schutt erstickenden Bergländern, wie es S. PASSARGE 1912 hervorhob.

Bis in das letzte Jahrzehnt des 19. Jh. waren viele Vorgänge in den Wüsten noch unbekannt oder umstritten. Es war vermutet worden, daß gar nicht die gegenwärtig in den Wüsten wirksamen "Kräfte" die riesigen Sand-, Kies- oder Steinflächen hervorbrachten.

Der in den 60er Jahren des 19. Jh. in Wüstengebiete des Vorderen Orient und Ägyptens gereiste OSCAR FRAAS (1867) erlebte am Atáqua-Gebirge am Roten Meer (S. 111): "... In fast senkrechten Abstürzen thürmt sich Felswand auf Felswand, glänzend braun mit violetter Färbung. ...

Es kostet schon Mühe und Anstrengung, über die colossalen Schuttmassen zu klettern, die in der Ebene liegen und als breiter Gürtel den Fuss des Berges umkränzen." Für FRAAS konnten diese Massen von Felsbrocken nur aus **Wasserfluten** einer "vergangenen regenreichen Zeit" (S. 206) entstammen, und "Alle Thäler der Wüste sind alte Wasserläufe, alle Felsplatten, Zinnen und Zacken an den Bergen sind Reste alter Wasserströme, ..." Und es wurden seinerzeit ohnehin die Sedimente grundsätzlich auf Wasser zurückgeführt. RICHTHOFENs äolische Löß-Theorie von der Ablagerung von Löß durch Wind durchbrach diese Vorstellung (J. WALTHER 1891, S. 548/549).

Einer der führenden Wüstenforscher und Wüstengeologen wurde JOHANNES WALTHER (Universitätsarchiv Jena, Bestand M, No. 644; (Universitätsarchiv Halle, PA 16629; J. WEIGELT 1930), er, der dem **Wind** eine hohe Aufmerksamkeit zollte. Geboren am 20. Juli 1860 als Sohn eines Pfarrers in Neustadt an der Orla in Ostthüringen, verbrachte er entscheidende Teile seiner Jugend in Dermbach in der Rhön, wohin sein Vater 1867 versetzt worden war und wo KOENEN geologisch kartierte und ihn der Knabe WALTHER öfters begleitete. Ab Ostern 1875 besuchte WALTHER das Gymnasium in Eisenach, aber wegen der etwa in Krämpfen sich äußernden Folgen eines Sturzes mußte WALTHER seine Schulausbildung längere Zeit unterbrechen, erwog einen Beruf in der Landwirtschaft. Davon unbefriedigt versuchte er wiederum die Ablegung des Abiturs, mußte aber wegen seiner mangelnden Gesundheit nochmals davon absehen. Durch "Allerhöchsten" Dispens konnte WALTHER ab Wintersemester 1880/1881 Naturwissenschaften in Jena studieren und bestand im Juni 1882 die Doktorprüfung mit "magna cum laude". Er arbeitete dann in Leipzig bei dem Zoologen LEUCKART "vergleichend-anatomisch" und betrieb bei CREDNER Geologie, bei ZIRKEL Mineralogie. Ab 1883 wandte er sich seinen Interessen folgend ganz der Paläontologie und allgemeinen Geologie zu. Er weilte daher noch bei ZITTEL und VON GÜMBEL in München. Im Winter 1883/1884 betrieb WALTHER meeresgeologische Studien an der Zoologischen Station in Neapel und unternahm geologische Exkursionen in Italien. WALTHER arbeitete auch an der österreichischen geologischen Reichsanstalt, lernte die Alpen kennen, ging 1885 wiederum nach Neapel, dem französischen Jura und betrieb im Sommer 1885 geologische Untersuchungen in den Vulkangebieten der Eifel und der Pfalz. In Jena habilitierte er sich 1886. Wichtig für seine geologischen Vorstellungen über die Vorgänge in Wüsten wurden WALTHERs (1891) Aufenthalte in Ägypten und vor allem auf der Halbinsel Sinai jeweils im Frühjahr 1887 und 1889, unterstützt vor der Kgl. Gesellschaft der Wissenschaften in Leipzig und an Ort und Stelle in Verbindung mit SCHWEINFURTH. Weitere Reisen führten ihn 1888 / 1889 nach England, Schottland, Irland, Ostindien und Ceylon (Sri Lanka) sowie 1891 nach Nordamerika. Im Jahre 1890 wurde WALTHER Extraordinarius in Jena und wurde 1894 auf die mit Geldern einer Stiftung begründete außerordentliche "Haeckel-Professur für Geologie und Paläontologie" berufen. Manche verübelten ihm seine allgemeinverständlichen Bücher, aber sahen ihn manchmal auch als wissenschaftlich leichtsinnig, wie CREDNER (Universitätsarchiv Leipzig, PA 981) bei der Ablehnung WALTHERs für den Geologie-Lehrstuhl der Universität Leipzig begründete. Jedoch 1906 wurde WALTHER verdienstvoller Ordinarius in Halle. Zu dieser Zeit hatte WALTHER schon längst spezielles Interesse für Wüsten gewonnen, zuerst bei einem Abstecher von Italien nach Tunis und nach dem Ägyptenaufenthalt 1891 Wüsten in Nordamerika, 1897 in Turkmenien, bereiste 1910 noch einmal die Nilländer, diesmal bis zum Sudan und

zum äthiopischen Bergland und bereiste die Oasen der libyeschen Tafel. Im Jahre 1914 überraschte ihn der Ausbruch des Ersten Weltkriegs in West-Australien. WALTHER lehnte das Angebot der australischen Gastgeber zum Bleiben bis zum Kriegsende ab und fuhr auf englischem Schiff zurück nach Deutschland. Durch seine aus so reicher Erfahrung gespeisten allgemeinverständlichen Darstellungen zur Geologie wurde WALTHER in allen an Erdgeschichte interessierten Kreisen weithin bekannt. Er neigte zur faßlichen Formulierung in großen Linien, aber seine bisweilen zu großzügigen Formulierungen und Ansichten brachten ihm manche Kritik ein (s. bei PHILIPPI, WILCKENS). Als Präsident der Leopoldina 1924 bis 1931 habe er sich nicht Verdienst und Ruhm erworben, ja WALTHER wird als der einzige Präsident genannt, der aus der Leopoldina austrat (mündlich Leopoldina-Archiv und PARTHIER). Am 4. Mai 1937 erlag WALTHER einem Schlaganfall in Hofgastein in Österreich.

Was heute Wüste ist wie die Sahara, war es nicht immer. Felszeichnungen auch mit afrikanischen Tieren bieten ein für Bewohner freundlicheres Bild der Sahara vor vielleicht vor 8000 Jahren (YouTube 2019). Die Wüstenformen sind also offensichtlich nicht immer so vorhanden gewesen.

Die **Oberflächenformen** der **Wüste** sah WALTHER (1891, S. 352) sich "gründlich unterscheiden" von den Formen in den gemäßigten Breiten und "im Tropenlande", und in den Wüsten fiel ihm als dem sich noch nicht von dem Wüstenanblick abgestumpften Neuling auf "... nicht nur der Mangel der Vegetation, nicht nur die weite Verbreitung des Sandes, nicht nur die grelle Schattenvertheilung, ... sondern die Form der Berge, das Profil der Thäler, die Beschaffenheit der Schutthalden, die Gestalt der Gesteinsblöcke, die Oberfläche der Felsen, die Verbindung weiter Ebenen und isoliert daraus hervortretender Berge, - ..." Die Wüstenbildungen waren nach WALTHERs Ansicht durch die noch beobachtbaren Vorgänge zustande gekommen, nicht durch "Gewaltige Wasserfluten, Meereswogen" oder gar Gletscher, sondern es gab den Wüsten eigene Faktoren, die man nachweisen und untersuchen, also **aktualistisch** betrachten kann - wobei also WALTHER offenbar meinte, diese "Kräfte" nur aus seiner Beobachtung, also induktiv, abgeleitet zu haben. "Die sonderbaren Oberflächenformen der Wüste sind", wie WALTHER hervorhob, "also nicht ein Product fremder unbekannter Kräfte, sondern verändert ist nur die Intensität der Wirkung bekannter meteorologischer Kräfte, sei es im positiven, sei es im negativen Sinn" (1891, S. 563). WALTHER (1900) sprach vom "Gesetz der Wüstenbildung", denn die Entstehung der Oberflächenformen in einer Wüste, mit zunächst aber seiner Anschauung auf dem Sinai vor Augen, "wird" "von ebenso festen Gesetzen beherrscht .., wie ein Flusssystem oder das Gletschergebiet eines Gebirges." Auf der Halbinsel Sinai beeindruckte WALTHER (1916, S. 574), "daß der Wind als geologische Kraft täglich das Gelände verändert" und daß der Wind

der maßgebende Faktor in der Wüstengestaltung ist, was bisher völlig verkannt war und ihm als eine neue Entdeckung erschien. Selbst der in der Region erfahrene GEORG SCHWEINFURTH, mehr Botaniker und Geograph, in dessen Begleitung WALTHER größtenteils dort reiste, mußte durch WALTHER von der bestimmenden Wirkung des Windes erst zunehmend überzeugt werden. Der Wind war gemäß WALTHER in seiner Wirkung verkannt worden, weil die Forschungsreisenden in Wüsten bisher durch topographische oder floristische Probleme so erfüllt gewesen wären, daß sie die Morphologie des Wüstengeländes kaum beachtet hätten. WALTHER schrieb rückschauend 1926 (S. 574 / 575): "Der Wind, dessen furchtbare Gewalt man Tag und Nacht verspürte war in seinen geologischen Wirkungen völlig unbekannt, und nach allgemeiner Auffassung erschien das heutige Relief der Wüste als ein Gebilde, das in der regenreichen Diluvialperiode entstanden war und seitdem unverändert bis in die Gegenwart hereinragt. Das Gelände der Wüste war also nach damaliger Auffassung eine durch Wasserfluten ausmodellerte aber heute *fossil* gewordene Landschaft.

Auf meiner Sinaireise war ich zu einer grundsätzlich verschiedenen Auffassung gekommen. Ich hatte gesehen, daß der Wind als geologische Kraft täglich das Gelände veränderte, daß nicht nur Dünen wanderten, sondern daß durch Zerbröckelung von Granit auch täglich neuer Dünensand entstehe; daß nicht nur die seltenen Regen an den Wänden der Täler arbeiteten, sondern daß die Sonnenbestrahlung abwechselnd mit der nächtlichen Abkühlung überall neue Gesteinssplitter erzeugte, die der Wind aufhob und davontrug.

Diese und viele andere dazugehörige Beobachtungen legte ich SCHWEINFURTH vor, der mich zunächst leicht widerlegen zu können glaubte. Aber je lebhafter wir täglich disputierten, und je mehr die Vorgänge in der uns umgebenden Wüste auf ihn wirkten, desto mehr pflichtete er meiner Auffassung bei. Ein Sturm am hellen Mittag, der unser schweres Zelt aus dem Boden riß und flatternd 15 m hoch emportrug, die zerbröckelnden Carbonschichten, aus deren Mergelhülle die harten Fossilien unter dem Einfluß der Sonnenwärme herausfielen, die Salzkristalle, die ganze Steinrinden abhoben, aus denen die Insolation rasch ein Häufchen kleiner Scherben machte, die bald ein Spiel des Windes wurden; alles sprach für die große Erdleistung der abwehenden, talbildenden Kraft der Deflation."

Der Wind schuf also an den Felsen manches, das vom Wind geschaffene **Sandgebläse**, ein "aufdringlicher Gesell", 'wetzte' an den Felsen die **Sandschliffe** und durch ihn entstand auf Gestein die 'braune **Schutzrinde**' (1891, S. 552), der wie poliert aussehenden Wüstenlack. Das Sandgebläse wirkt bis etwa 2 m Höhe.

Aber alle Zerstörung der Gesteine, ob durch den schleifenden Wind oder die Insulations- und Frostwirkungen, erschienen "oberflächlich, keiner der Prozesse



Abbildung 470: Wüstenlack S-Marokko.

geht weit in die Tiefe" (S. 549) und die Veränderungen brächen ab, wenn nicht der Wind ständig die **Deflation** bewirkte, also das gelockerte Material anhebt und wegträgt, das Land verebnet, zur 'äolischen Denudation' (S. 554) führt. Die feinsten Sandkörne werden auch hoch in die Luft getragen und wenigstens zu gewissen Zeiten über die Meere, das Mittelmeer im Norden und auch den Atlantik im Westen, mit Nährstoffanreicherung in Südamerika.

In **Ägypten** weilte ab 1901 öfters der vor allem als Dinosaurierforscher hervorgetretene, in Veröffentlichungen als 'E. STROMER' auftretende ERNST Freiherr STROMER VON REICHENBACH, aus einem alten Nürnberger Patriziergeschlecht. Er (1903) betonte in Korrektur von WALTHER, daß der Mangel an Niederschlägen das Hauptkriterium in Wüsten ist, daß andererseits der **Wind** nicht **Täler** erweitert, sondern Vertiefungen **mit** Feinmaterial wie **Sand zuschüttet**, nivellierend wirkt, Wadis ja vor Wind Schutz bieten. Wüsten (E. STROMER 1933, S. 152) sind zumal außerhalb der Täler Abtragungsgebiete, und der nackte Gesteinsuntergrund wird oft freigeweht. Wüsten bestehen nicht unbedingt aus Sandanhäufungen. Wind trägt Material auch über Höhen hinweg, im Unterschied zu Wasser. Aus den Wüsten umgebenden Halbwüsten und Steppen wird wegen der Vegetation, auch wenn sie schütter ist, weniger Material herausgeweht und etwa in den Nachbarwüsten abgelagert. Die Rotfärbung etwa im Buntsandstein komme von der Farbe der verwitternden, das Wüstenmaterial bildenden Gesteinen und wäre kein grundsätzliches Wüstenkriterium. Das wäre also bei der Beurteilung des Old Red oder Buntsandsteins zu beachten. Die Wüste Ägyptens etwa um Gizeh oder Luxor ist gelbe Sandwüste.

Längere persönliche Eindrücke von extrem ariden Bedingungen in **Südwest-Afrika** gewann ERICH KAISER (R. BRAUNS 1934. H. LOTZ 1937). KAISER, geboren

am 31. Dezember 1871 als Sohn eines Oberlehrers in Essen, hatte sich 1884 als Physiker promoviert und war namentlich nach Kartierungsarbeiten im Rheinland 1904 Ordinarius für Mineralogie und Geologie an der Universität Gießen geworden. Er untersuchte die Verwitterungserscheinungen an Bausteinen des Kölner Doms, was für sein Studium der Verwitterung in Wüsten eine brauchbare Vorbereitung war. Im Auftrag von Diamanten-Gesellschaften fuhr er Ende Juni 1914 nach Deutsch-Südwestafrika, wobei er den letzten vor Ausbruch des Ersten Weltkrieges nach dort hin fahrenden deutschen Personendampfer benutzt hatte. Statt des auf wenige Monate geplanten Aufenthaltes, mußte er bis Ende September 1919 in Südwestafrika bleiben, hat in der Zeit nach der Übergabe des Landes an die südafrikanischen Truppen aber frei dort forschen können und eingehend die Namib-Wüste erkundet. Nach der Rückkehr wurde KAISER 1920 ordentlicher Professor für allgemeine und angewandte Geologie an der Universität München. Die Ergebnis seines Aufenthaltes in Südwestafrika führte er in dem zweibändigen umfangreichen Werk "Die Diamantenwüste Südwest-Afrikas" 1926 vor. KAISER hatte sah einiges anders als WALTHER und vieles gleich und der Vergleich der Meinungen zeigt die Schwierigkeit in der Einschätzung der Faktoren. "Wüsten" wie KAISER (1926, II, S. 243) richtig sah, "entstehen nicht durch das Vorherrschen des einen Faktors, sondern sind durch das Ineinandergreifen verschiedener Vorgänge bedingt." Für KAISER gab es auch in der Wüste chemische Verwitterung, welche das "an der Oberfläche austreichende Gestein" für den Abtrag, die Deflation, ausbreitete. In der küstennahe Namib-Wüste mochte auch herbeigewehtes Salz mitwirken (S. 283) Auch in der Wüste wirke fließendes Wasser, selbst wenn es nur im Abstand von mehreren Jahren als Starkregen fiel, also **Niederschlag** nicht in Periodizität, sondern in **Episodizität** (S. 244), Dieses Wasser war dann besonders einflußreich. Große Bedeutung habe die **Insolation** (S. 222), die "Zerspaltung", "nach einzelnen Kernsprüngen (Ausdruck von L. SCHULTZE zuerst treffend angewandt und die Abschuppung (Desquamtion J. WALTHER's)."

Der **Deflation** maß wie WALTHER auch KAISER (1926, II, S. 221) für die Entstehung der Oberflächen der Wüste größte Bedeutung bei: "Die hohen Windstärken in nur geringer Entfernung über dem Boden bedingen einen raschen Abtransport des in diese Höhe gelangenden Materials Der Staub wird weit aus dem Wüstengebiete entfernt. ... Die "Entstaubung" der Wüstenoberfläche erfolgt durch die Deflation, nicht durch den Sandschliff.

Der Wind reinigt die Oberfläche der Wüste von allen feinstaubigen Bestandteilen" (Hervorhebung im Original), "präpariert" "die Untegroundverhältnisse mit einer Feinheit heraus , wie dies in gleicher Schärfe durch keinen anderen geologischen Vorgang möglich ist." (S. 431; Hervorhebung im Original). Wegen der Deflation wandern die **Wanderdünen**. Deflationsrückstände, so steinpflasterarti-

ge Rückstände auch der Vergangenheit bewiesen einstiges arides Klima (S. 223). Die "Herauspräparierung des Gerüsts der schwer verwitterbaren Gesteine" führe zur "**Deflationslandschaft**", ein von KAISER eingeführter Terminus (S. 224). Deflation führt bei Ablagerung des Materials zu **äolischer Sedimentation** (S. 247). Der **Sandschliff** ergibt die "**Korrasionslandschaft**". Und weil (S. 231) "die Schleifwirkung nicht hoch über die Bodenfläche" hinausreicht, zeigen die "einzelnen Berge ... auch eine obere Grenze des Sandschliffs." Um KAISER zu ergänzen: das erklärt wohl die Entstehung der Pilzfelsen und Steintische. Wie KAISER sah (S. 229): "Nur kleinere Gesteinsstücke oder Platten werden völlig eben geschliffen. Die kleinste Ungleichmäßigkeit in dem Aufbau des Untergrundes, auch irgendein Hindernis auf der Oberfläche und auch die Gliederung der Landschaft im großen führen zu einem ungleichmäßigen Angriff, der durch die böige Natur des Windes, noch mehr aber durch den strichartigen Charakter des Hauptwindes gesteigert wird." Demgemäß: "Freie Korrasionslandschaften zeigen nur wenig Schutt ..." (S. 231). Korrasion wirke "nur innerhalb der extrem ariden Klimazone, Deflation ist auch außerhalb "wirksam" (S. 222). Durch die Deflation und andere Vorgänge entstünden unter extremen wüstenartigen Bedingungen Abtragungsmassen, die ANDREW COWPER LAWSON in Amerika als **Fanglomerate** bezeichnet hatte, ein von KAISER (S. 319 ff.) in die deutschsprachige geologische Literatur übernommener Terminus. Auch das längst verschwundene varistische Gebirge in Mitteleuropa sollte bei seiner Abtragung von Fanglomeraten geprägt gewesen sein, etwa im Rotliegenden. KAISER besuchte die Diamantenwüste noch mehrmals. Das zwar seltene fließende Wasser sollte etwa auch nach DAVIS in Wüsten bei seinem sporadischem Auftreten eine große Wirkung ausüben.

Geographen der neuesten Zeit haben auf Expeditionen etwa in die Sahara festgestellt, wie je nach Windrichtung, quer zu ihr, die großen **Sicheldünen** die **Bar-chane**, zustandekommen (YOU TUBE u. a.).

In den innerasiatischen Hochgebirgen wirkten nach des Forschungsreisenden WILHELM FILCHNERs (1938, S. 144) Beobachtungen Trockenheit und Starkregen, Frost und Insolation und er schilderte jedenfalls vom Tsaidam-Becken in der westchinesischen Provinz Qinghai: "Im Tsaidam, einem der meerfernten Gebiete der Erde, herrscht Festlandsklima: Frost und Hitze, lange Trockenheit, seltene, aber mit großer Gewalt niedergehende Regen, die die wasserlosen Flußrinnen in wenigen Stunden hoch anfüllen, um reißend zu Tal zu fließen und ebenso schnell im Sand oder Sumpf zu versickern. ... Die Kräfte des Klimas, Wandverwitterung, Flächenabspülung und Windausblasung haben den Landschaftsformen ihren Stempel aufgeprägt. Ungeheure Schutthalden hüllen den Fuß des Gebirges ein. Es ist der typische graue "Sai", der sich an alle Ketten rings um die Takla-makan und die Lob-nor-Wüste schmiegt. Auf Hunderte von Kilometern folgte uns dieses tote

Band, einmal zungenartig ... vorstoßend, dann wieder sich zu solcher Mächtigkeit sammelnd, daß die Gipfel im Schutt fast "ertranken".

Rücksichtslos gegen seine einheimischen Kamelführer und sich durchquerte der schwedische Forscher SVEN HEDIN im Nordwesten Chinas und der angrenzenden westlichen Mongolei die Wüste **Taklamakan** und erlebt, auch im furchtbaren Winter, die gewaltigen Dünen der **Gobi**, dort, wo sie Sandwüste ist und zwingt seine Karawane durch die Kälte und die Stürme (s. a. YouTube 2019),

Im Tarim-Becken bewunderte HEDIN Bergfestungen ähnlichen Mesa mit den unter den Steilabstürzen liegenden Schuttkegeln und vor allem den See **Lop-nor**, dessen Lage wegen der in dem sehr flachen Lnnde ihren Lauf ändernden Flüsse im Gebiet des Tarim an ihren Ende neue Seebecken anstelle vorhergehender austrocknender zustandebringen und so ein '**wandernder See**' zustandekommt (S. HEDIN 1945, bes. S. 113 ff, S. 243 ff.). Primär waren es 'wandernde Flüsse' und dann, an ihren Ende, 'wandernde Seen'. Zeitweilig oder für immer **schrumpfende**, ja austrocknende Seen und Lachen, ja auch 'wandernde Seen' im Sinne HEDINs konnte man in mitteleuropäischen Wüsten ferner Vergangenheit, im Buntsandstein etwa, vermuten und so wechselnde Fazies deuten. Den immer wieder vollkommen ausgetrockneten Salzsee Lop-nor als 'wandernd zu bezeichnen' wird heute etwa von chinesischen Wissenschaftlern nicht geteilt. Der ausgetrocknete See mit seinen Salzmassen dient nun als wichtige Rohstoffquelle, etwa für Kalidünger (Wikipedia 2019). Der Aralsee und in West-Afrika der Tschadsee sind ausgedehnte Beispiele für weitgehende **Austrocknung von rezenten Seen**. Menschliches Elend war die Folge, auch wenn am Tschadsee in den restlichen Wassergebieten der Fischfang hier stieg, weil sich hier die Fische sammelten.

Von einer Mehrheit von wüstenbildenden Faktoren ging auch HANS MORTENSEN (1950) aus, der das "Gesetz der Wüstenbildung" erfassen wollte. "**Dünenwüsten**", hob er hervor, sind nur ein geringer Teil der Wüsten. Groß ist in den Wüsten mit ihrem fast stets unbewölktem Himmel und das oft in niedrigen Breiten mit langen Nächten der **Temperaturwechsel**, die '**Insolation**'. Das wirkt **gesteinszerstörend**, schafft Lockermaterial. Namentlich bei polychromen Gesteinen, das heißt Gesteinen mit in der Farbe verschiedenartigen Mineralien, ändert sich das Volumen der verschiedenen Mineralkomponenten bei den verschiedenen Temperaturen unterschiedlich. Das lockert den Verband der Mineralkomponenten, läßt das Gestein zerfallen. Die Temperaturwirkung übertreffe dabei die chemische Verwitterung. An beschatteten Fels- oder Wandflächen, wo sich Tau oder gar Regen länger halten, verstärkt die in die kleinen Spalten eindringende Feuchtigkeit die Verwitterung. In Schattenlage werden Inschriften oder auch Felsen stärker zerstört.

Zur "**Frostsprengung**" tritt "**Salzsprengung**", letzteres durch in Spalten drin-

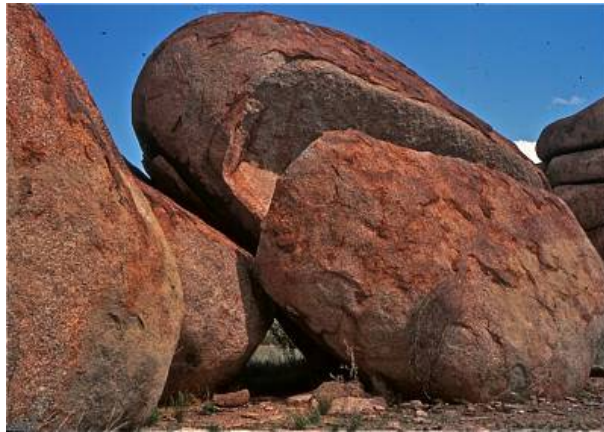


Abbildung 471: Devil Marbles. Australien.



Abbildung 472: Trockental. Jordanien.

gende Salze und namentlich durch Hydratation, durch Wasseraufnahme von Salzen. Im mitteldeutschen Untergrund konnte sich Anhydrit, CaSO_4 , in den Kristallwasser enthaltenden und sich dabei ausdehnenden Gips verwandelt. Absplitterung an Felsen wird **Desquamation** genannt. Offensichtlich konnten auch ganze **Felsblöcke zerspringen**.

Von großer Wirkung hält auch MORTENSEN **Starkregen**. Sonst trockene Täler, Wadis, schwellen dann rasch an.

In Steppen würden auch die großen Herdentiere die "Rinde" des Steppenbodens zertreten, zermalmen das Geröll der zerplatzten Kalkkrusten (S. PASSARGE 1912 u. a. nach PECHUËL-LÖSCHE).

Wüsten in fernerer und nicht weit zurückliegender Zeit

WALTHER war es vor allem, der nach seinen Erfahrungen auf der Halbinsel Sinai den Blick auf **Wüsten der fernen Vergangenheit** warf und etwa die roten Gesteine vor allem des **Buntsandsteins** als Wüstenbildungen ansah, nicht als oft angenommene Meeresablagerung. Das war allerdings viel umstritten. Als H. B. GEINITZ 1861 im Buntsandstein unweit dem ost-thüringischen Roda (heute Stadtroda) die kleine Meeres-Muschel *Gervillia Murchisoni* GEIN. fand und diese sich nach Untersuchungen von KARL KOLESCH (1903; s. a. W. HEEGER 1919, S. 407) dann "in einem Horizont im oberen Drittel des Mittleren Buntsandsteins zwischen Eisenberg und Kahla" als weit verbreitet erwies, war zumindestens für diese Bereiche Meeresnähe naheliegend. Als in diesem Horizont tief im Unterem Buntsandstein, dem "Röth", auch andere Wasserfossilien aufzufinden waren, sah WALTHER (1904a) einen weiten See in der Sandsteinwüste, kein Meer, verwies auf "die geringe Dicke der fossilreichen Einlagerung" (S. 7)). Der See wäre auch 'gewandert', "konnte die ganze Fläche von Thüringen bis zur Weser und zum Harz nacheinander überschreiten. Indem er überall dieselbe Fauna zurückliess" (S. 12). Auch "Trockenrisse, Wellenfurchen und Lettenschichten" (S. 8) sprächen nicht gegen die Wüste. Entscheidend bei Wüste wäre "abflusslos" und WALTHER denkt an große Seen in Trockenregionen wie Kaspisee, Aralsee, Großer Salzsee, und man "muss sich doch darüber klar sein, dass ungeheure Wassermengen in den Wüsten tätig sind" (S. 8). W. HEEGER debattierte 1915 (S. 454) auch Transport des Materials für den Buntsandstein auch durch Wind (s. u.).

Geologen und Geographen haben WALTHER ergänzt, auch korrigiert. Beobachtungen dieser Art wie bei WALTHER haben auch bei sorgfältigen Aufzeichnungen stets auch Lücken, So hat auch WALTHER sich immer wieder einmal korrigiert. VON KOENEN (1904, S. 107)) wies WALTHERs Wüstenvorstellung vom Buntsandstein zurück, jedoch WALTHER (1904b, S. 195) hielt daran fest. Verbindung mit dem Meer mag bestanden haben, und die Gewässer in der Wüste sind brackisch, schließen also salzertragende Organismen nicht aus. Auch aus anderen, aus tonigen Buntsandstein-Schichten wurden solche Organismen bekannt, neben *Gervillia Murchisoni* die *Estheria minuta*, und "die lebenden Arten dieser Gattung niemals im Meerwasser, dagegen häufig in Süßwasserseen gefunden werden, wohin ihre Keime leicht durch den Wind transportiert werden ..."

Aktualistisch war das alles durchaus, Beispiel einer doch auch offen bleibenden Debatte am Anfang des 20. Jh. in der Erforschung der Verhältnisse in fernen Perioden.

Schräge Feinschichtung im Buntsandstein könnten auf **Dünen** verweisen, jedenfalls auf ungleiche Sandaufwehungen.



Abbildung 473: Trockenrisse Buntsandst..



Abbildung 474: Rezente Trockenrisse am Rhein.



Abbildung 475: Buntsandstein, b. Jena.

Windrippeln einst und heute gleichen sich. An flachen Sandküsten, ob Meer oder Binnenseen entstanden und entstehen die den Windrippeln so ähnlichen **Wellenrippel**.

Felsbildungen im heute an der Oberfläche liegenden Buntsandstein weisen auf Windwirkung, aber diese Oberfläche stammt aus späterer Zeit, in der dann an dem gehobenen Buntsandstein Wind ansetzte, also Wüstenbedingungen bestanden, aber eben nicht jene der Bildungszeit.

Gerade die **heutigen** Wüsten, etwa die **Sahara**, haben eine **nicht weit** zurückliegende Geschichte ihrer Bildung. Alt-Ägypten und das Nilland des Neolithikum waren in der Zeit des letzten Eisvorstoßes offensichtlich regenreicher, ähnlich den heutigen Atlasländern und dem Nahen Osten (S. PASSARGE 1941). Mit der Trockenwerden mußten sich die Bewohner in das Niltal zurückziehen, wo sie durch die zum Despotismus führende Oasenkultur ihr Leben weiterführten. Die wenigstens zeitweilig oder noch fortgehende Wüstenausbreitung bedrohte im **20. und** bedroht **nunmehr im 21. Jahrhundert** ganze Regionen, etwa in Nordafrika. Von Mauretanien wird geschildert, wie die Hauptstadt Nuakchott von Sand bedeckt wird. Die keineswegs nur geologisch-theoretische Frage ist: Wie schnell können Wüsten voranschreiten und bisher fruchtbare Ländereien zerstören? Wie kann das verhindert werden? Wie kann man Wüsten gar zurückdrängen? Hängt das alles mit unbeeinflußbarem Klimawandel zusammen? Auf solchem Grund erhebt sich dann die Frage nach dem einstigen Grün der heutigen Sahara. Es erhebt sich das Interesse

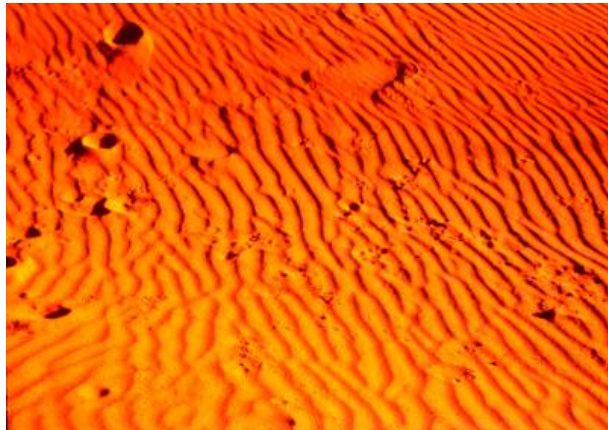


Abbildung 476: Windrippeln heute, S-Marokko.



Abbildung 477: Windschliff. S-Marokko.



Abbildung 478: Rippel Buntsandstein Gröna.

an den ehemals blühenden Städten Zentralasiens, die unter dem Sand von Wüste versanken.

Um noch einmal in die Vergangenheit, in den seit WALTHER immer wieder umstrittenen Buntsandstein zurückzukommen, auf den das Muschelkalk-Meer folgte. Dann kam in Mittel- und Süd-Deutschland der **Keuper**, mit Ton, rötlichen Letten, Gips. Und was war das nun gewesen? Land, Süßwasser, Meer? Die Ansicht von CLOOS (1951, S. 252): "Wahrscheinlich wieder von allem etwas, **wie der Bunte Sandstein**. Aber etwas mehr Wasser, noch weniger Relief. Träge Flüsse tragen Schlamm durch eine flache Landschaft und setzen ihn in großen Becken ohne Tiefe nieder. Ab und zu dringt das Meer herein und verschwindet wieder." Deutschland wie das Tarimbecken, wie die Etoschapfanne - die CLOOS zum Vergleich nennt (S. 252) - Deutschland in der Trias zwischen Wüste, Flachmeer, schlammigem Flachland. Das Bild von WALTHER wird also für Perioden nach der Buntsandsteinzeit ergänzt. Die Deutung der 'germanischen Trias' erlebte also manchen Wandel (R. BRINKMANN 1948, S. 30).

Wasserdurchlässige und mehr als andere lösliche Gesteine prägen ganze Landschaften: Karst-Regionen

Als sehr entscheidend und mehr als in anderen Landschaften erscheint der Gesteins-Einfluß in **Karst-Regionen**, die bestimmt werden von **Evaporite** genannten, also aus Meeresverdunstung entstandenen Gesteinen, mit ihren Lösungs- und Umwandlungseigenschaften, mit ihrem **unterirdischen Wasser** in Hohlräumen. Man spricht von Gesteinen, die "**karstifiable**" sind (P. BOSAK et al. 1989, S. 577). Im heutigen europäischen Klima mit Niederschlägen können sich etwa **Natrium- und Kalium-Chlorid** nicht an der Oberfläche halten. Wohl sind sie im Untergrund und können auch dort bei Wasserzutritt weggeführt und in Solequellen bis an die Oberfläche gebracht werden. Bis zur **Oberfläche** können sich halten die bis zu gewissem Grade auch löslichen oder in eine andere Verbindung umwandelbaren Salze Kalkstein und Gips.

Wo für Karstphänomene geeignete Gesteine sich heute an der Erdoberfläche befinden, gehen heute die Vorgänge der Karstbildung weiter. Aber 'Karst' gab es auch in früheren Erdzeitaltern, dem Devon etwa und im Perm, von dem Jura und der Kreide. Solche Karstvorkommen sind dann auch in Tiefen versunken, von anderen Gesteinen/Sedimenten überdeckt worden, sind "**Paleokarst**" (P. BOSAK et al. 1989), sind 'Fossilkarst', wo die Karstvorgänge nicht unbedingt weiterschreiten. REICHENBACH wird für 1834 als der genannt, welcher das in Mähren erkannte (S. 107). "**Fossil karst**" wird nach PAN'OS (bei P. BOSAK et al. 1989, S. 107)



Abbildung 479: Devon. Karst Berounka.

definiert mit "... karst forms which originated in the past, completely fossilized without any traces of further development). Kommen Paleokarst-Gebiete wieder nach oben, gehen in ihnen die Karstvorgänge weiter, es gibt ein "rejuvenating" (S. 590). Gerade in Böhmen, in Mähren, in der Slowakei, in Slowenien und auf der Halbinsel Istrien bestimmt Karst, Paläokarst, weite Landesteile. Für die landwirtschaftliche Nutzung wie als Baugrund mit der Gefahr plötzlicher Absenkung ist da manches zu beachten.

In Karstgebieten gibt es unterirdische Materialwegführung, es wird in Gegensatz zur oberirdische Erosion gesprochen von "**Subrosion**" (P. BOSAK et al. 1989, S. 591).

Kalkstein, CaCO_3 , kann das die Wasserhärte stark bestimmende löslichere Calciumhydrocarbonat bilden. Letzteres kann etwa an Luft mit ihrem 0,03 bis 0,04% Kohlendioxid wieder zu Kalkstein werden, der sich etwa aus bewegtem Wasser abscheidet, **Kalktuff**, als den porösen **Travertin** etwa, mit im Gewässer lebenden Pflanzen und Tieren oder aus der Nähe hereingewehten und dann bei Verwesen Hohlräume hinterlassenden Pflanzenresten, je nachdem Moose, Laub, Armleuchteralgen. Säugetier können in ihm versacken. So in der Ilm bei Ehringdorf oberhalb von Weimar und - mit Resten von Vormenschen, dem 'Ehringsdorfer'.

Langsames Ausscheiden eines Minerals aus Wasser wird als **Sintern** bezeichnet, und führt bei Kalkausscheidung zu Gehängen in Karsthöhlen. An der Erdoberfläche entstanden bei Pamukkale in der W-Türkei die weißen Kalksinter-Terrassen.

Gips, CaSO_4 mit **Kristallwasser**, wird in der Tiefe mit Druck und Temperatur zu Anhydrit CaSO_4 und bei Feuchtigkeitszutritt wird es durch die Kristallwasseraufnahme wieder zu dem sich im Volumen ausdehnenden Gips, gewellt als 'Schlan-

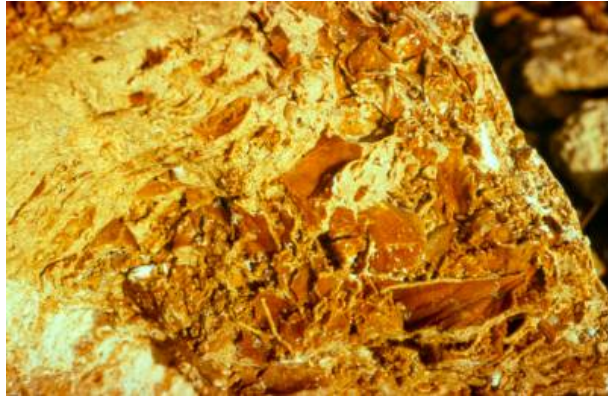


Abbildung 480: Travertin Ehringsdorf.



Abbildung 481: Travertin ungeschliffen, Algen?.



Abbildung 482: Schneckenschale im Travertin.



Abbildung 483: Travertin mit Schneckenschale.



Abbildung 484: Molluskenreste im Travertin.



Abbildung 485: Vogelfuß ? im Travertin.



Abbildung 486: Sinter. Pamukkale.



Abbildung 487: Gips. Wendelstein Unstrut.

gengips'. Löslichkeiten und Umwandlungen bestimmen also Geschehnisse. Südharz, Süd-Kyffhäuser und auch angrenzende Felsenregionen wie der eine Burg tragende etwa 50 m hohe Wendelstein an der Unstrut sind einmalige **Gips-Landschaften**, entstanden mit der Heraushebung des dem Zechstein angehörenden Anhydrit resp. Gips im Gefolge der Hebung des Harzes. Gips gibt es auch im Keuper.

Mit dem **massenweisen Abbau** von Gips etwa im westlichen Südharz verschwindet der Rohstoff

Kalksteine bilden teilweise wunderschöne Landschaften, so in Kroatien die der Plitvicer Seen.

Die Löslichkeit der Gesteine der **Karst**-Landschaften wirken sich oben wie in der Tiefe aus. Auf der Hochfläche der Alb versinkt alles Wasser ohne oberir-



Abbildung 488: Zechst. Gips, S-Kyffhäuser.



Abbildung 489: Gipslandsch. S-Harz.



Abbildung 490: Plitvicer Seen.



Abbildung 491: Höhlenland N-Ungarn.

dischen Abfluß in das zerklüftete Kalkgestein (H. SIHLER 1929). Das in das Kalkgestein eingeflossene Wasser bedingt, daß **unterirdische Hohlräume**, ganze Höhlensysteme, ausgewaschen werden.

Einer ehemaligen und dann freigelegt ausgewaschenen Höhle verdanken wohl die "Wunderbrücken" in den West-Rhodopen, dort 1450 m hoch, ihre Entstehung.

Und Felsentore anderswo?

In dem **unterirdischen Wasser** bilden sich offensichtlich unterirdische Flüsse und solche treten dann an manchen Stellen in schon beträchtlicher Breite an die Oberfläche aus, daß sie selbst Mühlräder treiben können. Das geschieht beim Blautopf bei Blaubeuren, dessen Wasser sich aller etwa 3 - 4 Stunden erneuern soll (H. SIHLER 1929, S. 337).

Und aus dem französischen Jura-Karst tritt oberhalb Ornans die Loue als schon beachtlicher Fluß aus dem Untergrund, so stark, daß hier beim Austritt einst eine ganze Anzahl Wasserräder zur industriellen Nutzung getrieben wurden.

In Istrien setzte der italienische Direktor des seinerzeitigen deutsch-italienischen Insituts für Meeresbiologie MASSIMO STELLA in die Oberläufe solcher Gewässer laichreife Aale ein, die gemäß ihres Verhaltens im Meere zu laichen in den Gewässern nach abwärts wanderten und an den zutreffenden Mündungen abgefscht wurden (J. HÄMMERLING 1941, S, 501).



Abbildung 492: 'Wunderbrücke', W-Rhodopen.



Abbildung 493: Ardeche, S-Frankreich.



Abbildung 494: Sulov. Slowakei.



Abbildung 495: Blautopf Blaubeuren.



Abbildung 496: Blautopf treibt Mühle.



Abbildung 497: Frz. Jura. Loue-Quelle.



Abbildung 498: Fluß aus frz. Jura-Karst.



Abbildung 499: Bach versickert, b. Pößneck.

Bäche treten aus dem Kalk und versickern wieder etwas weiter bachabwärts.

In Kalkgebieten führen Täler oft nur periodisch Wasser, bilden Trockentäler.

Einsturz unterirdischer Hohlräume führt zu **Erdfällen** an der Oberfläche und mehr oder weniger runden Senken, den **Dolinen**. **Periodische Seen** füllen sich bei reichlich Niederschlägen und viel aus dem Untergrund tretendem Wasser und liegen trocken beim offensichtlichen Absinken des Wasserspiegels in das Innere Höhlungen im Karst. Der manchmal fast trockenliegende Zirknitzer See in Slowenien kann sich bis zu 26 - 38 Quadratmeter auffüllen, dann bis 10,5 km lang und 4,7 km breit sein(Internet). In kleinerem Maße bietet das der in einer 10 - 15 m tiefen Senke bei Roßla am Südharz gelegene 'Periodische See' oder 'Bauerngraben', den man gefüllt oder trocken finden kann.

Karstregionen und besonders Höhlen wie in Nordungarn oder der Slowakei sind bevorzugte Touristenziele, bringen aber besondere Probleme bei den Anliegern.

Was im Inneren von Karstgebiete geschieht, war schwierig zu ermitteln, Die Herausbildung der Karstphänomene, wie sie etwa der im Ersten Weltkrieg gefallene österreichische Geograph ALFRED GRUND (H. LEHMANN 1966) noch vor dem Ersten Weltkrieg darstellte, waren umstritten. Gibt es, war etwa eine Frage, eine **einheitliche Wasseroberfläche**, wie beim Grundwasser im Lockermaterial?

Dringt Wasser durch **Muschelkalk** auf eine wasserundurchlässige Schicht kann an Steilwänden ein **Abbruch** geschehen, sich wiederholend.

Von Karsterscheinungen ist auch der Sandstein im **Elbsandsteingebirge** betroffen, denn der Sandstein hat eine gewisse Wasserdurchlässigkeit. Höhlen gibt



Abbildung 500: Trockentäler im Muschelkalk, Jena.



Abbildung 501: Fast leerer Zirknitzer See 2000.



Abbildung 502: Zirknitzer See, leer.



Abbildung 503: Period. See, Roßla, S-Harz.



Abbildung 504: Period. See gefüllt 1962.



Abbildung 505: Periodischer See Zu- u. Abfluß 1959.



Abbildung 506: Muschelkalkabbruch Reinsberge.



Abbildung 507: Eingefall. Berg Themar.



Abbildung 508: Süßer See W Halle.



Abbildung 509: Senkungsgebiet 'Goldene Aue' von S.

es.

Salzauswaschung im Untergrund - große Absenkungen und kleinere Erdfälle

Salzauswaschung im Untergrund, und zwar gerade auch von Stein-oder Kochsalz, also Natrium-Chlorid, NaCl , und auch Kalium.Chlorid, KCl kann ganze Landstriche absinken lassen und führt dann auch zu **Senkungsgebieten** mit Seen, wie westlich Halle/S. mit Süßem See und Salzigem See oder die 'Goldene Aue' zwischen Kyffhäuser im Süden und Harz in Norden.

Einstige Absenkung ließ große, später wieder zugedeckte **Braunkohlenflöze** entstehen, so das Geiseltal südlich Halle/S. oder das 'Loch von Profen' bei Zeitz,



Abbildung 510: Frischer Erdfall Hemleben.



Abbildung 511: Bei Gröningen 1969.

leider beide längst ausgekohlt.

Höhlen halten sich in Steinsalz aber nicht, da sie zusammengesrückt werden. Mit Salz im Untergrund gibt es manches **Erdfallgebiet**, in Mittel-Thürngen im Gipskeuper oder in der Vorderrhön. Traktoristen oder Anwohner haben plötzlichen Erdfall manchmal hautnah erlebt.

Kochsalz wird **in Wasser gelöst** auch nach der Oberfläche gebracht, als **Sole**, und solche Sole-Quellen dienten in vorgeschichtlichen Zeiten und noch lange danach als einzige Möglichkeit der Speisesalz-Gewinnung. Namen mit "hall" weisen auf Orte mit Salzquellen, wie Halle oder Hallstatt, Hallein, Hall, aber auch 'Salzburg', Salzungen usw. Orte mit Sole-Quellen wurden oft reich, waren aber auch manchmal umkämpft. Hier wurde Geologie früh zum Erlebnis.

Durch Seitendruck wird Salz auch hoch **emporgepreßt**, bildet **Diapire**.



Abbildung 512: Erdfall 'Lehd' b. Gröningen.



Abbildung 513: Erdfall Bernshauser Kutte.



Abbildung 514: Quarzgang Frauenstein.

Erosionsformen durch unterschiedliche Widerstandsfähigkeit übereinanderliegender Schichten

Was die Erosion etwa durch Wasser oder Wind aus den an die Oberfläche gekommenen verschiedenen Gesteinen herausholte gehört zu den am meisten beachteten Bildungen an der Erdoberfläche, ist **oft geologisches Naturdenkmal**, oft Ziel von Touristen. Für die Erdgeschichte sind diese Gebilde oft weniger wichtig, jedenfalls nicht so bedeutend wie eine Diskordanz. Sie zeugen aber von der **unterschiedlichen Widerstandsfähigkeit** der verschiedenen **Gesteine** oder einzelnen Schichten und lassen über die exogenen Kräfte nachdenken, auch über Karsterscheinungen.

Einzelne Felsnadeln, Felsentore geben viel besuchte Erosionsformen.

Eindrucksvolle Erosionsformen entstanden, wo Sedimente oder überhaupt Gesteine an die Oberfläche kamen und **weicherer Material von härterem**, vielleicht einer ausgedehnten härteren Schicht **überlagert** wird. Das härtere Material ragt dann über das in ihrem Schutz weniger als in der Nachbarschaft abgetragene Material heraus, bildet '**Pilzfelsen**' und '**Stein**'- bis '**Teufelstische**'. Diese Bildungen zeigen auch, wie unterschiedlich die Gesteine in ein-und-derselben Formation oder Abteilung, ja Stufe eine Formation sein können und daß man einen Steinbruch auch viel vorheriger Prüfung anlegen muß. Am Boden kann aber auch stärker mit Schleifmaterial belasteter Wind wehen.

Wegen unterschiedlich widerstandsfähiger Schichten im Oberen Buntsandstein, härterer Schicht aus verkieselter Sandsteinbank oben und leichter abtragbarer sandiger Schicht darunter, entstand der 'Teufelstisch' bei Hinterweidenthal in der Pfalz, wobei die Deckplatte wohl auch durch Klüfte begrenzt war und sich deshalb



Abbildung 515: Elbsandstein, Barbarine.



Abbildung 516: Böhmen: Prebischtor.



Abbildung 517: Felsenmeer im Odenwald.

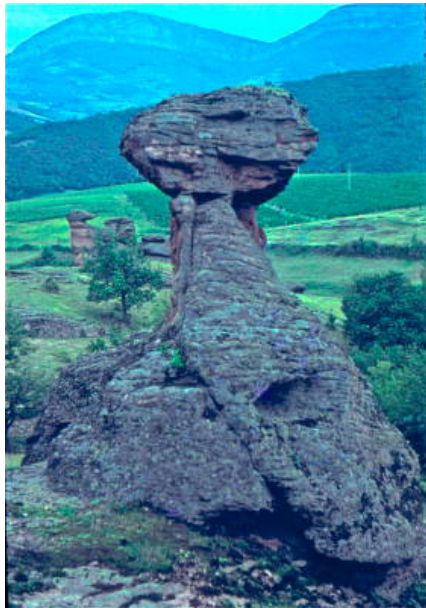


Abbildung 518: Pilzfelsen, Belogradschik/Bulgarien.



Abbildung 519: Böhmen: Kokorin.

herausschälte (Internet).

Der 'Teufelstisch' ist ein schöner Extremfall der '**Steintische**', von denen manche sich erst im Anfangsstadium befinden.

Auch einzelne größere Felsblöcke in einem weniger harten Material schützten letzteres vor gleichmäßiger Abtragung und so entstanden die oft bewunderswerten **Sandsteinpyramiden**, auch **Erdpyramiden**, in Kappadokien, in Süd-Bulgarien bei Melnik, die lange in Europa am bekanntesten bei Bozen.

Auf Gletschern schützen einzelne Felsblöcke darunter befindliches Eis vor dem Abschmelzen und es kommt zu den 'Gletschertischen'.

Alles in ein System: Die Zyklentheorie von DAVIS

Amerikanische Geologen und Geographen haben ab der 70-er Jahre des 19. Jh. versucht, die Geschehnisse in den Landschaften und die Beschreibung der Landschaften unter Schemata zu bringen, was die Beschreibung der Vorgänge und der Landschaften (W. M. DAVIS 1910), erleichtern sollte und auch erleichtern mußte. Gerade in der Geomorphologie der Landschaften im Großen und im Vergleich der verschiedenen Landschaften, der Landschaftstypen, war es schwierig, irgendwie Nomenklatur, eine **Normierung** hineinzubringen, wie es etwa in der Pflanzen- und Tierbeschreibung oder auch in der Chemie geschah. Die Deduktion aus den bekannten Gegebenheiten spielte eine große Rolle. Was POWELL und GROVE KARL GILBERT (R. K. DEFORD 1972) im Westen der USA in trockenen Gebirgen bis zu einem gewissen Grade entwickelt hatten, übertrug der sich als Geograph fühlende W. MORRIS DAVIS (H. R. FRITS 1958, S. JUDSON 1971) auf die humiden Klimate und entwickelte seine als "Zyklentheorie" bezeichneten Vorstel-

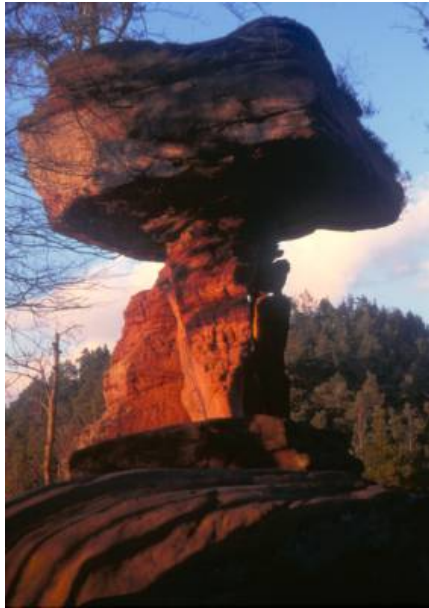


Abbildung 520: 'Teufelstisch' Hinterweidenthal/Pfalz.

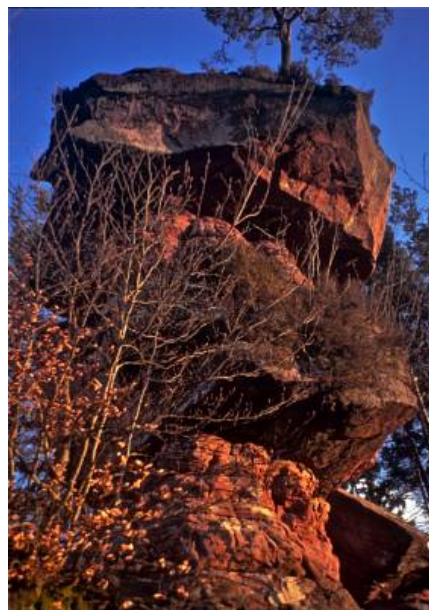


Abbildung 521: Wird Steintisch? Hinterweidenthal.



Abbildung 522: Steintisch. Böhmisches Schweiz.



Abbildung 523: 'Steintisch' bei Broumov.



Abbildung 524: Kappadokien.



Abbildung 525: Melnik, S-Bulgarien.



Abbildung 526: Erdpyramide, S-Bulgarien.



Abbildung 527: Erdpyramiden bei Bozen.

lungen. Mit **einprägsamen Skizen** hat er die Entwicklung der verschiedenen von ihm unterschiedenen typischen **Landschaftsformrn** dargestellt.

DAVIS hatte an der Harvard University die Lawrence Scientific School besucht, erhielt den Grad eines mining engineer, machte sich durch eine Sternentdeckung auch einen Namen in der Astronomie. Nach einem Jahr in Europa begleitete er PUMPELLY und dann WHITNEY auf Exkursionen in Nordamerika. Als wissenschaftlicher Mitarbeiter diente er 1870 - 1873 am Nationalen Observatorium in Co´rdoba in Argentinien. 1876 Assistent für Geologie an der Harvard University, reiste er 1877 / 1878 um die Erde und setzte dann seine Karriere an der Harvard University fort. In Europa war er 1908/1909 Gastprofessor in Berlin, 1911 / 1912 an der Sorbonne in Paris.

DAVIS (s. u. a. 1901) also suchte die Bildung der Landschaften in ein **System** zu bringen, wollte die Dinge "classified", versuchte zu zeigen "... the value of systematic work in geography ..." (S. 236). Er ging dabei von einem aus groben Kenntnissen geformtem Bild aus und suchte das dann angenähert in der Wirklichkeit. Die direkte Beobachtung sah DAVIS "entirely insufficient for the geographer's needs", denn das Gesehene würde ihn überwältigen und die Beschreibung unzureichend sein. Der die Landschaften und ihre Entwicklung beschreibende Geograph "must generalize in order to bring the observable items within the reach of descriptive terms, and as soon as he generalizes, the use of idealized types is practically unavoidable" (1901, S. 246). In der Entwicklung einer Landschaft sollten aufeinander folgen ein **Jugendstadium** mit der Bildung der Formenfülle, die **Frühreife** mit der höchsten Entfaltung der Formen, dann das den sanften Charakter etwa der Mittelgebirge bringende **Reifestadium** und darauf das **Greisenstadium** mit der weitgehend abgeräumten Landschaft. Bei Tälern etwa folgte auf die Talbildung die Zertalung und auf diese die Abräumung (H. RECK 1912 / 1913).

Die physische Geographie wurde von diesen Vorstellungen aus den USA für etliche Jahrzehnte weithin beherrscht, ja die Auffassungen von DAVIS wurden als wichtiges Paradigma der physischen Geographie für etliche Zeit angesehen, von anderen auch fortgeführt. Seine Anschauungen wußte DAVIS auch in wirksamer, einprägsamer Weise mitzuteilen, als **Blockdiagramme**.

Deutlich wurde, daß die Vorgänge in anderen als den humiden Festland-Klimagebieten teilweise recht anders verliefen. So sprach DAVIS (1901, S. 245) an der Land-Meer-Grenze von einem eigenen "cycle of shore erosion". In den frostreichen Gebieten wurde ein "**glazialer**" Zyklus gesehen, in Trockengebieten ein "**trockene**" Zyklus. Den letzteren untersuchten etwa WALTHER und PASSARGE (H. RECK 1912 / 1913). Für **Karstgebiete** wurde ein eigener Zyklus aufgestellt und etwa von Reifestadium und Alter der Höhlen gesprochen (S. PASSARGE 1912). Einge-

hend versuchte sich am Karst-Zyklus ALFRED GRUND (H. LEHMANN 1966), zuletzt Geographie-Ordinarius an der Deutschen Universität in Prag, und gefallen im November 1914 bei Belgrad.

In einunddemselben Gebiet könnten sich **mit Klimawechsel** auch **unterschiedliche Zyklen ablösen**, wobei keiner der in Gang gesetzten Zyklen bis zum Reifestadium gedeihen muß, was zu einem sehr wechselvolles Bild führen mußte.

Nach etlicher Zeit setzte gerade auch in Deutschland viel Kritik an DAVIS ein, Man sprach, in der USA-Literatur, von dem Gegensatz der 'Davisian' in Amerika und den 'Penckian' in Deutschland. PHILIPPSON (1919, S. 20) hielt den Begriff 'Zyklus' für unglücklich, da Zyklus an Wiederholung denken läßt, diese aber nicht in derselben Region stattfinden muß, sondern es sich um "Entwicklungsreihen" handelt, die zu verschiedenen Zeiten in verschiedenen Regionen ablaufen konnten. Mehrfache Vergletscherung in derselben Region gab es, war durch lange Warmzeiten getrennt und so auch kein einheitlicher Zyklus. Kritik wurde unter anderem geführt auch von ALFRED HETTNER (s. 1928). Schon das deduktive Herangehen von DAVIS, das Ausgehen von einer Meinung und der erst darauf folgenden Untersuchung der Tatsachen, weckte HETTNERs Mißtrauen. Auf dem Internationalen Geographenkongreß in Genf habe DAVIS in der Diskussion gefordert, daß der Geomorphologe zuerst in ein dunkles Kämmerlein gehen sollte, um da mit geschlossenen Augen zu denken, denken, denken - und dann erst die Natur selbst betrachten solle. Das jedoch wäre nicht möglich. Die Deduktion hätte einen Sinn in der mathematischen Physik, nicht aber in der Geomorphologie. Wie HETTNER (1928, S. 163) zur Deduktion meinte: "Aber einer so mannigfaltigen und gewaltigen Wirklichkeit gegenüber, wie es die Form der Landoberfläche ist, versagt sie; sie täuscht ein Wissen vor, das wir nicht haben, und führt daher zu wissenschaftlicher Unsolidität". DAVIS' Vorstellungen galten HETTNER als zu stark vereinfacht und würden dem komplexen Geschehen nicht gerecht. Dabei wurde anerkannt, daß seine von klaren Zeichnungen unterstützten Ausführungen vor allem seine 'Blockdiagramme', in ihrem didaktischen Geschick beeindrucken konnten, ja eine bestechende Einfachheit ihnen besonderen Nachdruck gaben. HETTNER kritisierte (S. 174): "Gerade die Bestimmtheit der Zeichnung, die sich den Sinnen viel mehr einprägt und viel fester im Gedächtnis haftet als das gesprochene Wort, macht sie, wenn sie falsch sind, besonders gefährlich". A. HETTNER (1928, S. 9) verglich die so deduktive, angeblich zu wenig von der faktenreichen Wirklichkeit ausgehende Lehre von DAVIS in der Geographie sogar mit der Philosophie von HEGEL für die Betrachtung der Weltgeschichte. DAVIS' Werk wäre kein Fortschritt für die Wissenschaft, sondern nur eine 'Episode'. DAVIS unterschätzte nach Ansicht von HETTNER sowohl die Bedeutung des inneren Baues der Erdkruste wie des Klimas für die Gestaltung der Erdoberfläche. Hebungen verjüngten sofort wieder

die Landschaft und schon schwach gewordene Vorgänge setzen wieder verstärkt ein. Ein 'Greisenstadium', der Abschluß eines Zyklus dürfte kaum jemals erreicht werden - was sicherlich auch eine eher spekulative Aussage ist. Die Forderung nach einer eingehenden **Untersuchung der Vorgänge im einzelnen und auch an einzelnen Standorten** trat dann auch auch PASSARGE (H. LOUIS 1959, S. 182) hervor. Chemische Verwitterung in der ägyptischen Wüste, fehlende Korrasion in einer Wüste ohne vom Wind als Schleifmittel bewegten Sand, Flächenabspülung in der algerischen Steppe, erforscht 1906/1907, waren einige von PASSARGEs Leistungen in der Geomorphologie. Aber auch PASSARGE hat dann mit 'übergroßem Hang' "zum Klassifizieren und Systematisieren" (H. LOUIS 1959, S. 183) versucht Typen zu schaffen, für in verschiedenen Regionen **wiederkehrende Landschaften** auf Grund 'gesetzlich wiederkehrender Konfigurationen' und verband das mit bestimmten in solchen gleichen Landschaftstypen ähnlichen Kulturentwicklungen. Völker, 'Rassen', sollten dabei in deterministischer Ansicht bleibend unterschiedlich geformt worden sein, was Migrationen nur ungünstig erscheinen lassen mußte.

Wenn auch wohl nirgends ein DAVISscher Zyklus bis zu seinem Ende gekommen ist, eine Landschaft nur in einem Zyklus zu einem Ende kam und Klimawechsel neue Überformung kam, so prägen sich die Typen von DAVIS gut ein, sind lehrbar, führen wohl zu einer ersten Vorstellung, was möglich sein kann und können ohne dogmatische Bindung dem Beobachter erste Anleitung geben .

Ergänzungen: Spezialforschung über die Entwicklung mitteleuropäischer Mittelgebirge - im Kräftespiel Endogen und Exogen

Unter Beachtung der gewonnenen Erkenntnisse wurde ab dem Ende des 19. Jahrhunderts und im beginnenden 20. Jahrhundert von etliche Geologen und Geomorphologen die erdgeschichtliche Entwicklung unserer Mittelgebirge näher erforscht. Sie sind aus dem Grundgebirge über ihre Sedimentumgebung herausgehobene Schollen, Rümpfe des abgetragenen Varistischen Gebirges, '**Gebirgsrümpfe**', teilweise gekippt, auch in Einzelschollen zerlegt, in den Höhen gekennzeichnet durch relativ flache Verebnungs-oder **Rumpfflächen**, von Härtingen überragt, und in die Gebirgsrümpfe schnitten vor allem von den Rändern her Flüsse tiefe Täler ein, kam es mit der Heraushebung zur **Zertalung** (so etwa für den Harz G, H. BACHMANN et al. 2008, S. 410).

Harz - Das herausragende Mittelgebirge südlich der Norddeutschen Tiefebene - und sein nördliches Vorland, die 'Subhercynische Kreidemulde'

Dieses Mittelgebirge bot sich namentlich nach seiner Kartierung durch BEYRICH, LOSSEN und andere als besonders geeignet an, Fragen der Mittelgebirgsentstehung zu klären (A. v. KOENEN 1909). Die Oberfläche des Harzes ist herausgehobener Unterbau, varistisch geformtes Gestein. Und **manches** kam da **nebeneinander, auch Kalk**, alter Kalk, 'Paläokalk', wie bei Rübeland. Ja, ziemlich hoch oben, bei Elbingerode befindet sich ein schon ab dem Mittelalter abgebaut isoliertes Vorkommen von Schwefelkies, "Eisenstein", dessen Genese mit dem Keratophyr in Verbindung gesehen wurde (W. SCHLEIFENBAUM 1908).

Der Harz ist ein ziemlich scharf begrenztes Horst-Gebirge, das aus einer Umgebung aus jüngeren und durch die Heraushebung gestörten Sedimentablagerungen herausragt, mit stärkerer Heraushebung am Nordrand. Untersuchungen zur Heraushebung des Harzes als Mittelgebirge hat das Interesse mancher Geologen gefesselt. So auch des bei Eiszeit-Erörterungen schon genannten OTTO VON LINSTOW (O. SCHNEIDER 1929), Ab 1901 untersuchte der eigenwillige Mann den oberhalb von Magdeburg zu beiden Seiten der Elbe gelegenen Teil Mitteldeutschlands, hier "... wo der vordiluviale Untergrund bereits vielfach die Decke der jüngsten Bildungen durchragt, wo der Abbruch des Alten Gebirges zur Norddeutschen Senke erfolgt," (S. LXXXIX). VON LINSTOW war 33 Jahre lang mit Kartierung befaßter Geologe an der Preußischen Geologischen Landesanstalt, zuletzt mit dem Professorentitel, aber wurde 57-jährig 1929 aus ungeklärten Gründen bei einem herbstlichen Waldspaziergang im Grunewald bei Berlin angeschossen und starb (a. WIKIPEDIA 2016).

Der Harz ragte nach den um 1913 angestellten Studien am Ende der Kreideformation teilweise aus dem Meere heraus (O. v. LINSTOW 1913 / 1914). In den Ablagerungen aus Trias und Jura im Harzvorland fanden sich noch keinerlei Konglomerate und Gerölle, deren Komponenten mit Sicherheit aus paläozoischen Gesteinen des Harzes stammen konnten, wie J. BOEHM und HENRY SCHROEDER 1909 festgestellt hatten. Bis zum Jura gab es also keinen Harz. Erst in manchem Sediment der jüngeren Kreide an verschiedenen Stellen fanden sich am Nordrand des Harzes paläozoische Gesteine, das heißt Kieselschiefer, Quarzite, Tonschiefer, seltener Grauwacken, Grauwackenschiefer, grobkristalline Kalke, wie sie im späteren Harzgebiet auftreten. JOHANNES BOEHM entdeckte einen solchen Fundplatz 1901 im Senon bei Benzingenode, am Austberg. . Da die zahlreich, ja massenhaft hier vorhandenen altpaläozoischen Gesteine kaum abgerollt erschienen, konnten sie nach BOEHMs Interpretation nur aus der Nähe herbeigeführt worden sein.

”Das Paläozoikum des Harzes mußte also zur Zeit des jüngeren Untersenon durch seine mesozoische Decke hindurch wenigstens stellenweise an den Meeresboden oder an die Tagesoberfläche herangetreten sein” (J. BOEHM et al. 1909, S. 30). Da sich in den Kreidesedimenten kein Granit fand, wurde die Schlußfolgerung gezogen, daß zu dieser Zeit der Brockengranit noch nicht herausgehoben war und demgemäß auch nicht abgetragen werden konnte. O. v. LINSTOW wies andererseits nach, daß die nordöstlich des Harzes bekannten Braunkohlenquarzite sich bis weit in den Harz finden. Als diese Braunkohlenquarzite entstanden, dem Eozän zugeordnet, war eben der Harz noch nicht herausgehoben, jedenfalls noch nicht wesentlich. Auch hier war braunkohlebildendes Eozän und in ihm entstanden die Quarzite. Die gegenwärtig etwa im Raum Aschersleben - Nachterstedt vorhandenen Teriärablagerungen mit Braunkohle erstreckten sich also ursprünglich weit nach Westen. Bis in das Gebiet von Elbingerode gab es die eozänen Sümpfe und Torfbildungen, denn deren Bildungen fanden sich als dort später mit der Harzhebung herausgehobene Tertiärablagerungen auf dem Plateau des Harzes in 470 Meter Meereshöhe. Um Elbingerode wird oligozäne Sedimentbedeckung angegeben (G. H. BACHMANN et al. 2008, S. 410). Erst in der Zeit des Miocän erfolgte augenscheinlich diese Heraushebung des Harzes. Bis dahin bestand er vielleicht in rudimentärer Form, als eine vielleicht niedrige Insel, südlich der heutigen Orte Blankenburg und Wernigerode. Von dort kamen die Gerölle in die nördlicher gelegenen Kreidesedimente. Die sich hebende Harz-Scholle wurde im Norden 5 - 7 km auf das Vorland, das 'subhercyne', vorgeschoben, und der Sprung gegenüber den Sedimenten im Norden wird mit etwa 7000 m berechnet (bei G. H. BACHMANN et al. 2008, S. 410, nach VOIGT et al. 2005, aber der mit der Hebung einsetzende Abtrag ließ bei der anzunehmenden Hebungsgeschwindigkeit von 1 - 2 mm pro Jahr kein Hochgebirge entstehen. Die Rumpflächen überragende Härtinge sind vor allem das auf mehrere Granitintrusionen zurückzuführende **Brocken-Massiv**, mit der Gipfelfläche von 1142 m NN, und das einfachere Ramberg-Massiv mit 582 m NN in der Viktorshöhe. Der Auersberg mit seinem Porphyrr erreicht in der Josefshöhe 619 m NN (S. 410).

Mit der Heraushebung des Harz wurden die **Sedimente im nördlichen Vorland gestört**, verändert, **schräg- bis steilgestellt**, auch bis zu gewissem Grad gefaltet, alles im Rahmen der 'saxonischen Tektonik'. Buntsandstein-Schichten nahe dem Harz erscheinen aufgeschlossen etwa in einem Eisenbahneinschnitt stark gestört, sogar steilgestellt. Wie CLOOS (1917, S. 115) in Unterschieden in den Störungen feststellte: ”Am Nordrande des Harzes sind bekanntlich alle Formationen aufgerichtet, aber der Zechstein und fast das ganze Mesozoikum steiler als Emscher, Senon und Tertiär - eine scharfe Diskordanz liegt dazwischen.” Große Teile Nordwest-Deutschlands waren immer wieder vom **Kreidemeer** überflutet worden und nördlich des Harzes, in der 'Subherzynen Kreidemulde', wurden Sedi-



Abbildung 528: Harz von N, vom Regenstein.



Abbildung 529: Steilgestellt. N-Harz, Ermsleben.

mente abgelagert vom Neocom der Unteren Kreide und dann in der Oberen Kreide vom Cenoman, Turon, Emscher (E. MERTENS 1955). Emporgehobene Wölbung ist der Quedlinburger Sattel, in dem auf Grund von dessen Abtragung ältere Sedimente, die des Neocom, bis 100 m mächtiger Quadersandstein, an der Oberfläche liegen. Nördlich des Quedlinburger Sattels erstreckt sich die Halberstädter Mulde, mit jüngeren Sedimenten, denen der Oberen Kreidezeit, an der Oberfläche. In dem durch Zerklüftung ausgezeichneten festen Quadersandstein des oberkreidezeitlichen Emscher inmitten der Halberstädter Mulde witterten auch beeindruckende Felsgruppen heraus. Beindruckend ist die aus Kreidezeit-Sedimenten bestehende **'Teufelsmauer'**, die sich, mit Lücken natürlich, parallel zum Harz im nördlichen Vorland um Quedlinburg, Blankenburg und anderen Orten entlangzieht. Nördlicher liegen der Schmalsattel des **Huy** und der Hardt, Breitsattel sind der mit Buchenwald bedeckte **Elm**, der Fallstein, der Hakel (F. HAEFKE 1959, S. 225).



Abbildung 530: Schichten steilgestellt, Gernrode.



Abbildung 531: Steilgestellt, Buntsandst., Thale.



Abbildung 532: Buntsandst. steil, Thale.



Abbildung 533: Harzparallel Teufelsmauer.



Abbildung 534: Teufelsmauer N-Harz.



Abbildung 535: Teufelsmauer bei Weddersleben.



Abbildung 536: Teufelsmauer, Harz von N.



Abbildung 537: Aufwölbung in der Subhercynen Kreidemulde, 'Kamelfelsen'.



Abbildung 538: N-Harzrand: 'Kamelfelsen'.

Auch noch weiter nördlich gibt es steilen harten Kreide-Sandstein, in Aufwölbungen.

Weiter im Norden erhebt sich viel weniger hoch und weit als der Harz, jedoch auch mit altpaläozoischen Sedimenten an der Oberfläche der herzyn, also von NW nach SO streichende und sich über das nördliche Vorland überschiebende **Flechtinger Höhenzug** (F. HAEFKE 1959, S. 224/225). Bei Magdeburg quert der Flechtinger Höhenzug die ihn durchschneidende Elbe, mit Felsen im Flußbett.

Am Nordost-Rand des Flechtinger Höhenzuges, fortgesetzt nach Osten bis nach Schlesien, fällt der varistische Unterbau jäh um 1000 m in die Tiefe, ist überdeckt von Tertiär und Pleistozän. Es ist eine der bedeutendsten Bruchlinien Mitteldeutschlands. Südlich davon liegt mit subherzyner Kreidemulde, Harz, Thüringer Becken, Thüringer Wald, Südvorland des Thüringer Waldes die **Mitteldeutsche**



Abbildung 539: Huy-Sattel. N-Harzvorland.

Gesamtscholle (F. HAEFKE 1959, S. 225).

Böhmisch-Sächsisches Erzgebirge und dessen Abfall zum Eger-Graben

Das Erzgebirge im Grenzgebiet von Sachsen und dem damals habsburgischen Böhmen erforschte beispielhaft MACHATSCHEK (1917), natürlich auch unter Berücksichtigung vorangegangener Untersucher. Am Südost-Fuß des Erzgebirges gibt es bis in 850 m Seehöhe Sandstein der oberen Kreise, teilweise unter Basalt und so vor der Abtragung geschützt, etwa 35 km westlich des zusammenhängenden Sandsteingebietes des Elbsandsteingebirges, Die Region war wenigstens zu Teilen **vom "oberkretazeischen" Meer überflutet**. Im Oligozän flossen träge Flüsse, nachgewiesen an deren Schotter, die dann unter Basalt geschützt wurden, nach Norden, in Richtung Oligozänmeer, auf einer wohl ziemlich flachen Landschaft, der **oligozänen Rumpfebene**. Von gewisser innerer tektonischer Unruhe zeugen Basaltvorkommen, also **vulkanische Tätigkeit**. Basaltische Brocken in oligozänen Ablagerungen zeugen vom Vorhandensein von Basaltvorkommen in dieser Zeit. Die heutigen Basaltberge im oberen Erzgebirge sind nur ein Rest jener größeren Lavadecken, die ausflossen. Wie HOCHSTETTER 1856 (so zitiert) aussprach, begann in dem Gebiet nach der mitteloigozänen Sedimentation die Entstehung einer **Bruchstufe** nach Süden, in Staffeln, welche bisherige Falten im spitzen Winkel schnitt. Und im Gebiet etlich weiter südlich vollzog sich ebenfalls ein Abbruch, dort nach Norden. Karlsbad/ Karlovy Vary liegt, auf dem Südabbruch des nun werden- den Erzgebirges, und es entstand der **Egertal/Ohre-Graben**, Eger = Ohre. Der Egertal-Graben ist wie das Oberrhein-Tal ein Musterbeispiel eines tektonischen



Abbildung 540: Anstieg nach S: Pultscholle Erzgebirge.

Grabens, an beiden Längsseiten von Bruchstufen begleitet. Der Egertal-Graben zieht sich in "erzgebirgischer", also mehr West-Ost-Richtung, zwischen Erzgebirge im Norden und Kaiserwald im Süden hin, In diesem Egertal-Graben gab es Tertiär-Ablagerungen, entstanden die nordböhmischen **Braunkohlen** und vollzog sich rege Vulkantätigkeit. Angesetzt ab oberem Oligozän (J. M. WARGENAU online, 2018). Stark gestörte Lagerung sedimentärer Schollen wie abnormes Verhalten kristallinischer Gesteine am Gebirgsrand zeugen von einer relativ jungen Bruchstufe. Von weiterer tektonischer Unruhe nach den ersten Bildungen zeugen weitere Basaltbildungen, allen voran die am Erzgebirge das die Eger einengende und zum Durchbruch zwingende, das Egertal-Becken also mit einem Riegel versehende **Duppauer Gebirge**. Manche auf Vulkanismus verweisenden Phänomene sind etwa die heißen Sprudel von Karlsbad, Franzensbad, Marienbad. Solfataren gibt es im Naturschutzgebiet Soos, auch leichtere Erdbeben. Schwarmbeben, leicht jedenfalls bisher. Was steckt in den Tiefen? Magmaherde? In der Zeit der Plattentektonik im 21. Jh. wird gesprochen von Interplatten-Vulkanismus (J. M WARGENAU online 2018).. Die Hebung des Erzgebirges gilt als noch nicht beendet. Der westliche Teil der Pultscholle Erzgebirge wurde stärker herausgehoben als der östliche, die Bruchstufenkante ist also nicht geradlinig, nicht überall in gleichem Niveau. Zu dem Aufstieg von Süden kam eine Kippung von Nordwest zu Südost. Die schönste und inraktivste Aussicht vom Steilabfall der Erzgebirges und der erloschenen Vulkanwelt in der Eger-/Ohre Senke besteht vom Mückentürmchen/Komari vizska bei Zinnwald.

Der **Oberrhein-Graben** erstreckt sich in Süd-Nord-Richtung zwischen Schwarzwald und Vogesen.

Mitteleuropa und Mitteldeutschland erfuhren am Ende des Tertiär und bis ins

Quartär fortdauernd jene Hebung, welche schließlich die Landschaft zu der bekannten Formung gestaltete.

Das faszinierende Elbsandsteingebirge

Ohne Hebung können Meeresablagerungen nicht Festland werden. Gehoben unterliegen diese Sedimente der Erosion, die dann das Aussehen der Landschaft mehr oder weniger prägt. Und eine **Erosionslandschaft** von großem Reiz bildet das Elbsandsteingebirge. Die in dünneren oder bebankten fast stets waagerechten Lagen vorliegenden Sandsteine bilden kein geschlossenes Plateau, keine einheitliche Großtafel, sondern wurden auch unter späterer Beteiligung von fast rechtwinkelig aufeinanderstoßende zwei senkrechten Kluftsysteine in einzelne Tafelberge von unterschiedlichem Gipfelplateau zerlegt. Die waagerechten Schichfugen und die senkrecht dazu stehenden Klüfte ließen jene Quadern zustandekommen, die den Sandstein im Elbsandsteingebirge zu dem Namen 'Quadersandstein' führten und dem Steinbrecher die Arbeit so stark erleichtern, ja erst möglich machen. Die Ablagerung der Sedimente für den Sandstein und die Kluftbildung im verfestigten Gestein sind zeitlich völlig getrennte Vorgänge. Nur ein wenig ausgedehnte Gipfelplateau trägt der 384 m hohe Zirkelstein bei Schöna, ein größeres, auch von Basalt mit gestütztes Gipfellateau der 560, 3 oder 561,74 m (Wikipedia) hohe Große Zschirnsenstein, der höchste Berg im sächsischen Teil des Elbsandsteingebirges. Der höchste Berg des Elbsandsteingebirges befindet sich im tschechischen Teil und ist der 723 m hohe Decinsky Sneznik/Hoher Schneeberg. Diese Tafelberge, auch der Lilienstein mit 415 m Höhe, befinden sich mit ihrer Halde von herabgestürzten Felsen an ihrem Sockel auf einem ebenen Gelände, einer '**Ebenheit**'. In diese haben sich die zur Elbe oder ihre Nebenbäche gerichteten '**Gründe**' eingeschnitten. Solche Ebenheiten hätten zustandekommen können durch Vorliegen einer härteren Gesteinschicht oder einer Abtragungsfläche eines einst höheren Flußniveaus (F. HAEFKE 1959, S. 273; R. VOGEL 1957). Um Dörfer, etwa linkselbisch um Schöna und Reinhardtsdorf, konnten auf der ziemlich ebenen und auch lehmbedeckten Fläche größere landwirtschaftlich genutzte Flächen erschlossen werden.

13. Die Gesteine, auch die Lagerstätten

Geologie und Petrographie

Die Gesteinskunde, Petrographie, wurde in Verselbständigung aus der Mineralogie (P. NIGGLI 1924, S. 5) eine eigenständige Naturwissenschaft. Mineralogie verlangt chemische Kenntnisse wie solche der Kristallographie. Gesteine sind zu untersuchen etwa auf ihre Eigenschaften für ihre Nutzung. Dem Geologen im engeren Sinne,



Abbildung 541: Sandsteinfelsen rechtselbisch bei Rathen.



Abbildung 542: Sandsteinfelsen bis in die Orte, Wehlen.



Abbildung 543: Ehemalige Steinbrüche Sächsische Schweiz Rathen.

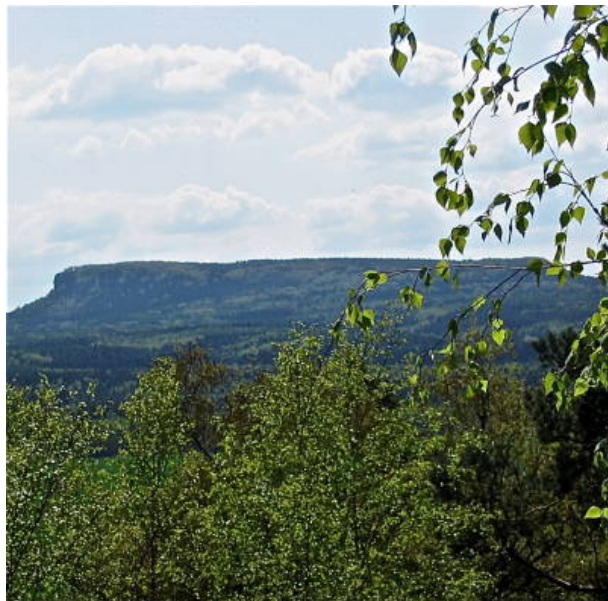


Abbildung 544: Plateauberg Zschirnstein, von Kaiserkrone.



Abbildung 545: Tafelberg Lilienstein auf der Ebenheit.



Abbildung 546: Kleines Plateau Zirkelstein.



Abbildung 547: Tafelberg über der Ebenheit, linkselbisch Zirkelstein.

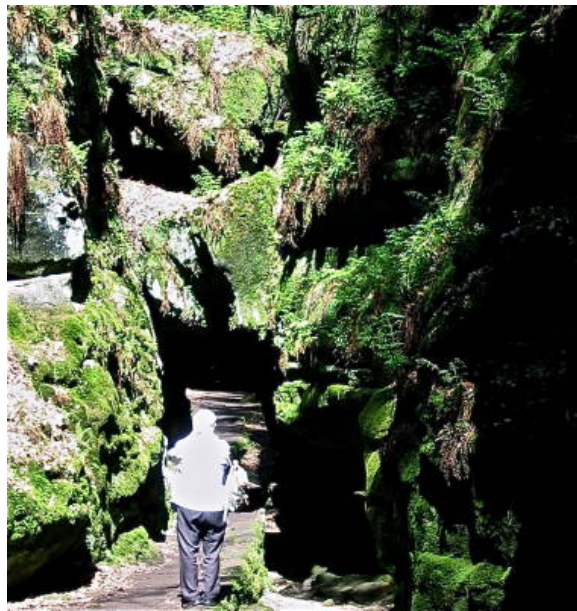


Abbildung 548: Uttewalder Grund, Felssturzbrücke.

dem Erforscher der Erdgeschichte, stehen solche Dinge oft ferner. Andererseits sind die **Gesteine** und ihr Inhalt, **auch** ihre Zusammensetzung, **Dokumente für die Erschließung der Erdgeschichte**, und von daher auch für den Erdgeschichtsforscher **unverzichtbar**. In K. H. SCHEUMANNs Darlegung (1934, S. 482): "Mineralogie und Geologie umfassen zum Teil die selben Gegenstände der Forschung ... Die Objekte gehören beiden Wissenschaften, aber die Art der Behandlung ist eine verschiedene." Zusammenarbeit der Vertreter der verschiedenen Fachdisziplinen wurde zunehmend nötig. Manchmal wurde Geologen, auch erfolgreichen, mangelnde Kenntnis über die Bildung der plutonischen Gesteine vorgeworfen und gerade bei den Vorgängen in der Tiefe verliert die Geologie im engeren Sinne manches an andere Fachdisziplinen, so an die Physikalische Chemie, welche für die Erforschung der Bildung der Phasen bei der Magmenabkühlung stark zuständig ist. Die Petrographie, welche die Gesteine und ihre Entstehung, die Petrogenese, untersucht, ist, " ... nicht ein Teil der Erdgeschichte, also keine geologische Disziplin. Sie erkennt die Vorgänge, die zur Bildung ihrer Objekte geführt haben, als sich wiederholende Abläufe, die einer einmaligen Zeitstellung in der Entwicklungsgeschichte der Erde nicht unterworfen sind und physikalisch-chemisch isoliert betrachtet werden können. Damit sind diese Vorgänge grundsätzlich der experimentellen Reproduktion zugänglich, obwohl deren technische Bedingungen zur Zeit noch nicht in jedem Falle verwirklicht werden können, ..." (K. H. SCHEUMANN 1944, S. 114). Aber die einzelnen Gesteinsbildungsvorgänge, auch dieselben in verschiedenen Zeiten, sind eben in die Erdgeschichte einzuordnen, **das "wann"** ist aufzuklären. Es gab eben Zeiten von viel und von wenig Basalt-Bildung und für die Beurteilung der Erdgeschichte ist das wichtig.

Zum Wesen der Gesteine und dem Unterschieds von Mineral und Gestein

Die feste Erdkruste ist ein stofflich trennbares Gemisch und keine allgemeine Schlacke, Die unterscheidbaren **Mineralien** "bilden wesentlich die äussere Kruste unseres Planeten" (C. F. NAUMANN 1846, S. 2), und mit 'Mineral' muß man bezeichnen "jeden homogenen starren oder tropfbar flüssigen, anorganischen Körper welcher, so wie er erscheint, ein unmittelbares, ohne Mitwirkung organischer Prozesse und ohne Zutun menschlicher Willkür entstandenes Naturproduct ist." Die Gase der Atmosphäre gehören nicht, aber die Grenze zum Organischen wurde doch seit NAUMANN aufgebrochen und man kann manche 'Mineralien' auch künstlich herstellen. Als die "Individuen" des Mineralreiches erscheinen die "Krystalle" (C. F. NAUMANN 1846, S. 3).

Ein Gestein kann aus **verschiedenen**, vielfach auch mit bloßem Auge unter-

scheidbaren Mineralien bestehen. Gleichartige und eigenständig benannte Gesteinsarten haben verschiedene, für sie spezifische mineralische Zusammensetzung, sind eine spezifische **Stoffaggregaten weitgehend gleicher Zusammensetzung**. Ein zusammengesetztes Gestein wie der Granit ist in seinen Mineralbestandteilen, nicht unbedingt im Chemismus, deutlich von einem anders zusammengesetzten Gestein, etwa einem Porphyr, einem Gabbro, einem Trachyt zu unterscheiden. Es ist, wie es P. NIGGLI (1949, S. 224) ausdrückte, eine Grundtatsache auf der Erdkruste, daß "es überhaupt Gesteine, d. h. Mineralkombinationen gibt, die auf große Erstreckung hin ähnlich bleiben" , **spezifische Mineral-"Assoziationen"**, und die so eine Gesteinskunde, Petrographie, entstehen ließen. Das heißt allerdings nicht, daß es nicht zahlreiche Varianten und Übergänge gibt, von denen die Lehrbücher voll sind (G. LINCK et al. 1954), und NIGGLI schreibt von "ähnlich", nicht von gleich. Wegen des wenigstens weitgehenden Gleichbleibens eines Gesteins, also einer spezifischen Mineralssoziation auf weite Strecken, läßt "ein Gestein schon in einem relativ kleinen Bereich die ihm innewohnende Mannigfaltigkeit erkennen ..." (P. NIGGLI 1949, S. 224), läßt also **in Handstücken**, ja in winzigen Teilen für die Mikroskopierung, die Eigenschaften einer bestimmten Gesteinsart untersuchen. Schon Schüler lernten vom Granit: "Feldspat, Quarz und Glimmer, die drei vergeß ich nimmer" - eine etwas beschränkte Mineralkenntnis. Zu den **Feldspaten** gehören **mehr als 57%** der Erdkrustenmineralien (H. SCHNEIDERHÖHN 1962, S. 216). Die Minerale/Aggregate eines Gesteins können auch so winzig werden (C. F. NAUMANN 1846, S. 5), daß man ohne stärkere Vergrößerung "Gefahr laufen" wird, "das Aggregat als solches zu erkennen" und da "ein amorphes Mineral" 'voraussetzen' kann, "wo man es nur mit einem äusserst feinkörnig zusammengesetzten krystallinischen Aggregate zu thun hat:"

Es gibt auch weitgehend **eigenständige**, chemisch einheitliche **Mineralien** mit so **weiter Ausbreitung**, daß sie **Gesteinscharakter** haben und wie Kalkstein/Calciumcarbonat/CaCO₃ oder der Gips, CaSO₄, als Gestein zu bezeichnen sind. Aber die meisten Gesteine bestehen, oft deutlich oder beim Basalt auch schwieriger zu unterscheiden aus verschiedenen mineralischen Kristallen. "Gesteine sind Mineralaggregate; ... in physikalisch-chemischem Sinne "komplizierte Systeme" (U. GRUBENMANN et al. 1924, S. 91).

Gleiche chemische Zusammensetzung bedeutet noch nicht gleichartige Minerale, es gibt "**Polymorphismus**", daß also "ein und derselbe Pauschalchemismus in verschiedenen Kristallarten sich vorfindet" (U. GRUBENMANN et al. 1924, S. 91). Wie noch historisch zu erörtern ist: Je nach den **Unterschieden in der Dauer der Kristallisation** gibt es unterschiedliche Gesteine, mit auch unterschiedlichen Mineralien und zumindestens unterschiedlicher Kristallausbildung bei weitgehend gleichem Bestand an chemischem Elementen. Kristalle haben die Ei-



Abbildung 549: Drachenfels/Siebengebirge, Trachyt-Steinbruch.

genschaft, sich gegen ihre Umgebung auszudehnen, üben 'Wachstumsdruck' aus (C. W. CORRENS 1960, S. 256). Und das je nach Geschwindigkeit der Kristallbildung. Langsame Kristallisation gibt es in der Tiefe, rasche Kristallisation bei rascher Erstarrung an oder nahe der Erdoberfläche. Und so gibt es je nach der Tiefe der Entstehung "**Gesteins-Äquivalente**" (U. GRUBENMANN et al. 1924). Dem '**Tiefengestein Granit**' entspricht an oder nahe der Erdoberfläche der **Rhyolith**, oft noch als '**Granitporphyr**' benannt, etwa in Beucha bei Leipzig, wo kristalline Einsprenglinge etwa der Granitminerale sich in einer porphyrischen Grundmasse befinden (s. a. Wikipedia 2017). Die Beschreibung und Benennung 'Rhyolith' geht auf F. VON RICHTHOFEN 1860 zurück (Wikipedia 2017). Dem **Tiefengestein Syenit** entspricht als vulkanisches Gestein, als Vulkanit, der **Trachyt** (Römpf Chemielexikon), der infolge der Gasentweichung unregelmäßige Hohlräume aufweist. Benannt wurde der Trachyt 1813 durch ALEXANDRE BRONGNIART (Wikipedia 2017). Trachyt bildet den 321 m hohen Drachenfels an der Südwest-Ecke des Siebengebirges bei Rhöndorf am Rhein, wo schon die Römer Abbau betrieben, aber zur Erhaltung des Berges schon im 19. Jh. der Abbau eingestellt wurde.

Namentlich der Schwede AXEL FREDRIK VON CRONSTEDT **unterschied 1758** zuerst **die einfachen Mineralien von den Gesteinen** - nannte Gesteine als größere stofflich ausgezeichnete Komplexe der Erdkruste, die meistens Mineralkombinationen sind. Manche Mineralkombinationen, und so kommen eben spezifische Gesteine zustande, treten immer wieder und in weiten Territorien der Erde auf, so der Granit. Immer wieder muß er in der Tiefe sich in ähnlicher Zusammensetzung, aus vor allem den Mineralien Quarz, Feldspat und Glimmer, gebildet haben. Der französische Geologe und Mineraloge PIERRE-LOUIS-ANTOINE

CORDIER J. G. BURKE 1971), Erforscher der Kohlen in Frankreich, **trennte** im frühen 19. Jh. die oft miteinander verwobenen **Mineralbestandteile** zusammengesetzter Gesteine **mechanisch** und untersuchte sie unter dem Mikroskop. NAUMANN definierte im 19. Jh. Gesteine (zitiert aus: K. A. LOSSEN 1872, S. 784) folgendermaßen: "Mineral - oder Fossilaggregate, welche in bedeutenden Massen auftreten und daher einen wesentlichen Antheil an der Zusammensetzung größerer Theile der Erd feste haben". LOSSEN formulierte (ebenda): "Stoffaggregate, welche in Erfüllung selbständiger geologischer Raumbildungen, d. h. in Erfüllung der Gebirgsglieder, ein gesetzmäßiges Verhalten klar zu erkennen geben".

Unterscheidung und Einteilung, Systematisierung der Gesteine

Selbst die in einer Gruppe stehenden Gesteine weisen immer wieder Unterschiede auf. **Nahezu jeder Steinbruch**, der irgendwo angelegt wird, hat je nach in seiner vertikalen oder horizontalen Stellung in der Erdkruste seine **Besonderheiten**. Zwei Steinbrüche in dem demselben Porphyrmassiv oder im Kalk des Unteren Muschelkalks sind kaum in allen Dingen deckungsgleich und Glück hatte, wer einen besonders günstigen Abbau durchführen kann oder einen besonders günstigen Stein liefert. Die Schichtkomplexe immer weiter zu untergliedern hatte also seinen Grund und Sinn.

Zur Unterscheidung der verschiedenen Gesteinstypen, manchmal Gesteins'arten' genannt, diente zum ersten die **phänomenologische** Einteilung. Bei WERNER gab es etwa die Unterscheidung nach der Körnigkeit, das heißt gleichkörnig, ungleichkörnig, trümmerartig. Unterschieden wurde dann nach der **Zusammensetzung aus Mineralien**, Gesteine waren dann in ihrer chemischen Zusammensetzung und **als Mineralaggregate** ein Forschungsobjekt der Mineralogen, ja der Chemiker, denen die unterschiedliche Zusammensetzung der verschiedenen Gesteine auch allein von Interesse sein konnte. So teilte HAUY als Mineraloge die Gesteine ohne Rücksicht auf ihre geologischen Eigenschaften nur nach mineralogisch-chemischen Unterschieden ein (K. A. LOSSEN 1883). Nach der Unterscheidung von "Arten" in der Biologie, wie sie besonders K. von LINNÉ präzisiert hatte, wurde auch in der Gesteinskunde öfters von "Arten" gesprochen. NAUMANN hat trotz Weiterbenutzung dieses Begriffes auch schon dessen Unzweckmäßigkeit, ja Unzulässigkeit in der Gesteinskunde dargelegt. Die Spezies, die "Arten", in der Organismenwelt sind ja durch ihre Fortpflanzungsfähigkeit der Individuen miteinander charakterisiert und da gibt es bei den Gesteinen eben keine Analogie. Gesteine sind durch viel mehr Übergänge miteinander verbunden als Spezies der Lebewesen.

Für die Geologen, die Erdgeschichtsforscher, wurde die Einteilung der Gesteine **nach** ihrer Entstehung, ihrer '**Genese**', die '**Petrogenese**', so bei C. W. CORRENS et al. etwa 1960, die vielleicht naheliegendste für die Systematisierung, spiegelte zudem am besten die erdgeschichtliche Frage nach den Entstehungsbedingungen wider. Aber die Genese bedeutete auch Interpretation, Verknüpfung der sicheren Einteilung nach den Mineralaggregaten und der chemischen Zusammensetzung mit den oft umstritteneren, eher von Hypothesen geprägten Vorstellungen über die Bildung. Gemäß U. GRUBENMANN et al. (1924 (S. 1) sollte es vielleicht nicht immer nötig sein, daß jede "der Naturwissenschaften, wenn sie einen gewissen Grad der Entwicklung erreicht hat, ... ihre Definitionen auf genetischer Grundlage zu bilden" "sucht".

Einteilung nach der vermuteten Genese wurde mehr oder weniger schon früh angewandt, ist auch heute die lehrbuchgemäße Einteilung, wenigstens die Grobeinteilung, in den Einzelheiten abhängig von den jeweiligen Auffassungen über Gesteinsentstehung. **Genetisch war die auch auf anderen aufbauende Gesteins-Einteilung bei LYELL.** Er unterschied etwa 1838 die 4 großen Gesteinsklassen: 1. im Wasser abgesetzte oder **sedimentäre** Gesteine, 2. **vulkanische** Gesteine, 3. **plutonische** Gesteine, also in der Tiefe aus Magma aus entstandene, 4. **metamorphe** Gesteine (L. G. WILSON 1980).

Immer wieder wurde auch mit neuer Namensgebung den versucht, den verschiedenen Eigenschaften und auch Entstehungsbedingungen Rechnung zu tragen. Eher wieder nach einem äußeren Merkmal, aber die auch bei LYELL gegebene Einteilung nicht umstoßend teilte K. A. LOSSEN 1872 (S. 785) die Gesteine in "Massen-Gesteine und Schicht-Gesteine, je nachdem der Stoff multiplicativ den Raum wie eine Masse aus einem Guss erfüllt oder je nachdem derselbe additiv den Raum aufbaut, so dass Raumsonderung und Stoffsonderung parallel gehen". In der Tiefe entstandene Gesteine nannte etwa S. VON BUBNOFF (1954) **interkrustale** Gesteine. Auf der Erdoberfläche entstanden die **superkrustalen** Gesteine, also die Sedimente und ebenso manche Erzeugnisse vulkanischer Tätigkeit. Vulkanismus führt zu Magma, aber es werden auch explosionsartig Aschen, Brocken, Tuffe emporgeschleudert und setzen sich mehr oder weniger schnell und mehr oder weniger weit verbreitet ab - ein Absetzen, das der Sedimentbildung ähnelt, ja ihr gleicht, "gravitativ sedimentiert" (S. VON BUBNOFF 1954, S. 30).

Begrenztere Ausdehnung haben etwa die meist chemisch-mineralogisch besonders zusammengesetzten, zu den plutonischen Gesteinen gehörenden **Ganggesteine**, oft als Pegmatite bezeichnet, welche andere Gesteine, plutonische vor allem, durchsetzen können.

Was die Gesteine als Minerassoziationen betrifft, so sind die klastischen Sedimente



Abbildung 550: Grünsandsteinturm in Soest.

zuerst Gebilde der Mineralassoziationen von denen sie herkommen. Aber zu den Sedimenten gehören auch die bei Wasserverdunstung entstehenden Evaporite, die Salze. Und auch bei der **Bildung** von **Sandstein** gab es **auch eigene Vorgänge von Mineralbildung**. In manchen Regionen sind Sandsteine der Unteren Kreide, aber nicht nur solche, grünlich gefärbt, wegen des wohl unter Flachmeerbedingungen bei "geringer Süßwasserzufuhr" gebildeten Minerals Glaukonit (G. LINCK et al. 1954, S. 230) und wurden 'Grünsandstein'. Auch ältere aus solchem Gestein errichtete Bauwerke der Stadt Soest in Westfalen fallen durch ihre Grünfärbung auf.

Noch 1960 betonte CARL WILHELM CORRENS auch die weiterhin bestehende Unkenntnis und das Hypothetische zur Bildung vieler Gesteine, so des Dolomit (S. 200 ff.) oder des Feuersteins (S. 252 u. a.).

Mikroskopische Untersuchung der Gesteine - Gesteinsdünnschliffe

Die verfügbaren Untersuchungsmethoden bestimmten viel von dem, was über Gesteine erkannt werden konnte.

Wichtig wurde **Gesteine unter dem Mikroskop** zu untersuchen, vor allem auch unter Verwendung von polarisiertem Licht. Mit bloßem Auge kaum oder nicht unterscheidbare Mineralkomponenten wurden sichtbar. Begonnen hat die mikro-

skopische Gesteins-Untersuchung etwa DOLOMIEU. Etwa 1816 **zerrieb** CORDIER mechanisch plutonische und vulkanische 'Gebirgsarten', also Gesteine, und legte das Material unter das Mikroskop (A. BOUÉ 1863). Im Jahre 1853 veröffentlichte ANDREWS seine mikroskopischen Untersuchungen über Basalte und metamorphische Gesteine.

Steine für Untersuchungszwecke zu schleifen wird berichtet von dem der Mineralogie zugetanem Ronneburger Brunnenarzt Dr. SULZER, und VON HOFF kaufte von ihm eine **Schleifmaschine** (K. DREIßIG et al. im Vorwort zu VON HOFF 2012, S. 18). Den großen Durchbruch in der mikroskopischen Untersuchung von Gesteinen brachte die Herstellung von **Gesteinsdünnschliffen**, also ein Stück abgerieben, zugeschliffen fast auf Durchsichtigkeit. Das Schleifen von größeren Gesteinsbrocken in Sammlungen wurde schon des längeren angewandt, und VON HOFF kaufte um 1830 von dem Ronneburger Brunnenarzt Dr. SULZER "eine Schleifmaschine zur Gesteinsbearbeitung" (K. DREIßIG et al. 2012, S. 18). Das Verfahren der Herstellung von Dünnschliffen kleiner, unter das Mikroskop zu legenden Gesteinsbrocken entwickelte vor allem HENRY CLIFTON SORBY um 1850. Er führte das 1858 den Geologen in Edinburgh vor. Manche Geologen konnten dem Verfahren damals nichts abgewinnen und etwa A. C. RAMSAY glaubte nicht, daß man einen Berg unter dem Mikroskop studieren könne (A. GEIKIE 1924, S. 117). In Deutschland wurden in den Jahren 1852 bis 1854 Gesteinsdünnschliffe mikroskopisch untersucht von dem Berliner Amateur'geognosten' A. OSCHATZ (W. E. TRÖGER 1948). Auf diesen noch eher als 'Dick'schliffe' anzusprechenden Präparaten sah man aber nicht wesentlich mehr als mit einer Lupe.

Weithin angewandt wurde die mikroskopische Gesteinsuntersuchung an Hand von **wirklich dünn geschliffenen** Präparaten im durchfallenden Licht in Deutschland namentlich durch FERDINAND ZIRKEL (R. BRAUN 1912, F. WAHNSCHAFTE 1912, F. ZIRKEL 1863, 1904) und HARRY ROSENBUSCH (L. MILCH 1914, E. A. WÜLFING 1914 a, b).

ZIRKEL, geboren 1838 als Sohn eines Gymnasialprofessors in Bonn, studierte mit dem Ziel eines Berufes im Bergfach Geologie, Mineralogie und Chemie. Bei einem Aufenthalt in England wurde er mit SORBY bekannt. Nach Mitwirkung an der geologischen Reichsanstalt in Wien 1862, erhielt er 1863 ein Extraordinariat in Lemberg, folgte 1868 einem Rufe als Ordinarius nach Kiel und wirkte ab 1870 als Nachfolger NAUMANNs fast 40 Jahre an der Universität Leipzig. Im Jahre 1867 bewies ZIRKEL den Wert der Gesteinsschliffmethode, als er über das Erkennen des Minerals Nephelin in einem sonst kaum auf Mineralien erkennbaren Phonolith berichtete und ZIRKELs Schwager H. VOGELSANG "sehr eingehend" die Grundmassestrukturen von Porphyren und Basalten beschrieb (W. E. TRÖGER 1948). Nicht nur die Zusammensetzung des intakten Basalts, auch der **Zersetzungsvor-**

gang konnte durch ZIRKEL (1863) unter dem Mikroskop etwa bei einem Basalt des Siebengebirges **verfolgt** werden. Im Jahre 1873 veröffentlichte ZIRKEL sein wichtiges Werk "Die mikroskopische Beschaffenheit der Mineralien und Gesteine". Der Mineraloge KALKOWSKY rief ZIRKEL einmal ehrend zu: "Sie waren es, der zuerst die Berge mit dem Mikroskop zu untersuchen lehrte."

Im gleichen Jahre 1873, als ZIRKELs großes Werk erschien, veröffentlichte HARRY ROSENBUSCH (B. SPERLING 2005), Heidelberg, ein entscheidendes Werk zur mikroskopischen Gesteinsuntersuchung. ROSENBUSCH, Lehrerssohn aus Einbeck, geboren 1836, mit 7 Jahren wegen Tod des Vaters Halbwaise, studierte zunächst in Göttingen geisteswissenschaftliche Fächer, wurde nach zwei Jahren zur finanziellen Aufbesserung Hauslehrer in Brasilien und studierte nach der Rückkehr Naturwissenschaften in Freiberg und Heidelberg. ROSENBUSCH hielt sich dann nochmals in Brasilien auf und wurde nach seiner zweiten Rückkehr Privatdozent in Freiburg i. Br. Seit 1873 Professor in Straßburg, war ROSENBUSCH ab 1878 für fast dreißig Jahre hindurch Professor an der Universität Heidelberg und von ihm wurde gesagt, daß er als einer der ganz großen Petrographen seiner Zeit in seinem Fach eine Stellung besaß, "die hundert Jahre früher die Bergakademie Freiberg für Mineralogie und Geologie durch WERNER einnahm" (L. MILCH 1914). 1888 war ROSENBUSCH auch Direktor der Badischen Geologischen Landesanstalt geworden.

Die mikroskopische Gesteinsuntersuchung an Dünnschliffen und die daran ausgerichtete Einteilung und Beurteilung der Gesteine, ob Tiefengestein oder oberflächennah entstanden wie Porphyr, hat Grenzen insofern es **an die Kristalle im Gestein gebunden** ist (F. v. WOLFF 1922). Wenn "die glasige Erstarrung der Kristallisation ein vorzeitiges Ende bereitet hat, so versagt die mikroskopische Klassifikation vollkommen" (S. 9), man kann also nichts weiter Interessantes sehen. Andererseits können Gesteine trotz gleicher chemischer Zusammensetzung "in verschiedenen Mineralkombinationen auskristallisieren" (S. 10). Für die Petrographie und namentlich die Geologie sind die Kristalle und allein schon ihre Ausbildung wichtige Merkmale der Gesteine. Aber die chemische Zusammensetzung ist ebenso kein vernachlässigbarer Faktor.

Mit der mikroskopischen Gesteinsanalyse wurden zahlreiche Gesteine **neu definiert** und waren geologische Meßtischblattaufnahmen zu ändern. Zu einem Vorgänger in der geologischen Erforschung des "Elbtalschiefergebirges" meinte 1917 KURT PIETZSCH (S. 182): "... leider viele Ungenauigkeiten, weil der Verfasser seine Gesteinsbeschreibungen noch nicht auf Grund mikroskopischer Untersuchungen ausführte."

Die verschiedenen Gruppen der Gesteine und ihre Entstehung

Probleme der Einteilung und der Nomenklatur

Selbst die breite Öffentlichkeit hat sich an bestimmte Gesteinsnamen wie Granit oder Basalt gewöhnt. Hinterfragt, wie bei dem seinerzeit in Leipzig tätigen ALFRED JENTZSCH (1873) erscheint die Einteilung der Gesteine problematischer, ob nach dem Gehalt an chemischen Elementen, nach dem 'Mineralbestand', der Mineralausbildung, also der 'Struktur', der Körnung besonders nach Zerfall und Verfrachtung des Materials. Für den Chemiker mag die "chemische Mischung", also der Bestand an chemischen Elementen das Interessanteste sein, aber im petrographischen System "ist". zu recht. "die Art der Mineralassociation ... stets und insbesondere in neuerer Zeit als das Massgebende betrachtet worden" (A. JENTZSCH 1873, S. 737). Für die Verwertung der Gesteine für die Klärung der Erdgeschichte war letzteres wohl besonders wichtig, und dann auch die Art der Kristallausbildung der Minerale (s. ROSENBUSCH). Eine '**Geochemie**', mit der Erforschung des Schicksals der Elemente in und auf und über der Erde kam später **auch**. Zur Einteilung der Gesteine besonders unter geologischen Gesichtspunkten hat sich in Leipzig NAUMANN manche Gedanken gemacht.

Die Primärgesteine, die aus Magma stammenden Gesteine/Eruptiva: Plutonisch/Tiefengesteine, Ergußgesteine, Ganggesteine

'Primär' war die Erstarrungskruste der einst glutflüssigen Erde und vielleicht nirgendwo mehr erhalten, und primär ist auch das aus dem Erdinneren nach oben dringende Magma, das zu den 'Primärgesteinen' führt - ein heute nicht mehr so stark benutzter Ausdruck.

Der Terminus '**plutonisch**' in der Petrographie, also nicht im Zusammenhang mit der Plutonismus-Neptunismus-Debatte, wird auf NAUMANN zurückgeführt (J. G. BURKE 1974), dem bewußt wurde, daß etwa Erdbeben und offenbar damit verbundene Tiefenvorgänge oft auch unabhängig von irgendwelcher vulkanischen Aktivität stattfinden und daher die Bezeichnung 'vulkanisch' nicht für alle Erstarrungsgesteine, nicht auf Gesteine wie Granit, Syenit usw. beibehalten wollte, deren Entstehung augenscheinlich nicht mit Vulkanismus, mit auf die Erdoberfläche austretendem Magma, verbunden war. Es waren gemäß VON BUBNOFF



Abbildung 551: Einschluß im Granit.

(etwa 1954) **interkrustale** Gesteine, im Unterschied zu den auf der Erdoberfläche gebildeten **superkrustalen**. Manchmal gab es auch in den Zeiten **nach** WERNER noch Zweifel, ob etwa **Granit** mit seinen Klüften bei der "Wollsackbildung" wirklich als Erstarrungsgestein betrachtet werden kann. Ein vulkanisches Glas, also eine Masse ohne Kristallstruktur, kann jedoch nur durch Erstarrung entstehen und kleine Glasteilchen in einem Gestein sind daher Beleg für dessen "eruptive" Entstehung (E. KAYSER 1893).

Tiefengesteine können auch Einschlüsse von darüberliegendem Gestein enthalten, aufgenommen beim Aufstieg.

Immer einmal waren neue **plutonische und eruptive Gesteinstypen** oder -'arten' beschrieben worden, Auf VON BUCH geht der **Gabbro** zurück, ALEXANDRE BRONGNIART beschrieb 1813 den **Trachyt** (Wikipedia 2013). Vom Basalt zu unterscheiden war der **Phonolith**, deutsch 'Tonstein', so genannt wegen seines Klanges beim Anschlagen. NAUMANN unterschied 48 'Spezies' von Gesteinen, die zur magmatischen Abfolge gerechnet werden (W. E. TRÖGER 1948). 14 weitere damals benutzte Namen ließ NAUMANN weg, weil sie unwesentlich oder synonym waren. ZIRKELs Lehrbuch von 1866 nennt **97 Typen magmatischer Gesteine**. Manche weitergeführten Namen waren namentlich nach mikroskopischer Prüfung der zugehörigen Gesteine nicht mehr auf einen eindeutigen Gesteinstyp festzulegen, so für den "**Melaphyr**" (G. HAARMANN 1873), ein 1813 von ALEXANDER BRONGNIART geprägter Terminus, der sich als nicht haltbarer Kollektivname herausstellte. Im Jahre 1935 rechnete W. E. TRÖGER mit etwa 900 als selbständig anerkannten magmatischen Gesteinstypen.

Wie mühsam es war, die Bestandteile der insgesamt so einheitlich wirkenden magmatischen Gesteine, **Basalt und Phonolith**, herauszulösen, demonstriert die Ar-

beit, eine Inauguraldissertation, über die "Basalte des Hegau's" des Schweizer UL-RICH GRUBENMANN 1886. Der 1850 geborene GRUBENMANN (P. NIGGLE 1924), einer der Pioniere in der Petrographie und namentlich Erforscher der metamorphen Gesteine, wuchs in ärmlichen Verhältnissen auf, mußte als Knabe noch mitweben, studierte am eidgenössischen Polytechnikum in Zürich auf "Fachlehrer der naturwissenschaftlichen Richtung" (S. 24) und fand Kontakt zu dem bedeutenden Geologen ALBERT HEIM. GRUBENMANN war Lehrer für Naturwissenschaften an der Kantonsschule in Frauenfeld, war dort 1886 - 1888 Rektor, studierte dann aber noch in Heidelberg und München und folgte 1893 dem Ruf auf den Lehrstuhl für Mineralogie und Petrographie an der Eidgenössischen Polytechnischen Schule und der Universität Zürich" (S. 24). Für die Basaltanalyse 1886 wurde "ungefähr 1 Kilo des relativ grobkörnigen Basaltes von Hohenlöwen gepulvert, durch ein feines Sieb (mit etwa 900 Maschen per cm²) gesiebt, durch Schlämmen mit Wasser gereinigt, mehrfach mit dem Magneten und Elektromagneten ausgezogen, und durch Thoulet'sche Lösung $s = 3,16$) in einem grossen Scheidetrichter portionenweise in eine schwimmende, leichtere, und eine niederfallende schwere Fraktion getrennt. Trotz mehrfacher Wiederholung dieser Operation gelang es nicht, ein annähernd homogenes Pulver zu erstellen; dasselbe erschien unter dem Mikroskop als ein Gemenge wesentlich von Augit und Olivin, denen winzige Körnchen von Perowkit, Magnetit, Melilith und Nephelin an- oder eingewachsen waren. Durch vierfaches Ausziehen mit concentrirter Salzsäure in der Wärme des Wasserbades, wiederholtes Auskochen mit verdünnter Kalilauge und Aussüssen mit Wasser resultirte endlich ein Pulver, das sich im mikroskopischen Bilde als ziemlich reiner Augit erwies, dem Einschlüsse von Porowskit und Magnetit (?) nur noch höchst spärlich anhafteten. ..." (S. 5). Die Bestandteile wurden dann quantitativ ermittelt. Olivin erschien "als porphyrischer Einsprengling schon mit unbewaffnetem Auge leicht zu erkennen" (S. 7), auch mit "Krystalle mit scharfen Kanten und Ecken", häufiger "mehr oder weniger abgerundete Krystalldurchschnitte". Aus dieser guten Kristallausbildung schloß GRUBENMANN, "dass die Krystallisation des Olivin in die Gesteinsgenese fällt" (S. 8), aber Olivin zu den Mineralien gehört, die dann auch "durch die Verwitterung am allerfrühesten angegriffen werden" (S. 8). Aus der mikroskopischen und chemischen Prüfung erschloß dann GRUBENMANN auch, daß die Basalte des Hegau "alle einer und derselben Gesteinsspezies angehören" (S. 37).

Ein Erforscher etwa der magmatischen Gesteine war in der ersten Hälfte des 20. Jh. der Schweizer PAUL NIGGLI (C. BURRI 1953), im Herbst 1914 Extraordinarius in Leipzig, 1918 Ordinarius in Tübingen, 1920 als Nachfolger von GRUBENMANN in Zürich an der ETH und der Universität.



Abbildung 552: Hohentwiel.

Wieso entstanden aus dem einheitlich wirkenden Magma verschiedene Gesteine. - Auffassungen über die Gründe der Entstehung so zahlreicher verschiedener magmatischer und damit auch plutonischer Gesteine

Große und die führenden Petrographen immer wieder beschäftigende Frage war, warum sich aus dem schmelzflüssigen Material auch tief im Erdinneren und nicht nur wegen den anderen Bedingungen an der Erdoberfläche derartig zahlreiche unterschiedliche Gesteine bildeten, also warum es diese **Gesteinsdifferenzierung** gab, denn es erschien offensichtlich, daß "die heute beobachtbaren Mineralassoziationen ... im Laufe der Erdgeschichte aus anderen Zuständen entstanden" (P. NIGGLI 1949, S. 250). Neben der Entstehung der oft weit ausgedehnten Mineralassoziationen, also Gesteinen, zeugen von weiterer **Differenzierung** in dem erdinneren schmelzflüssigen Material die etwa auf Granitplatten auf Gehwegen auch dem Laien erkennbaren "**Schlieren**", andersartige Einlagen im Hauptgestein. REYER schlug einmal den Terminus 'Schlieren' für alle örtlichen Verschiedenheiten in einem magmatischen Gestein vor. Auch **Eruptivgesteine**, auf die Erdoberfläche gelangtes Magma, enthält nicht alle Komponenten sie bildenden Magmen-Zusammensetzung, sondern sind der "feste Kristallisationsrest", der "seine flüchtigen Komponenten" abgab (F. VON WOLFF 1922, S. 9).

Als Grundphänomen für die Entstehung so vieler magmatischer Gesteinstypen (W. E. TRÖGER 1948). nannte der Chemiker ROBERT BUNSEN die von vornherein gegebene Existenz von **verschiedenen**, seiner Meinung nach von 2 **Urmagmen**, die sich unterschiedlich mischen können. Ein Chemiker übertrug also die in der Chemie grundlegende Auffassung von wenigen Arten von Elementarteilen und der

Entstehung von Vielfalt durch deren verschiedene Kombination sogar vereinfacht, auf die Gesteinskunde. HOCHSTETTER nahm allerdings schließlich 16 **verschiedene Ausgangsmagmen** an.

SARTORIUS von WALTERSHAUSEN entwickelte eine erste "**Differentiationstheorie**" In einem zunächst **einzigem**, einheitlichen **Magma** kommt es durch Einwirkung der Schwerkraft zu einer Sonderung, einer **Differentiation**, der Bestandteile. Das führte zu einer Dichtezunahme von oben nach unten. Das Magma bekam also in den verschiedenen Tiefenbereichen unterschiedliche chemische Zusammensetzung und damit unterschiedliche Beschaffenheit. Es bildete sich unterschiedliches Magma je nach der Tiefe. Es kam dann mehr zur Feststellung der physikalisch-chemischen Seite der Magmen-Differenzierung, zusammenhängend mit der Kristallisation der einen und dem noch Ausbleiben von Kristallbildung bei anderen Komponenten. Der von Jugend an mit dem Gebiet von Oslo verbundene Norweger WALDEMAR CHRISTOPHER BRÖGGER (P. ESKOLA 1940, O. HOLTEDAHN 1970) war einer ihrer Pioniere in der Erforschung der magmatischen Differentiation, zusammengefaßt in seinem Satz "Die Differentiationsfolge der Eruptivgesteine ist dieselbe wie die Kristallisationsfolge ihrer Minerale" (zit. aus P. ESKOLA 1940, S. 618). Als ein wenigstens weitgehend undifferenziertes **Stammagma** wurde von N. L. BOWEN das 'gabbroide' Magma gesehen (zit. b. R. A. SONDER 1922, S. 267).

Wie etwa PAUL NIGGLI auf dem Stand von 1921 (S. 464) darlegte, war die Differenzierung für praktische Zwecke besonders interessant wegen der Anreicherung von technisch wertvollen Substanzen, also der Entstehung von **Lagerstätten**, verbunden **mit der letzten Ausbildung von Mineralien** aus dem Restagma. Hier gab es Anreicherung von Elementen gar, in "Restlaugen", die nach der Erstarrung noch übrig waren, durchaus "intramagmatisch". Dem **liquidmagmatischen** Anteil, also der erstarrenden Hauptmasse, der sich zu 99% in den Eruptivgesteinen findet, sollten gegenüberstehen die '**pneumatolytischen**' Anteile, "welche unter bereits kräftiger Mitwirkung leichtflüchtiger Bestandteile entstehen, ..." Und bei weiterer Temperaturabkühlung gibt es eine Art "wässriger Lösungen bei mittelhoher Temperatur", die "**hydrothermal**" genannt wurden. Nach H. S. WASHINGTON sind gesteinsbildend die Elemente der Hauptreihen, während die der Nebenreihen, die 'metallogeen' Elemente, eben die später erstarrenden Mineralien bilden (S. 466). Granit erschien als Endprodukt der gesteinsbildenden Differentiation aus dem Magma, das ursprünglich "basaltisch-gabbroide Zusammensetzung" hatte (P. NIGGLI 1921, S. 468). Daß es neu aus den Erdtiefen aufsteigendes Magma war, scheint jedenfalls NIGGLI 1921 wohl anzunehmen, immerhin Stoffe nach oben führend, von denen "die uns zugängliche Zone der Erdrinde ... ja nicht die eigentliche Heimat" ist (S. 470).

Für den ebenfalls führenden Vulkanologen ALFRED RITTMANN (1939, S. 54), der mit einer Vielfalt von Fragestellungen hervortrat, bot die Untersuchung der Magmen gleichfalls "wertvolle Aufschlüsse über das unerreichbare Innere unseres Planeten (A. RITTMANN 1928, S. 491). RITTMANN war sich für 1928 (S. 493) bewußt: "Die Vulkanologie steht noch im Stadium des Tatsachensammelns und -ordnens und allen Hypothesen haftet so lange starker spekulativer Charakter an, als unsere phänomenologischen Kenntnisse so begrenzt sind wie heute." Hier zu ändern war sein Bestreben, Gewinnen exakter Kenntnisse, aber ohne Ausschluß allen Hypothetischen war das auch nicht machbar. Magma erschienen ihm nicht gleichartig, Vulkane in ihrer Tätigkeit glichen sich nicht und diese **Unterschiede** waren ihm wichtiges Forschungsanliegen. Das Innere war verborgen durch die obere Schale der Erdkruste, das Sial, ein primäres Erstarrungsprodukt der sich abkühlenden einst glutflüssigen Erde. Wenn **Magma aus größeren Tiefen** aufstieg und wenn dieses 'Urmagma' war, **veränderte es sich stofflich beim Durchdringen des Sial**, 'entartete' hier (S. 53) und es kam dabei zu einer **Magmendifferenzierung**. RITTMANN (1928, 1939) interessierte zur Klärung solcher Fragen der **Unterschied der Magmen**, auch **der einstigen**, erstarrten, denn (1928, S. 491): "Das geförderte Magma wechselt von einem Vulkan zum anderen" und selbst an ein und demselben Vulkan muß das Magma von Ausbruch zu Ausbruch nicht dasselbe bleiben. Und meistens voneinander "völlig unabhängig" ist auch die Ausbruchstätigkeit benachbarter Vulkane. Man kann daraus schließen, daß die einzelnen "Vulkane aus abgegrenzten Magmenherden gespeist werden", die kaum noch mit dem Erdinneren in Verbindung stehen. Der Wechsel der Magmenzusammensetzung bei demselben Vulkan von Ausbruch zu Ausbruch deutet auf Entmischung oder Differentiation der Magmen in seinem Herde. Schwerkraftbedingtes Herabsinken schwerer schon auskristallisierter Mineralien wie Gasabgabe sollten das bewirken. Exhalierete Gase waren immerhin auffangbar.

Namentlich auch **Ganggesteine** erschienen als Zeugnisse von Magmendifferenzierung auf kleinem Raum (E. KAYSER 1893. Bei Gängen von sogenannten grauem Porphyr bei Rübeland und Elbingerode im Harz und bei Gängen von Granitporphyr im Trusental im mittleren Thüriner Wald wird das Gestein von der Gangmitte nach den Rändern, den Salbändern, basischer, aber, wie EMANUEL KAYSER (1893, S. 471) sah, entstand das gesamte Gestein dort aus einem gemeinsamen Magma. Ganggesteine, **Pegmatite**, in Granit etwa von granitischer Zusammensetzung mit bei der Erstarrung den Schmelzpunkt herabsetzenden Mineralien und auch angereicherten Elementen, so von Uran, Lithium, Beryllium, Seltenen Erden (Wikipedia 2013) werden beschrieben so bei P. NIGGLI 1921 (S. 468). Gänge sind so vielfach die Orte der Anreicherung bestimmter für die Wirtschaft wichtiger Mineralien. Solche Gänge erwiesen sich oft an bestimmte Gesteine gebunden, so die Zinnerz- und Wolframitlagerstätten stets an Granite, die Bleizinkerzgänge

an dioritische Gesteine, die Tellurgold-Gänge oft an Andesite und Augitporphyrite (G. BERG 1922). Durch chemische Reaktionen an der Kreuzungsstelle von Gängen, an "Gangkreuzen", kam es hier sogar zur Abscheidung von gediegenem Silber und gediegenem Arsen im jüngeren Gang, so bei Freiberg in Sachsen und bei Kongsberg in Norwegen. E. SUESS interessierte, wie es zur Bildung jener Gänge komme, welche die von den Mineralogen und Lagerstättenleuten erforschten Magmenprodukte aufnehmen, also für **die tektonisch-geologischen Vorgänge der Gangentstehung**, und stellte sich nach einem Besuch im sächsischen Erzgebirge 1893 einmal vor (zit. b. K. SAPPER 1927, S. 388), daß aufsteigendes Magma über sich befindliches Gestein aufschmelze, das Dach über dem entstehenden Batholiten zusammenbreche, "ein Netz von Spalten entstehe und viele Ausbrüche und Ergüsse stattfinden" und einer "der plötzlich entstehenden Gänge" auch die Erdoberfläche erreichen könne und es so zu Vulkanen komme.

Die "**leichtflüchtigen Bestandteile**" des Magmas wurden NIGGLIs (1937) spezieller Forschungsbereich.

Weil im Verlaufe von Gebirgsbildungen/Orogenesen in deren einzelnen Stadien unterschiedliche Eruptivgesteine auftreten, hatte man auch daraus auf Vorgänge der Magmendifferenzierung geschlossen (R. A. SONDER 1922, S. 268). Was schnell von unten hochkam war nicht differenziert. Das waren der Basalt, der Gabbro. Was bei einer Gebirgsbildung mit ihrer langen Dauer lange im Inneren verharrte und dort mit viel Entgasung Intrusivkörper bildete, das hatte Zeit zum Differenzieren. So kam es zum Granit.

Die Magmendifferenzierung, die '**magmatische Abfolge**', die in den verschiedenen Stadien auftretenden Mineralparagenesen, Metalle enthaltenden Mineralien, interessiert in besonderem Maße auch den Vertreter der **Lagerstättenkunde** (H. SCHNEIDERHÖHN 1962, S. 45 ff.), der aus den getätigten Erfahrungen verallgemeinert, um anderswo erfolgreich zu suchen. Die '**pegmatisch-pneumatolytischen Lagerstätten', Gänge**' (H. SCHNEIDERHÖHN 1962, S. 76, 77), "vom Typus der Zinnererzgänge, Wolframgänge, Molybdängänge", Gänge mit Topas, Turmalin u. a., bildeten sich nach "Abschluß der Graniterstarrung" (S. 76). Unterhalb etwa 300 - 350° C und damit zwischen 500 und 3000 m unter der damaligen Erdoberfläche bildeten sich die '**hydrothermalen Lagerstätten**' (H. SCHNEIDERHÖHN 1962, S. 98/99 ff.), die "dritte große Gruppe der magmatischen Lagerstättenabfolge"

Allgemeine Zusammenhänge namentlich bei plutonischen Gesteinen und Erguß-Gesteinen/Vulkanite, also den Erup-tivgesteinen

Das Problem 'uranfänglicher' Gesteine - Der Kreislauf der Gesteine

Daß sich auf der Erde nach deren Abkühlung eine **erste Erstarrungskruste** bildete und diese in Gestalt einiger Gesteine noch vorliegt, also uranfängliche Gesteine, wirkliche "Primärgesteine", wurde noch in der Mitte des 19. Jh. angenommen. NAUMANN sah 1849 die erste Erstarrungskruste gebildet durch Gneis und kristalline Schiefer, VON COTTA debattierte das 1854 für einen Teil der Gneise (W. E. TRÖGER 1948). Bei H. CREDNER hieß es 1876 (S. 1872), daß aus den verschiedenen "Betrachtungen folgt, dass die ganze Reihe der sedimentären Formationen von einer noch älteren nicht sedimentären Gebirgsformation der Grund- oder Fundamental-Formation getragen waren muss, und diese kann nicht anders gedacht werden, denn als die ursprüngliche Erstarrungskruste des einst glutflüssigen Erdballes." C. LOSSEN rechnete zwar mit einer Umwandlung der ersten Erstarrungskruste, aber die meiste Gneise und Glimmerschiefer sollten Umwandlungsgesteine aus der ursprünglichen granitischen Erstarrungskruste gewesen sein.

Es wurde jedoch **zunehmend als unwahrscheinlich** angesehen, daß sich **irgendwo** auf der Erdoberfläche noch Reste **der** anzunehmenden **ersten Erstarrungskruste der Erdoberfläche** finden. Nicht nur sollte aus dem Erdinneren immer einmal völlig neues, noch nie auf der Erdoberfläche gewesenes, das heißt 'juveniles' **Magma** hinzugetreten sein, ansonsten aber wäre fast alles heute auf der Erde vorkommende Gesteinsmaterial irgendwie **in einen Kreislauf der Gesteine einbezogen** gewesen und ist es noch. Am Anfang stand die erkaltende Erdkruste. Immer neue Magmen stiegen aber immer wieder aus der Tiefe und erstarrten, mehr oder weniger tief. An der Erdoberfläche führte Verwitterung zu Ablagerungen. Verfestigung und Absinken in die Tiefe brachte Metamorphose. Auch Gesteine der Tiefe kamen wieder an die Erdoberfläche. Das alles geschah in den einzelnen Regionen nicht gleichmäßig, oft unterbrochen. Aber insgesamt gab es das Bild eines Kreislaufs. Was einst als Gesteine des "Urgebirge" betrachtet worden war, konnte nach weiterer Erkenntnis in ihrer Gestalt auch später in den Tiefen der Erde entstehen und wurde auch emporgehoben und sah eben dann nur aus, wie man sich, etwa in Fennoskandia, ein "Urgebirge" vorstellte. Was einst 'Urgebirge' sein sollte wurde zum '**Grundgebirge**' (H. MURAWSKI 1964, S. 589).

Die Vorstellung vom Kreislauf der auf der Erde befindlichen Materie und auch des

Gesteinsmaterials in 'Ewigkeiten' der Erdgeschichte erscheint bei J. HUTTON (W. NIEUWENKAMP 1965), entgegen späterer Hypothese, ja Theorie, über irreversible Wandlung durch die zunehmende Abkühlung der Erdkruste und endgültiger Bildung etwa der metamorphen Gesteine, wenn sie im Erdinneren verbleiben. Mit der Entdeckung der Radioaktivität als ständiger Wärmequelle kam die einliniare Abkühlung der Erdoberfläche in Zweifel. Alles Abgesunkene konnte wieder aufgeschmolzen auch wieder zu Magma werden. CARL W. CORRENS trug 1948 (S. 42) über in die Tiefe gesunkene und dort sich verändernden Sedimente vor: "Durch solche Aufschmelzungen geht das Sediment wieder in ein echtes magmatisches Gestein über, der Kreislauf, den wir mit der Verwitterung der Gesteine begonnen haben, ist geschlossen. Verwitterung, Sedimentation, Umwandlung und Magma sind die 4 Stufen ... ", aber "in Wirklichkeit, in der Natur, gibt es alle Übergänge ... Einen Kreislauf im strengen Sinn des Wortes bilden die besprochenen Vorgänge nicht. Aus diesem Kreislauf scheidet sich das Weltmeer aus, das als Sammelbecken für gewisse Elemente dient ..." Nicht alles Sediment würde wieder aufgeschmolzen.

Vor allem NIEUWENKAMP (1966, 1968; B. GREGOR 1990) hat ausgebaut, daß wohl **alles Gestein** der Erde **immer wieder in den Kreislauf** einbezogen waren, auch die abgesunkenen Sedimente, die nach der Metamorphosierung wieder Magma wurden und somit HUTTON seiner Wiederaufschmelzen von Sedimenten am Meeresboden die richtigen Gedanken hatte. Es gab kein noch nie in den Erdmantel oder in das Weltmeer oder die Atmosphäre eingetretenes 'juveniles' Magma aus der unbekannten Tiefe, also kein Magma, das noch nie vorher das Tageslicht sah. Alles Magma war dann "resurgent" (W. NIEUWENKAMP 1968, S. 363). Das war denkbar, wenn die Erdgeschichte lang genug war und die Entdeckung einer ausreichenden Wärmeabgabe durch die radioaktiven Stoffe schuf dafür die Voraussetzung, die Prämisse. ROSENBUSCH hatte dann Unrecht mit der Behauptung "Die Eruptivgesteine sind zu geologischer Gestaltung gelangte Teile des schmelzflüssigen Erdinneren" (zit. b. W. NIEUWENKAMP 1965, S. 468). Würde, nach Überlegungen NIEUWENKAMPs (1965, S. 469) über den durchschnittlichen jährlichen Ausstoß für vulkanisches Material für die Eruptivgesteine verlangt, "daß dies alles juveniles Material ist, daß es sich also nicht um Vulkanite handelt, die im Kreislauf mehr als einmal an die Oberfläche gebracht wurden, so ist für die 3×10^9 Jahre mit einer globalen Schichtdicke von 12 km zu rechnen, das sind 25 km auf dem Festland und 5 km auf dem Meeresboden." Auch für die Eruptivgesteine würde dies "die Annahme von einem Kreislauf für den größten Teil der gesteinsbildenden Substanzen nahe legen" (S. 470). Kam Granit zustande durch Aufschmelzen abgesunkener Sedimente oder auch metamorpher Gesteine, dann war das "**Raumproblem**" obsolet geworden, war nicht nötig anzunehmen, daß Massen von aus der Tiefe aufsteigender granitischer Schmelze sich durch Anheben

darüberlagernder Massen Platz schaffen mußten. Als Zeugnis für die Richtigkeit der Auffassungen von NIEUWENKAMP konnten **Experimente über Aufschmelzen von Sedimenten** dienen, und NIEUWENKAMP (1968) führt WINKLER an, der Ton (clay) unter Hitze und Druck mit Wasser und Kochsalz/NaCl behandelte und angibt, ein granitähnliches Gebilde erhalten zu haben (S. 365, 367). Granit - wohl aus verschiedener Herkunft sollte so entstehen. Gelöst erschien der Widerspruch bei Gneis, dem aus magmatischem Gestein gebildeten Orthogneis und dem von Sedimenten herkommendem Paragneis, eine "**Konvergenz**" in der Gesteinsbildung, eine Bildung ähnlicher Gesteine aus unterschiedlichem Ausgangsmaterial (1968, S. 368). **Kreislauf in den Tiefen der Ozeane** sollte sich unterscheiden von dem Kreislauf mit Material vom **Festland**, denn auf dem Festland gab es die festländische Verwitterung, jedenfalls ein ganz andere Verwitterung als in Meeres-tiefen, mit der Entstehung anderer Verbindungen "the basaltic oceanic metabolism is standing in such a marked contrast to the granitic continental one" (S. 371). Aber landnahe Meere nahmen vom Land stammende Materialien auf und das war zu berücksichtigen.

Was auch Gesteinskreislauf hieß, ist ebenso eher ein **Kreislauf** von einzelnen Gesteinsbestandteilen, der einzelnen **Minerale** und ihren Umwandlungsprodukten, also ihrer Substanzen. Es entstand die Kenntnis vom **Kreislauf der einzelnen chemischen Elemente**. die **Geochemie**.

Immerhin gibt es **recht alte Gesteine**. Um 1961 galten als älteste bekannte Gesteine (s. K. R. MEHNERT 1965, S. 115) solche auf der **Halbinsel Kola**, maximal 3,6 mal 10 hoch 8 Jahre alt, und durchaus nicht prinzipiell anders aussehend als spätere Gesteine. Das wäre dann minimal der Beginn der "geologisch überschaubaren Entwicklungszeit der Erdkrinde", was den Beginn der "prägeologischen Zeitrechnung" also auch im Vergleich zum Gesamtalter der Erde von vielleicht 5 Milliarden Jahren doch sehr alt sein läßt. Die Halbinsel Kola mochte dann jedenfalls nach der STILLEschen Vorstellung der älteste Kern Ur-Europas (S. 115) sein.

Wegen seiner **Widerstandsfähigkeit** lief durch die verschiedensten Gesteinsbildungen das **Mineral Zirkon, $Zr + SiO_3$** , das tief im Inneren der Erde, vor allem in granitischen Schmelzen entstand, auch über 4 Milliarden Jahre alt sein kann. "Kein anderes Mineral übersteht Versenkung und Gebirgsbildungen ähnlich unbeschadet" und in vielen Gesteinen kommen Zirkone vor (O. TIETZ 2012, S. 24). Spuren fest eingebundener radioaktiver Elemente in den Zirkonkristallen erlauben ihre Altersbestimmung.

Auch später und bis ins 20. Jh. zunehmend wurde erörtert, inwieweit aus dem gegenwärtig vorliegenden Charakter eines Gesteins auf ursprüngliches Gefüge und ur-

sprünglichen Mineralbestand geschlossen werden kann oder inwieweit sich ein Gestein nach seiner Bildung verwandelt hatte (H. HARRASSOWITZ 1931). Früh in der Geologiegeschichte wurden die kristallinen Schiefer als Ergebnis einer nachträglichen Gesteinswandlung erkannt, ebenso die aus Pflanzenmaterial entstandenen Kohlen bis hin zu Steinkohle und Anthrazit, und im 20. Jh wurde auch diskutiert, daß die Zechsteinsalze und auch Erzlagerstätten, namentlich der Sulfide, nicht 'protogene' Bildungen sind. HARRASSOWITZ (1931) nannte als **Umwandlungsstufen in unterschiedlicher Stärke: Verwitterung, Anchimetamorphose, Metamorphose**. Das führt zu den (gesondert behandelten) metamorphen Gesteinen (s. unt.).

Die eine Hypothese / Theorie: Gleiche Gesteinsbildung in allen Zeitaltern

Ein **Wandel der Gesteinsbildungsvorgänge** in der Erdgeschichte hatte etwa WERNER mit dem mit der Zeit sich ändernden Urmeer angenommen. Dann aber wurde von vielen Geologen die dem Aktualismus entsprechende Ansicht vertreten, daß bei den meisten und vor allem bei den aus Schmelzfluß entstandenen Gesteine **zu verschiedensten Zeiten dieselben Gesteinstypen** entstanden. TSCHERMAK hatte das 1869 begründet. Es wurde also (L. MILCH 1910, S. 37) "schon lange" der 'alte Glaube' abgelegt, "dass für bestimmte Zeiträume der Erdgeschichte bestimmte Gesteine für den ganzen Umfang der Erde charakteristisch sind-" Auch Sedimente vor Milliarden Jahren waren nicht grundsätzlich anders (W. NIEUWENKAMP 1965). Nur die Organismen sollten wegen der Irreversibilität der Evolution bei den von ihnen bewirkten Sedimentationsvorgängen Veränderungen in der Zeit bewirkt haben, also mit der Evolution neuartige Sedimentarten hervorgebracht haben.

Der unten noch zu besprechenden Zeitgebundenheit etlicher Gesteine trat etwa ROSENBUSCH entgegen, nahm dem 'geologischen Alter' für die Gesteinsbildung jede Bedeutung. Gewiß gäbe es **Granit oder Gneis** häufiger in älteren Formationen. Schon B. VON COTTA hatte darauf verwiesen, daß diese **Altersgebundenheit** wohl nur **scheinbar** besteht (E. KAYSER 1893), weil der Granit sich in großer Tiefe bildet. Damit dieses Tiefengestein bis an die Oberfläche kommt und hier durch Verwitterung freigelegt wird, waren oft lange geologische Zeiträume erforderlich. Jüngere Granite sind also wohl vielerorts noch in der Tiefe, wenn auch nicht alle. Basalte und Trachyte andererseits sind junge oberflächengebundene Erstarrungsprodukte und von ihnen wurden gerade die älteren meistens abgetragen. Wie E. KAYSER 1893 (S. 470) betonte, sind dort, wo "infolge besonders starker Dislokation ausnahmsweise jugendliche Tiefenerstarrungsproducte an den Tag" ge-

langten, keine Unterschiede zu viel älteren Dioriten, Syeniten, Graniten und Gabbros vorhanden. E. KAYSER führte als Beispiele 1893 mesozoische Granite von Predazzo in Süd-Tirol und gar tertiäre Granite von der schottischen Insel Mull und im westlichen Nord-Amerika an. Alte Gesteine mit den Merkmalen jüngerer Ergugesteine aber zeigten Porphy- und Diabastuffe im Silur und Devon und finden sich bei Mandelsteinen, Gläsern und Gekröselaven im rheinischen Devon. E. KAYSER meinte zur Altershäufigkeit von verschiedenen Gesteinen 1893 (S. 470): "Man muss vielmehr annehmen, dass Gesteine von jeder Beschaffenheit und Structur zu jeder Zeit entstehen konnten. Granit und Obsidian sind nur die Endglieder einer langen Kette, Obsidian ist der chemischen Zusammensetzung nach Äquivalent des Granits. Dasselbe Magma, das sich oberflächlich zu Trachytglas verfestigt, erstarrt in grösserer Tiefe als Quarzporphyr und in sehr grosser Tiefe als vollkristalliner Granit". WERNER hatte das noch nicht erkannt, weil er die Hebungen und Senkungen der Erdkruste nicht erfaßt hatte, überhaupt jede Gesteinsbildung in der Tiefe nicht kannte und auch die Kräfte der Abtragung ihn nur wenig beschäftigten

Etwa in Sachsen und allein in der Elbtalstörungszone wurde deutlich, daß auch in einem großen Gebirgsbildungsprozeß gebildete Granite nicht alle auf dieselbe Intrusion zurückzuführen, also innerhalb der Varistischen Gebirgsbildung mehrere Granitintrusionen stattfanden (H. GALLWITZ 1940). So in einer zweiten Phase, im Anschluß an die erzgebirgische, entstand der Meißener Syenit. .

Die andere Hypothese/Theorie: Irreversibler Wandel der Gesteinsbildungsvorgänge auf der Erde im Verlaufe der Erdgeschichte - also doch manche Zeitgebundenheit von Gesteinen

Der Auffassung von der Zeitungebundenheit der Gesteine stand aber fast immer auch die Ansicht gegenüber, daß manche Gesteinstypen auch gerade bei den **plutonischen Gesteinen**, und das war nun die andere Theorie, **an bestimmte Perioden** im Fortgang der Erdgeschichte **gebunden** sind. Das erschien nicht verwunderlich, wenn an die irreversible Abkühlung der Erde gedacht wurde. Das würde dem reinen Aktualismus nicht ganz entsprechen, bei aller bleibenden Gültigkeit von Physik und Chemie auch bei nicht immer denselben Vorgängen.

Gebundenheit von bestimmten Gesteinsarten an bestimmte Perioden in der Erdgeschichte sah etwa 1868 VON RICHTHOFEN. Während unter den Eruptivgesteinen im Erdaltertum zuerst die Granite überwogen, das Perm vom Porphy- dominiert war, erschienen nach seiner Ansicht Basalt und dunkle Eruptivgesteine vor allem erst in der Erdneuzeit. In Nordamerika unterschied RICHTHOFEN eine alte grani-

tische Ära, eine folgende porphyrische Ära, eine zweite granitische und eine zweite porphyrische Ära, eine der europäischen ähnliche vulkanische Ära. In den früheren Erdperioden sollten die 'sauren, spezifisch leichteren' Gesteine vorgeherrscht haben, dann die basischen, wie auch K. A. LOSSEN 1883 annahm. Auch E. KAYSER (1893) diskutierte, ob infolge der auf die Abkühlung zurückzuführenden steigenden Dicke der Edkruste Eruptionen aus immer größerer Tiefe emporkommen und deshalb die Gesteine immer 'basischer' werden, also der Gesteinscharakter sich mit der Zeit grundsätzlich änderte.

Über mögliche Zeitgebundenheit bestimmter Gesteine diskutierte im 20. Jh. SALOMON-CALVI. Änderungen der Gesteinsbildung gab es etwa in H. STILLES geotektonischen Zyklen, stark präzisiert, auch verändert.

Einmalige und seltene Bedingungen mochten durchaus manchmal lokal geherrscht und dann petrographische Besonderheiten hervorgebracht haben. Aber wie bereits betont: Wo Organismen mitspielten, stand es ohnehin anders.

Plutonische und eruptive Gesteine und ihre Verwertung als Zeugnisse ihrer Bildungsumstände und damit der Erdkrustengeschichte

Aus den Sedimentgesteinen und ihrem Fossilgehalt die Umstände ihrer Bildung abzuleiten war eine alte Angelegenheit der Geologie. Für die plutonischen und die metamorphen Gesteine wurde erst in der zweiten Hälfte des 19. Jh. deutlich, daß auch sie die Merkmale von Bildungsumständen bewahrten, von **Bildungsumständen tief** in der Erde oder eher nahe der Erdoberfläche, **sichtbar, wenn** sie aus den größeren Erdtiefen **emporgehoben** und durch die Verwitterung und Abtragung freigelegt wurden. Über die Herkunft der die Eruptivgesteine bildenden Magmen hat, wie schon erwähnt, NIEUWENKAMP (1965), bisherige Vorstellungen verändert. Die chemisch-kristallographischen Feststellungen zu den Eruptivgesteinen wurden davon nicht so berührt und behielten ihren Wert.

NAUMANN (J. G. BURKE 19), sah bei den plutonischen Gesteinen die Bildungsumstände, die Genese, vor allem in der "Textur", wie er es nannte, überliefert und unterschied kristalline, klastische und hyaline (glasige) Gesteine. Die Gesteine allgemein, aber namentlich auch die plutonischen Gesteine als geologische Körper zu erfassen, als Zeugnisse bestimmter Umstände ihrer Bildung, wurde in Deutschland namentlich von den miteinander befreundeten Geologen K. A. LOSSEN und ROSENBUSCH (L. MILCH 1914) verfolgt.

Auch **Lavaflüsse** können sich **so aufeinanderlagern**, daß es **ähnlich Sedimen-**

ten aussieht. Aber sie sind ohne Fossilien.

KARL A. LOSSEN, der Geologe wie Petrograph war, wirkte als Mitarbeiter der Kgl. Geologischen Landesanstalt in Berlin und hatte sich besonders bei der geologischen Erforschung des Harzes hervorgetan. Er brach mit der in der Petrographie bisher fast allein üblichen Untersuchung nur der gesammelten Handstücke von Gesteinen und forderte die Berücksichtigung der **Lagerungsformen der Gesteine in der Natur**. Der "Stoff der Gesteine" wurde nach LOSSEN (1872, S. 784) "erst durch sein geologisches Vorkommen zum geologischen Stoff ..." Gesteine erschienen also demnach auch und für den Geologen vor allem als 'Verkörperungen geologischer Bildungsgesetze' (K. A. LOSSEN 1883), und aus den Gesteinsmassen und ihren Eigenschaften sollte ein möglichst tiefer Einblick in die Entstehungsgeschichte 'dieser Naturkörper' gewonnen werden. "Die Structur", meinte LOSSEN (1883, S. 512), "nicht die chemisch mineralische Durchschnittszusammensetzung ist in erster Linie die Trägerin der geologischen Verwandtschaft der Gesteine, sie muss darum auch nothwenigerweise in der Definition des Gesteinsbegriffes eine angemessenere Stelle als üblich finden". Auffällig war auch, daß gleichartige Gesteinsmassen große Räume einnehmen konnten. Ähnlich sah auch RICHTHOFEN (1868) in den Gesteinen Stoffaggregate, aus denen der Geologe die Bildungsbedingungen solcher Gesteine abliest und Aufschlüsse über erdgeschichtliche Vorgänge erhält. Vor allem auch die plutonischen Gesteine fielen durch ihre Wiederkehr gleichartiger Gesteinsarten in den verschiedensten Teilen der Erde auf, was dafür sprach, daß aus den Entstehungsmagmen sich unter bestimmten Bedingungen bestimmte Mineralaggregate absonderten. F. von RICHTHOFEN meinte 1868 (S. 664): "Der unbedeutendste Basaltgang, der mächtige Schichtensysteme durchsetzt, das kleinste Bruchstück von Granit in zusammengeschwemmten Conglomeraten geben durch ihre Zusammensetzung und ihre äusseren Eigenschaften ihre bestimmte Stellung in dem Bereich der durch innere Gesetze verbundenen Gesteine zu erkennen ..."

Die Kristall-Ausbildung zeigt die Abkühlungsgeschwindigkeit der gesteinsbildenden Magmen und so mehr oder weniger die Tiefe einer Magmen-Erstarrung - Unterschiede Porphyry, Gabbro und andere

Vor allem die **Ausbildung der verschiedenen kristallisierten Bestandteile** in einem Gestein sagt Entscheidendes aus über Bildungsumständen der plutonischen und magmatischen Gesteine. Damit hatte dann F. ZIRKEL recht, wenn er ausrief (1904, S. 500): "... eine Geologie ohne Petrographie gibt es nicht..." Erkannt

wurde die Rolle der Bildungs-umstände für die Ausbildung eines Gesteins nach Anfangserkenntnissen von LOSSEN vor allem durch HARRY ROSENBUSCH. Wie LOSSEN um 1883 feststellte, war etwa die Hälfte der Erstarrungsgesteine **vollkristallin**. Andere Gesteine mit ähnlicher chemischer Zusammensetzung aber waren teilweise glasig, 'poprhyrisch', oder eben auch rein glasig verfestigt. Gesteine von gleicher chemischer Zusammensetzung können unterschiedliche 'Textur', wie man damals sagte, besitzen (F. v. RICHTHOFEN 1868). Vor allem dann H. ROSENBUSCH (L. MILCH 1914, E. A. WÜLFING 1914) kam aus seinen Untersuchungen (1882, 1891) zu der Schlußfolgerung, daß die **Struktur**, die **mehr oder weniger vollständige Ausbildung der Kristalle** in einem Gestein, **mit der Dauer seiner Abkühlung zusammenhängt**. Die Struktur wurde als für die geologischen Aussagen aus einem Gestein als sehr entscheidend erkannt, "die Struktur als Trägerin der geologischen Verwandtschaft" (zit. b. O. H. ERDMANNSDÖRFFER 1931, S. 9), über die Lage, in der ein Gestein in der Erdkruste sich ausbildete. Nicht allein die chemische Zusammensetzung aus chemischen Elementen als solche, die aus den Reaktionen der Elemente folgende **Mineralbildung bei der Erstarrung** gab dem Gestein sein Aussehen. **In der Tiefe bildeten die Kristalle sich ruhig** aus, sind mehr oder weniger vollständig ausgebildet. Die zuerst gebildeten Kristalle können die ihnen zukommende Struktur ausbilden, die mit der Temperaturabnahme später sich ausbildenden nicht mehr, was eine '**Idiomorphiefolge**' ergibt, eine Abnahme der Ausbildung der Eigengestalt der Kristalle der nacheinander sich ausbildenden Mineralien (P. ESKOLA 1946, S. 282). Gesteine mit körniger Struktur sah ROSENBUSCH daher als "**Tiefengesteine**." **Eruptivmassen**, die über die Erdoberfläche austreten und dort sich "stromartig ergießen oder kuppenartig überquellen", zeigen in ihrer Entwicklungsgeschichte einen Sprung, einen 'Hiatus', denn nach dem Zeitpunkt ihres Erscheinens an der Erdoberfläche geht die **Abkühlung rasch**. Sie besitzen eine nicht-kristallin erscheinende Grundmasse, in welche die mehr oder weniger groben Kristalle anderer Minerale, die sich ausbilden konnten, eingebettet sind. Das wird als **porphyrische Struktur** bezeichnet. ROSENBUSCH nannte solche Gesteine mit typisch porphyrischer Struktur "**Ergussgesteine**" (1891, S. 383). Die Porphyre im Rotliegenden Nordwest-Sachsens und im Halleschen Gebiet zeugen also davon, daß ihre Bildung aus zumindestens nicht tief unter der Erdoberfläche erstarrenden Magmen geschah.

Ein subvulkanischer 'Basalt', der ganz nahe der Erdoberfläche erstarrte ist der gegenüber dem sonstigen Basalt grobkörnigere **Dolerit** (Wikipedia 2017), der härter als Granit ist und als das von den alten Ägyptern benutzte Material der Werkzeuge für Gesteinsbearbeitung gilt. In der Tiefe entspricht ihm der Gabbro.

Die **Dauer der Abkühlung** und damit die **Kristallausbildung** wird also **stark bedingt durch die Tiefe**, in der das gesteinsbildende Magma erstarrt. Da-



Abbildung 553: Pyroxen-Quarz-Porphyr b. Taucha.



Abbildung 554: Porphyr-Gestein als Pflaster.



Abbildung 555: Porphyr. Findlingspark Nochten.

mit war es gerechtfertigt, ein Gestein je nach der Ausbildung seiner Mineralien, ob alle oder nur teilweise kristallin, in seiner Lage zur Erdoberfläche einzuordnen, es als Ausdruck des Ortes seiner Erstarrung zu sehen, ob, mit wenig deutlichen Kristallen, erstarrt als vielleicht Ergebnis vulkanischer Vorgänge oder eben, mit deutlicher Kristallbildung, vielleicht tiefer in der Erdoberfläche. Damit gibt es je nach Mineralausbildung verschiedene Gesteine ähnlicher chemischer Zusammensetzung, sind solche Gesteine 'Äquivalente' wie **Granit**/Rhyolith und das vulkanische Glas **Obsidian**.

Lakkolithe, in Sedimente relativ nahe der Erdoberfläche eingedrungene Eruptivmassen, wie sie GILBERT in den USA benannt hatte, weisen, was für ROSENBUSCH sprechen sollte, eine vermittelnde Struktur auf. ROSENBUSCH wies auch daraufhin, daß an den Rändern von Tiefengesteinskomplexen porphyrische Strukturen zu erwarten sind, weil hier, an kühler Grenze, die Schmelze relativ rasch erstarrt, jedenfalls schneller als inmitten einer magmatischen Schmelze. Auch das wurde als bestätigt gesehen. Im Inneren großer Eruptivmassen besteht deshalb eine körnige Struktur. Vom Granit des Brockenmassivs mit seinen wohlausgebildeten Kristallen, namentlich "Feldspat, Quarz und Glimmer", wurden von ihm ausgehende lange, schmale Gangspalten untersucht und sie waren wie Ergußgesteine erstarrt (E. KAYSER 1893), trotz also der granitartigen Zusammensetzung wegen der rascheren Erstarrung, sind **Ganggesteine**. "Die Gesteinsmassen der festen Erdrinde", summierte L. MILCH (1914, S. 141) über ROSENBUSCH, "sind die Dokumente, in denen die Geschichte unseres Planeten in eigentlichster Lapidarschrift niedergeschrieben wurde. Die Petrographie lehrt uns diese Dokumente entziffern. ". Dabei hat die mikroskopische Untersuchung manches präzisiert, so wenn ROSENBUSCH fand, daß manche sich dem bloßen Auge als unstrukturiert bietende Grundmasse unter dem Mikroskop doch als kristallin erwies.

Ein Tiefengestein aus basischen Magma, entstanden mit langsamer Abkühlung in mehr als 5 km Tiefe, mit wohlausgebildeten Kristallen ist der dunkle **Gabbro**, wie erwähnt eine von VON BUCH benannte Gesteinsart (Wikipedia 2013). Bei Bad Harzburg ist eine der in Mitteleuropa nicht häufigen Abbaustellen (Wikipedia 2015). Gleitend geht der Gabbro über in den **Peridotit**, den Hauptbestandteil des oberen Erdmantels.

Bei Granit, ob man auf ihm wandert am Brocken im Harz, in der Oberlausitz oder in Westsachsen und auch bei Gneis im Mittelerzgebirge, sollte vielleicht daran gedacht werden, daß er in großer Tiefe, vielleicht 10 km tief entstand. Über den tiefliegenden Bildungsräumen des Granit lag also viel an Masse darüber. Wenn Granit nebenliegende Schiefergesteine veränderte, durch Kontakt "metamorphosierte", in quarzgangdurchzogenen Kieselschiefer verwandelte, dann lag auch der Schiefer schon tief. So in der Oberlausitz, wo durch späteren Aufstieg und Abtragung eventuelle jüngeren Materials der Granit samt der Kontaktzone an alten Gesteinen an die heutige Landoberfläche kam.

Rasch sich abkühlende Magmen erstarren **glasig**, amorph. So entstand etwa der **Obsidian**, aus dem man messerscharfe schwarze Stücke herauszuschlagen verstand - der "Stahl" jener, die, wie die wohl Menschen opfernd aufschneidenden Azteken. ansonsten von der sonstigen Materialversorgung her in der Steinzeit lebten, aber die auch als Werkzeug genutzt der Obsidian aus der Steinzeit im engeren Sinne hinausführte. In der Erdgeschichte entglaste der Obsidian, besaß die Tendenz zur Kristallisation und fehlt daher im Präkambrium und noch im Paläozoikum (Internet 2018). Bei langsamerer Abkühlung entsteht der immer noch glasige **Pechstein**. Der Begriff 'Pechstein' für das Gestein bei Meißen wird für 1758 zurückgeführt auf den naturforschenden Arzt CHRISTIAN FRIEDRICH SCHULZE (Wikipedia 2018), der zur Zeit der Personalunion Sachsen - Polen in Wilna, Warschau und, 1775 30-jährig gestorben, in Dresden. Den quarzarmen Porphyry des **Tharandter Waldes** unweit Dresden durchstieß bei Spechtshausen ein Gang von **Kugelpechstein** (Internet), als letztes der hier emporgestiegenen Ergußgesteine des Obercarbon-Unterperm, der in seiner grauen Masse rote mehr oder weniger kugelige Einsprenglinge aufweist.

Schlüsse aus der Textur von Erstarrungsgesteinen - Granulit etwa anders als Granit

Neben der Kristallausbildung gibt es die **Textur** der Gesteine, die **räumliche Anordnung der Kristalle**, welche auf **Fließvorgänge** im Ausgangsmaterial verweist und das sollte auf die sich unterscheidenden Phasen in einer Orogenese verweisen, Der **Granulit**, Gestein des Sächsischen Granulitgebirges, zeigt die Minerale länger gestreckt als im Granit, und bei KOSSMAT (1925, S. 34) wur-



Abbildung 556: Kugelpechstein. Spechtshausen.



Abbildung 557: Anschauungstafel Kugelpechstein.



Abbildung 558: Textur: Mineralien gestreckt.

de gewagt, aus der vom Granit abweichenden **Textur des Granulit** Aussagen über **Vorgänge bei einer Orogenese**, hier der Varistischen, zu treffen. Nach KOSSMAT (1925 (S. 34), erstarrte der Granulit nicht sehr lange vor dem Granit. Granulit und Granit sollten aus einem "gleichen Schmelzherd stammen ...", wobei der Granulit zur Zeit erstarrte, "als die varistische (altkarbonische) Hauptfaltung in vollem Gange war, so daß die Auskristallisation der Granulite unter Streckung erfolgte, die auch die alte Schieferhülle in ähnlicher Weise erfaßte." Es wurde damit also auf die Auswirkungen einer Hauptphase in einem Faltungsgeschehen verwiesen. Für den **Lausitzer Granit** verwies KOSSMAT (1925, S. 45) auf eine häufige "rohe Längsrichtung der Mineralbestandteile, so daß man von einer "Faser" des Gesteins sprechen könne, und das verwies darauf, daß die Hauptfaltung der Varistischen Orogenese bei der Intrusion des Granits bereits vorüber war, "aber es bestand doch ein Druck fort, der dem erstarrenden Gestein sein Gepäge gab." Abweichend verlief (Fußnote S. 45) die Faserung in der Meißner Syenitmasse, hier nämlich nordwestlich.

Richtung gibt es auch bei den **Körnchen klastischer Sedimente** und auch das liefert geologische Aussagen.

Gänge, Ganggesteine

Von gangförmigen, von dem Umgebungsgestein abweichenden Gestein werden sowohl plutonische Gesteine wie Sedimente durchsetzt. Gänge sind jünger als das Umgebungsgestein. Sie in besonderem Maß geben Anlaß zu Erörterungen über Magmendifferenzierung wegen ihrer abweichenden Zusammensetzung zur Umgebung und auch den Unterschieden untereinander. Manche enthalten Anhäufung

nutzbarer wertvoller Mineralien.

Sedimente, Sedimentgesteine - Das Sekundäre in der Erdkruste - Sekundärgesteine

Sedimente - ihre Vielfalt

Jedes Sedimentmaterial hat eine **sekundäre Herkunft** (a. O. WAGENBRETH 1966), **von irgendetwas, was an der Erdoberfläche schon da war**, damit ihre Herkunft an Material der Erdkruste näher als nur im Gesamtstoffkreislauf in der Erdkruste allgemein. Sedimente, Sedimentgesteine, gibt es in großer Vielfalt. NAUMANN nannte 1840 81 Sedimentsgesteinstypen, ZIRKEL 1866 90 Typen (W. E. TRÖGER 1948). **Für** die Feststellung der Erdzeitalter und so der **Erdgeschichte** sind die Sedimente die **wichtigsten Gesteine**, die Aufhänger für alles. Ihre Erforschung als Gesteine blieb trotz ihrer Bedeutung für die Stratigraphie bei den Petrographen zeitweilig gegenüber der Untersuchung der aus Magma entstandenen Gesteine, eben der primären, zurück, vor allem bei den ganz feinkörnigen und hochauflösende Mittel verlangenden Sedimenten, Ton etwa. CARL W. CORRENS schätzte 1933 (S. 711), daß in der 16 km-Schale der Erdrinde, also so gesehen bis in große Tiefe, die Sedimente etwa 5% ausmachen. 4% dieses Gesamtbestandes an Sedimenten sind die Tone. An der Erdoberfläche ist der Anteil der Sedimente natürlich höher.

Verschiedenste Faktoren wirken **an der Sedimententstehung** mit und brachten die mannigfachen Verschiedenheiten zustande und lassen die Schlußfolgerungen auf die Entstehungsbedingungen nicht immer einfach sein (K. ANDRÉE 1911, C. W. CORRENS 1948). Daß es nicht nur im Wasser gebildete Sedimente gibt, sondern auch gewaltige festländische Ablagerungen zustandekamen, in Senken, etwa **Wüstenbecken**, hob J. WALTHER in das allgemeine Bewußtsein. Die Verschiedenheiten entstehen durch die **Art der Verwitterung**, ob durch mechanische, chemische oder organische Faktoren, und den **Transport**, durch Gletschereis, Wasser, Wind, subaërische Eruptionen oder Organismen, ob Ablagerung auf dem festen Lande, im Süßwasser, in Salzseen, im Meere, ob küstennah oder küstenfern, ob in tiefem oder in flachen Wasser. Sedimente entstammen natürlich nicht nur Primärgesteinen, sondern sobald **Sedimente an die Erdoberfläche** kamen unterlagen auch sie der Verwitterung und bildeten Material für nun sekundäre Sedimente, für **Sedimente aus Sedimenten**. Sandstein lieferte Sand, der wiederum verbreitet und anderswo abgelagert werden kann.

Für **viele Sedimente** ist **Schichtung**, Bildung von **abgrenzbaren 'Straten'**, vorhanden, gar typisch, und der **Wechsel** im Aussehen, in der Stärke, in der



Abbildung 559: Sandstein auf der Kaiserkrone.

Form und Größe der faßbaren Bestandteile, in der chemischen Zusammensetzung der Schichten läßt die wechselnde Ablagerung und damit die **sich ablösenden** und aufeinanderfolgenden **erdgeschichtlichen Vorgänge** aufklären. Selbst der auf den ersten Blick so einheitlich erscheinende Sandstein des Elbsandsteingebirges besitzt aufeinanderfolgende Schichten, getrennt durch Schichtfugen, und die Schichten konnten mit unterschiedlichem Erfolg in eine Schichtfolge, Tabelle, gestellt werden.

Ungeschichtet sind Löß und Gesteine chemischer Abscheidung, Salze und mancher Kalk.

Nach ihrer verschiedenen **Entstehung** lassen sich vor allem unterscheiden die **völlig verschiedenartigen** Sedimente 1. die **mechanischen** Sedimente, wie Sand, Geröll, also die **klastischen** Sedimente, die relativ **grobkörnigen**, und dann sich ihnen anschließend ganz **feinkörnig** Ton, Löß, 2. die sich aus Wasser niederschlagenden **chemischen** Sedimente, die **Evaporite**, ohne Schichtung, aber mehr oder weniger getrennt nach der Art des Evaporites, der verschiedenen Salze, 3. wo die Chemie auch mitwirkt: die **biogenen** Sedimente, entstanden unter Wirkung oder wenigstens Mitwirkung von Organismen. Zu den biogenen Sedimenten gehört ein großer Teil des Calciumcarbonats, also der Kalksteine, und wohl auch des Dolomit. Manche biogenen Sedimente bestehen nur oder fast aus Fossilien, Mikrofossilien, etwa Kreide und Kieselgur.



Abbildung 560: Sandstein. Schichten. Uttewalder Grund.

Unveränderte, also nicht metamorphosierte und nur begrenzt veränderte Sedimente gibt es erst seit dem **Kambrium** (s. a. W. VON ENGELHARDT 1959, S. 95). Die in den geologischen Schichten abgelagerten Sedimente sind zu einem großen Teil in Flachmeeren abgelagert worden, andere sind festländisch, während manchmal vermutete Tiefseebildungen meistens anders zu deuten waren. Sieht man nur die Ablagerungen, wird also nur ein Teil der Entwicklungsgeschichte des Planeten Erde in den Sedimenten erfaßt (G. STEINMANN 1910). Die für die Erdgeschichte so wichtigen klastischen bis feinkörnigen und biogene Sedimente sind jene Gesteine welche **Fossilien** enthalten, wenn man von einigen verzerrten Fossilresten in nicht allzu stark veränderten metamorphen Sedimenten absieht. Die **Porosität** etlicher Sedimente machte sie zu Speichern für **Erdöl**.

Wenige Sedimente blieben nach ihrer Ablagerung unverändert. Bei mechanisch entstandenen Sedimenten konnten durch Wasser herangeführte Substanzen die Bestandteile, so die **Sandkörner, miteinander verbinden** und damit die Ablagerung verfestigen. Das gilt namentlich für den nicht mehr so leicht wie vergrieselbaren Sandstein, aber auch für Konglomerate.

Bei unveränderten mechanischen, klastischen Sedimenten von **Geröll-Größe** ist der **Gesteintyp zu erkennen** und damit meistens auch die Herkunft. Das gilt für die Gerölle aus Gebirgen, auch aus abgetragenen alten. Es wurde diskutiert (A. JENTZSCH 1873, S. 737), in einem klastischen Gestein nicht allein die 'Bildungsart' zur Namengebung zu verwenden, sondern vor allem gemäß NAUMANN

(zit. von A. JENTZSCH 1873, S. 737) auch die Natur der Bestandteile, also "... so wichtig, in einem Conglomerate die petrographische Natur seiner Geschiebe zu bestimmen, als in einem krystallinischen Gestein die Natur seiner Gemengteile", weil das "zu manchen Folgerungen über die Bildungszeit und die Herkunft des klastischen Gesteins gelangen lässt." Und noch (A. JENTZSCH 1873, S. 738): Es "müssen Rheinkies und Elbkies petrographisch (wie geologisch)" - also hinsichtlich ihrer Entstehung - "als äquivalent betrachtet werden, obwohl die Natur ihrer Bestandtheile verschieden ist." Abgelagertes **Feinmaterial, feinklastisches Sediment**, ist im allgemeinen nach seiner Herkunft weniger sicher zu deuten (W. HEEGER 1915, S. 454),

Feinmaterial wird etwa im fließenden Wasser oder in der Atmosphäre durch Wind mehr oder weniger in verschiedenartige Bestandteile **getrennt**, wird selektionierte.

Durch mechanische Vorgänge mit Konzentrationsvorgängen entstandene Lagerstätten - Seifen

'Seifen' genannt werden in der Geologie und Lagerstättenkunde **durch bewegtes Wasser angehäuften Konzentrationen** von harten Metallen wie Gold oder Platin oder auch von Erzen, wie denen von Zinn, dem Zinnstein. Bewegtes Wasser konnte solche Materialien anhäufen **in Wasserläufen oder an Küsten**, versenkt können Seifenlagerstätten auch in älteren Formationen vorhanden sein. Jede Seifenlagestätte mußte auf eine mehr oder weniger entfernte Primärlagerstätte zurückgehen, noch vorhanden, ausgebeutet oder gar noch unentdeckt. Seifen, auch noch in Bildung befindliche, werden seit altersher ausgebeutet, so durch die Goldwäscher an Flüssen, vor langer Zeit schon etwa am Rhein, an Flüssen des Böhmerwaldes oder im östlichen Thüringer Wald. Das "Rheingold" ging in die deutsche Sagenwelt ein. Auch das "Schwarzagold" in Ostthüringen wurde schon vor Jahrhunderten ausgebeutet. Leute sollen von Italien gekommen sein, 'Venetianer', die hier ausbeuteten. Wie ein Klein-'Klondike' in Thüringen? Seifenbergbau an Wasserläufen auf Zinnstein gab es vor Jahrhunderten im Erzgebirge. Die "Seifengabel" erscheint im Stadtwappen von Krupka /Graupen und Eibenstock.

Seifen gibt es in jungen Flußablagerungen, aber es gibt ebenso **verfestigte Seifen** in älteren, ja **uralten Sedimenten**. Manche wichtige Lagerstätte von gediegenen Metallen, so von Gold und Platin, aber auch von Erzen, sind Seifenlagerstätten.

Anhäufung wichtiger Materialien gibt es auch in **Meeresküsten**. **Thorium**, benötigt für das 1885 aufgekommene **Gasglühlicht**, wurde gewonnen aus **Monazitsand**, angehäuften an Meeresküsten, abgebaut seit der 1880-er-Jahre an der Küste von Brasilien mit bald der Lieferung von bis 80% des Weltbedarfs, dann auch gewonnen

in den südlichen USA, ab 1911 in Süd-Indien (A. R. CHAKHMOURADIAN et al. 2012, S. 338). **Monazit** (H. SCHNEIDERHÖHN 1962, S. 210) ist "das schwerverwitterbare thoriumhaltige Phosphat der Cererden", also Seltener Erden.

Primär findet sich Monazit in "besonderen Pegmatitgängen des Hinterlandes, und hier gibt es auch weitere Mineralien der Seltenen Erden. Monazitsande fanden sich demgemäß auch an Bächen und Flüssen im brasilianischen Staat Minas Gerais und dann "mehrere hundert Kilometer" weit an der Küste von Mittelbrasilien. Der Wert der Monazitsande bestand zuerst im Thorium, aber dann wurde die 'Cererden', also der Bestand an der Seltene Erde Cer, wertvoller, machten dann "allein den Wert des Monazits aus. Bis 1912 produzierte Brasilien pro Jahr im Durchschnitt zwischen 3000 und 4000 t Monazit.

JOHANNES WEIGELT (1948), Nachfolger von WALTHER in Halle, untersuchte wie sowohl rezent als auch fossil Leichenfelder, Knochenlager (bone beds), Bruchschill von Weichtierschalen und vor allem auch Seifen-Lagerstätten zustandekamen. Im Nordharzgebiet um Salzgitter gab WEIGELT die richtige Voraussage der Ausdehnung und der Vorräte von Eisenerzen, die zur Grundlage der 1937 begründeten "Reichswerke Hermann Göring" wurden und womit der Geologe zu Aufrüstung für den Zweiten Weltkrieg beitrug. Als weltanschaulich auf dem Boden der HITLER-Jahre stehender Rektor der Universität Halle wurde er nach dem Rektorwechsel 1945 noch Gaudozentenführer und, von den Amerikanern abgeführt, wurde er von der Universität entlassen und starb verbittert 1948 in einem Dorfe in Hessen.

Schwierig zu ermitteln ist die Herkunft der sich niederschlagenden gelösten Stoffe. Sedimente können auch aufgewirbelt werden, bilden 'dünnflüssige Trübestrome' und das lagert sich dann als feiner Schluff ab, im Malm in Regionen zwischen Schwammriffen, wie es für die Solnhofener Schiefer, die 'Plattenkalke' gilt, Ergebnis von '**Resedimentation**' (H. TEMMLER 1964, S. 100).

Ausbeutung von Seifen-Lagerstätten an Bächen, Flüssen oder auch an Meersküsten hat **zerstörend** gewirkt und nur das Weiterwirken des fließenden Wassers oder der Wellen an Küsten schufen wieder ein normales Bild.

Vieldeutigkeit bei Sedimenten

Über manche Sedimente gab es im Verlaufe der Geschichte unterschiedliche Auffassungen. Auch bei großer genetischer Verschiedenheit der Sedimente können weitgehende chemische Übereinstimmungen bestehen. Selbst bei **Dolomit** wurde gesehen, daß er, in der Mehrzahl der Fälle, im Meere zustandekommen kann, aber auch unter angenommenen kontinentalen Ablagerungsbedingungen, so im Rotliegenden von Heidelberg. Ein **Sandstein**, einem klastischen Sediment, kann seiner



Abbildung 561: Oberer Buntsandstein. Dahn.

Herkunft nach gedeutet werden "als verhärteter Wüstensand auf dem Festland, als Sandbank im Süßwasser, als Düne an der Meeresküste oder als Bodensatz in den randlichen Partien flacher Meeresteile" (K. ANDRÉE 1911, S. 69). Etwa FRITZ KERNER-MARILAUN (1934, S. 24 ff.) verwies auf die Vieldeutigkeit gerade mancher **klastischen Sedimente**, so im **Buntsandstein** (s. a. J. WALTHER).

Der Buntsandstein wurde manchmal als Ablagerung im Wasser angesprochen, dann wieder als festländische Ablagerung in einem Wüstengebiet. Es gibt in manchen Schichten Fußabdrücke von offensichtlichen Landtieren, gibt Trockenrisse wie in austrocknendem Schlamm und Krebschen (Estherien) wie in Tümpeln und gibt auch Muscheln. Ein küstennahes Flachland mit Wüstencharakter und wechselndem Meeresgestade mag der Deutung nahekommen, was aber Aufklärung der Einzelereignisse nicht entbehrlich macht. Kreuzschichtung, wie sie in manchen Schichten des Buntsandsteins häufig auftritt, kann bei Wüstendünen wie auch bei Stranddünen auftreten, aber auch bei von Flüssen und Gletschern abgesetzten Sandmassen und am Meeresgrundsand. Teile der germanischen Trias erfuhren dementsprechend unterschiedliche Deutung (R. BRINKMANN 1948).

Als die ersten Erkenntnisse über Tiefsee-Sedimente gewonnen wurden, sahen manche Geologen in der **Schreibkreide** ein Äquivalent des in den Meerestiefen nachgewiesenen Globigerinenschlammes (F. KERNER-MARILAUN 1934). Manche in der Schreibkreide gefundenen Tierfossilien schienen rezent wenigstens Verwandte in größeren Tiefenstufen zu haben und deshalb selbst Tiefentiere zu sein. Von Wir-

beltierresten gab es in der Kreide nur Zähne, nicht Knochen, was mit der Auflösung der Knochen beim Absinken in die großen Tiefen erklärt wurde. Aber etliche Muscheln der Schreibkreide, Gryphaeen und *Inoceramus*, sowie Bryozoen sprachen für eine geringe Tiefe der Kreidebildung. In Belgien weist die Kreide Sedimentationslücken auf und das spricht für Entstehung in Landnähe. Ähnliche Verhältnisse fand man in den USA.

Feinuntersuchung der Einzelbestandteile von Sedimenten

Sedimente werden längst nicht mehr nur in ihrer Gesamtheit betrachtet, als allein mit bloßen Auge beschriebene Schichten. ZIRKEL hatte vor allem die **Eruptivgesteine** mit noch weitgehend üblichen Mikroskopen auf ihre Einzelbestandteile untersucht, was für feinkörnige Sedimente wie Lehm oder Ton so nicht möglich war.

Für die Entstehung der klastischen, namentlich der durch bewegtes Wasser gebildeten Sedimente, auch längst hart gewordener, uralter, wurde das auch winzige, ja nur **mikroskopisch untersuchbare Einzelkorn** zu einem Untersuchungsobjekt. Aussagen zur Sedimentbildung wurden dabei angestrebt. DAUBREE (so C. W. CORRENS 1938, S. 208) hat untersucht, bis zu welcher **unteren Korngröße Quarz im Wasser** zerkleinert wird und gelangte zu der Auffassung, daß die "unterste Korngröße, bei der noch Abrollung im Wasser stattfindet, 0,1 mm ist. Aber es konnte, wie C. W. CORRENS (1938, S. 208) und andere feststellten viel geringere Korngröße, bis 0,06 mü hinab, gefunden werden: "Bei sehr langsam fließenden Strömungen werden noch sehr kleine Körner auf dem Boden gerollt" Auch durch Wind. "Feine Splitter entstehen auch bei den Mahl- und Schleifvorgängen der Flüsse und der Brandung und schließlich können auch größere Teilchen durch Auflösung allmählich feinkörnig werden." Für den Buntsandstein hatte W. HEEGER (1915, S. 454) mikroskopische Kornuntersuchungen durchgeführt und Schlußfolgerungen für den Transport, Wind wehte in Wasser (s. u.), abgeleitet. Es war etwa namentlich ANDRE'CAILLEUX, Paris, der die **granulometrischen und morphometrischen Untersuchungsmethoden** (E. KÖSTER 1962) ausbaute. Rundung, Abrollung, Schlankheit, Abplattung, Symmetrie und Dissymmetrie, oft schwierig in eine klare und vergleichbare Beschreibung zu bringen, waren solche Merkmale an Steinen und Mineralien. Neben der Beachtung von Schichtungsform und Fallrichtung werden **Sortierungsgrad und Aussehen der Körner** genutzt, um die **Strömungsrichtung** in einem durch bewegtes Wasser abgelagertem Sediment festzustellen. Im **glazialen Klima** abgelagerte **Steine sind eckiger** als im Inter- und Postglazial abgelagerte. Bei Grundmoränen-Geschieben fand sich ein geringerer, bei Endmoränen-Geschieben ein höherer **Zurundungswert**. Ma-

rine Küstengerölle erwiesen sich als ausgezeichnet durch hohe Zurundungsindizes und sind ohne Achseneinregelung wegen "der Gewalt der aus verschiedenen Richtungen auf den Strand treffenden Wellen" (S. 113). **Fluviatile Gerölle** zeigten sich vorwiegend gerundet oder stark gerundet, der Grad wechselt mit den Transportbedingungen. Eingehend untersucht wurden etwa Flußterrassen, die teilweise hoch über dem heutigen Flußpegel, für Kies- und Schottergewinnung aufgeschlossen sind. Aus der Zählung der den verschiedenen Gesteinen zugehörigen Steinen in einer solchen Flußablagerung läßt sich das Einzugsgebiet des Flusses ermitteln, auch die eventuellen Änderungen. Gewiß wurden die verschiedenen Gesteine unterschiedlich stark zerrieben.

Manche feinkörnigen Sandsteine wurden abgebaut, um, **Stubensandstein**, als **Stubensand** Verwendung zu finden. Der Name 'Stubensandstein' blieb für manche Sandsteinlagen in verschiedenen Formationen erhalten. Stubensandstein war Scheuermittel und ist durch chemische Scheuermittel ersetzt worden.

Der Sandstein im Elbsandsteingebirge

Vom Sandstein, 'Quadersandstein, im Elbsandsteingebirge, vom **Elbsandstein** wurden 1953 vom Staatlichen Museum für Mineralogie und Geologie in Dresden unter HANS PRESCHER (zit. aus R. VOGEL 1957, S. 112) an der 72 m hohen Wand eines Steinbruchs bei Wehlen 166 **Sandsteinproben** aus dem Turon entnommen und "auf Mineralbestand, auf Korngröße, Korndurchmesser, Abrollungsgrad der Mineralien u. a. m. untersucht." 98% des Sandsteins war Quarz, der auf den Zweiglimmergranit und den Granodiorit der Lausitz zurückzuführen war. Der Wechsel der Korngröße verwies auf Veränderungen am Meeresboden, auf Senkungen und Hebungen, etwa größere Küstennähe lieferte gröbere Massen. Auch das tonige Bindemittel verwies auf "die Lausitz als Sedimentlieferant" (S. 113). Mancherorts fällt der Elbsandstein auch durch eigenwillige Verwitterungsformen auf, bedingt durch Härteunterschiede oder Bestandteile in ihm, abgesetzt etwa durch in ihm ausgeschiedenes Wasser.

Fein- bis großkörnige Lockermassen

Lehm, Ton, Sand, Kies sind unabdingbar für jedes Bauwesen, ob Bau von Gebäuden, Verkehrswegen oder Tiefbau. Es wurden reine Lehmbauten aufgeführt, aber Lehm auch zu Ziegeln gebrannt. Schotter und Splitt als gebrochene Hartgesteine, aber auch Kies und Sand sind die Zuschlagstoffe für Beton (O. WAGENBRETH 1971, S. 408). An manchen Flüssen im Vorland der Mittelgebirge gibt es hoch über dem



Abbildung 562: Sandstein Wabenverwitterung.

heutigen Flußlauf gewaltige Schotterterrassen aus dem einst höherliegenden Flußniveau und die Vergletscherung etwa Nord-Deutschlands ließ dort Lehm, Sand und Kies in großen Massen zurück. Die eigenständigen Eigenschaften dieser Materialien in den verschiedenen Lagerstätten, etwa die "technologisch äußerst wichtige Kornverteilung in den Sand- und Kieslagerstätten" (S. 409) sind für ihre Nutzung wichtig und sie wurden gerade in neuerer Zeit eingehend erforscht. Nur an wenigen Standorten findet sich der möglichst aus reinem und damit hellen Quarz bestehende **Glassand**. Im östlichen Deutschland waren vor allem zu nennen Werfelingen nordwestlich Magdeburg und Hohenbocka in der Niederlausitz (O. WAGENBRETH 1971, S. 406).

Feinklastisch - die Tongesteine

Ton und **Lehm**/Clay sind auch ein **Gestein** (s. D. W. BRUCE et al. 1992, S. 296), **Ton'gesteinen'**, , Sind Bestandteil oder Ausgang vieler Sedimente in der Erdgeschichte. Metamorphosiert entstanden aus clay die **Phyllite**, die **Tonschiefer**, schon lange benutzte Begriffe. Ton/Lehm bestimmen viel von den Ablagerungen des Quartär. Tongesteine sind mit 50-80% unter den Sedimenten die häufigsten Sedimentgesteine (s. a. D. W. BRUCE et al. 1992, S. 296). Aus Ton/Lehm/clay bilden sich die **besten Böden**. Sie sind gute **Ionenaustauscher**, wirken auch katalytisch. Sie galten als amorphes, nicht näher definierbares 'Kolloid', bei dem man sich mit der Elementaranalyse begnügen mußte. Noch JOHANNES WALTHER (so zit. bei O. WILCKENS 1938, S. 545) meinte 1935: "Der Boden besteht nicht aus 'bodenbildenden Mineralien', die man mit mineralogischen Methoden untersuchen könnte." Wenn man von 'Kolloiden' sprach, dann schien nicht nur hier vieles erklärt. Unklar erschien auch der Unterschied von **Kaolin und Ton**, beide mit nahezu gleicher chemischer Zusammensetzung (E. BLANCK et al. 1926).

CARL WILHELM CORRENS (1933, 1938, 1943, W. VON ENGELHARDT 1990, O. WILCKENS 1938, S. 547) hat mit seinem Team seit Anfang der 1930-er-Jahre (s. C. W. CORRENS 1933) zuerst in Rostock und später in Göttingen Tone näher erforscht. In Rostock (1933) wurde Tone aus Vorkommen in Mecklenburg untersucht und auch vom Tiefseeboden von der Expedition auf dem Schiff 'Meteor'. C. W. CORRENS (1933, S. 211) emporgeholt. CORRENS stellte 1933 fest: "Trotz vieler Vorarbeiten, die von mineralogischer und von technischer Seite bereits geleistet sind... befinden wir uns erst in den Anfängen einer wissenschaftlichen Erkenntnis der Tone." Nach Aufbereitung konnten mineralische Bestandteile ermittelt werden. **Ausgangsmineral** in den die Tone liefernden Gestein war namentlich **Feldspat** (1933, S. 707). Bis herunter zu einer Korngröße vom Radius von 1 μ m war mikroskopische Auswertung möglich (1933, S. 708). Wegen ihrer Feinkörnigkeit scheiterten an ihnen Dünnschliffe zur lichtmikroskopischen Untersuchung. Mit seinen Mitarbeitern hat C. W. CORRENS in wesentlicher Ergänzung zur Lichtmikroskopie unter Anwendung der 'mikroskopischen Bestimmung des **Brechungsindex**' (1933, S. 709) und dann der **Röntgenstrahl-Diffraktion** die sehr viel kleineren Bestandteile der so feinkörnigen Sedimente wie **Lehm und Ton**, erfaßt.

Mitgeteilt 1938: Diese so weithin vorhandenen benutzten Materialien Lehm und Ton erwiesen sich nicht als amorphe Substanzen, sondern neben etlichen organischen Materialien aufgebaut **aus gut definierbaren kristallinen Mineralien**. Manche stammten aus dem Ausgangsgestein, welches Lehm und Ton lieferten, wie es für Quarz und die Glimmer gelten konnte (C. W. CORRENS 1938, S. 208 ff.). Als Neubildung bei Verwitterung galten **Montmorillonit**, **Kaolinit** und andere - wegen ihrer Kleinheit erfaßbar eben nur bei mehr als einfacher mikroskopischer Vergrößerung. Die bei der Silikat-Verwitterung anfallenden Ionen setzen sich bei der Tonbildung zu den neuen Tonmineralien zusammen (C. W. CORRENS auch 1948 (S. 158). Es **gibt keine einheitliche Tonsubstanz** und war nötig sich frei zu machen von "von der Vorstellung der Tonsubstanz" (C. W. CORRENS 1938, S. 214), gar der "Tonformel", dem "Tonkristall." Tone **an verschiedenen Vorkommen** haben **unterschiedliche Zusammensetzung**, es sind "Die Tone ... eine Gesteinsgruppe von großer Variationsbreite" und haben "Wie alle Gesteine ... eine natürliche Entstehungsgeschichte" (C. W. CORRENS 1938, S. 216). Diese Erkenntnis von den Mineralien, die den Ton und Lehm bilden, gehört sicherlich **zu den ganz bedeutenden petrographisch-mineralogischen Entdeckungen**, des 20. Jh. wie überhaupt. Eines der mit am weitesten verbreiteten Materialien der Erdkruste, eines mit Feuchtigkeit klitschig-formbaren 'Gesteins', Material schon in der Frühgeschichte der Menschheit und **Grundlage aller Keramik durch die Zeiten**, war **endlich aufgeklärt**. PAULING verwies, später, auf Spuren auch amorphen Materials (D. W. BRUCE et al. 1992, S. 297). Tone haben große kata-

lytische Wirkung und wirkten wohl entscheidend mit bei der Bildung der frühen präbiotischen organischen Substanzen (S. 296). Die zu den etwa in Mitteleuropa bekannten Tonen führende Verwitterung ist an das feuchte Klima der gemäßigteren und kälteren Zonen gebunden,. In den ariden Tropen führt die Verwitterung zum roten Laterit (s. d.).

Als **Mergel** gilt ein Tongestein mit einem Karbonat-Gehalt zwischen 25 - 75%, mit 50 - 75% wird als Terminus **Kalkmergel** vorgeschlagen. Etwas gröbere feinklasrtische Gesteine mit zwischen den Zähnen knirschenden Quarzkörnchen sind die **Silt- oder Schluffsteine**. Intensiv rotbraun bis violett gefärbt sind die karbonatreichen Silt. und Tonsteine von Keuper und Zechstein, die unter dem Terminus '**Letten**' laufen (alles bei H. FÜCHTBAUER et al. 1988, S. 186).

Löß: Wind statt Wasser - und aus dem Weltall? - Äolische Ablagerung

Löß ist ein feinschluffiges Material, das sich durch Schichtungslosigkeit und poröse Struktur auszeichnet, wenn vorhanden an Flußufern oder in Gruben senkrechte Wände bildet. Im Löß schließen sich Bestandteile, kalkige, teilweise zu Konkretionen zusammen, oft von eigenartiger Gestalt und als "Lößkindel" bezeichnet. In einigen Gebieten der Erde, so in Teilen des zentralen China, ist Löß eines der verbreitesten Sedimente. Der Geograph HEINRICH SCHMITTHENNER, der 1913 im chinesischen Lößgebiet war, beschreibt (1919, S. 318 / 319) wie in diesen Regionen die ländliche Bevölkerung dort zu einem großen Teil in Lößhöhlen in den Schluchten wohnt, Schluchten, welche Wasser aus den Lößmassen herausschwemmte. Die Schlucht ist die Straße. In die Wände der Schlucht hinein sind Wohnungen angelegt, und nach der Schluchtstraße hin gibt es eingefügte Fenster und die Tür. Zwischen den Ansiedlungen gibt es "tiefe Hohlwege ..." und SCHMITTHENNER berichtet, daß "in den Hohlwegen jede Aussicht fehlt" und man geht "Stunden, ja Tage lang zwischen hohen Lößmauern dahin." Lößschluchten können auch zusammenrutschen, sind vergängliche Gebilde, schlimm für die Bewohner (H. SCHMITTHENNER 1933, S. 214). In Löß eingebettet fanden sich an ihrem Sterbeort fossile Reste von Landtieren. Löß verglich SCHMITTHENNER (1919, S. 309) mit einer "Schneedecke, die nicht mehr hinwegschmilzt" und welche die vorher vorhandenen Abtragungsformen verhüllt (H. SCHMITTHENNER 1933, S. 207).

Der **Terminus** "Löß" gilt als 1823 von K. C. VON LEONHARD in die mineralogisch-geologische Literatur eingeführt, entnommen aus dem mundartlichen "Lösch" (H. QUIRING 1936), denn diese spezifische Ablagerung "Löß" war auch vom Volke beachtet worden. LYELL und andere hatten den Löß als eine Ablagerung im Wasser



Abbildung 563: Löß-Wand. Frankleben.

betrachtet. Der in Bern lehrende PERTY (1879, S. 131) sah nach dem "Aufhören der Eiszeit ... ungeheure Massen zerstörter Gesteine von den Alpen" herabkommen und bei "feinster Zerreibung" kam es zum "Löß, ein gelblicher Mergel, welcher oft nur wenige Zoll mächtig über dem unfruchtbaren Gletscherschutt liegend, schon eine Vegetation möglich macht und bei großer Mächtigkeit, wie unten an der Donau, einen höchst fruchtbaren Ackerboden darstellt." 1865 hat der in Asien weitgereiste USA-Geologe und Lagerstättenforscher RAPHAEL PUMPELLY (G. P. M. 1963) und dann ebenso der China-Reisende VON RICHTHOFEN nach den Erfahrungen in China den Löß als den Absatz aus den häufigen, vom Norden her wehenden Staubstürmen gedeutet und damit die '**äolische Lößtheorie**' eingeführt (F. WAHNSCHAFTE 1905). Der russische Forscher OBRUTSCHEW (H. SCHMITTHENNER 1919) zeigte, daß der Lößstaub aus der Wüste und Halbwüste stammt, so aus der Gobi, und in den benachbarten Grassteppen abgelagert wird. Der Löß in China ist also nicht gletscherbedingt, wenn man die Steppen nicht mit fernem Frost als mitbedingt ansieht, ist nicht fossil, jedoch die Weiterbildung heute durch Landwirtschaft verändert (H. SCHMITTHENNER 1933, S. 211). Löß, Produkt des Windes, unterliegt trotz Porosität und damit Wasserverschluckung schon wegen des unter dem Löß liegenden nicht porösen Untergrundes schließlich doch der vom Wasser bedingten **Fortführung**, und wird von den Flüssen zum Meere oder in Senken geführt, verstärkt etwa bei dem großen Erdbeben von Kansu 1921 (H. SCHMITTHENNER 1933, S. 216). Aber immer zeugt gelb-gefärbtes Wasser von dem gewaltigen Abtrag jahraus - jahrein, gelb der "Gelbe Fluß, eher ein großer Strom, Hoang-ho,

Für **Mitteleuropa** wurde die **Löß-Bildung** in Zusammenhang **mit den Eiszeiten** gebracht, nachgewiesen etwa durch E. WÜST 1909 (s. ob.).



Abbildung 564: Löß hält auch unterhöhlt.



Abbildung 565: Löß mit Schnecken.



Abbildung 566: Schnecken an Löß.

Bei den riesigen Massen von Löß, bisweilen bis 400 m dick, verbreitet über ein riesiges Gebiet, wurde allerdings auch gefragt, ob die bestehende Ansicht über die Herkunft des Materials ausreicht. KEILHACK (1920) verwies auf die ungeheuren Massen von Löß, der auf der Nordhalbkugel, etwa in Europa, an den südlichen Kettengebirgen endet und südlich der Alpen fehlt. In Bessarabien wiederum wurden bis 79 Meter Tiefe Löß erbohrt. In Zentralasien geht der Löß bis in mehrere tausend Meter Gebirgshöhe empor. Wie die 'gelbe', die schmutzige Farbe nach Osten fließender chinesischer Flüsse vorführt, werden gewaltige Mengen von Löß ständig wegtransportiert, und das kaum erst in historischen Zeiten, wenn durch Bodennutzung sicherlich verstärkt. Auch auf der Südhalbkugel gibt es im nördlichen Teil des südlichen Süd-Amerika, also in den Pamapas, gewaltige Lößmengen. Da es KEILHACK rätselhaft erschien, woher in einer relativ begrenzten Zeit in der Erdgeschichte, im Pleistozän, die gewaltigen Materialien für den Löß herkommen sollten, meinte KEILHACK eine Umkehrung des Kausalverhältnisses wäre nötig: Nicht die Eiszeiten brachten den Löß hervor, als Glazialprodukt, sondern Löß und Vergletscherung haben eine gemeinsame Ursache. KEILHACK fragte, ob eine extratellurische, eine kosmische Herkunft für den Löß gänzlich auszuschließen sei. Die Meinung wurde allgemein abgelehnt. Eventueller fossiler Löß wurde im Perm ausgemacht, als es auch Vergletscherungen gab. Gegenwärtige Auswehung von Feinmaterial aus den Schotterbänken im Rheintal oberhalb des Bodensees namentlich beim Wehen des Föhnwindes beschrieb 1912 ROBERT LAUTERBORN (s. auch P. WOLDSTEDT 1929). Das Material lagerte sich als eine Art rezenter Löß an den Talflanken ab. Damit wurde die Lößbildung also aktualistischer Beobachtung unterzogen.

Vorwiegend chemische oder durch chemische Vorgänge veränderte Sedimente - und Lagerstätten solcher Sedimente

Zu den durch chemische Prozesse abgeschiedenen Sedimenten gehören viele der wirtschaftlich wichtigsten Lagerstätten. Oft spielt die Tätigkeit von Organismen mit hinein, etwa wenn Schwefelwasserstoff als vermutliches Mittel des Niederschlags von Metallen auftrat. Bei den vorwiegend durch chemische Vorgänge oder bevorzugt auf Organismen zurückgehenden Lagerstätten muß bei der Erklärung ihrer Bildung unterschieden werden zwischen 1. der **primären Herkunft** der Materialien, 2. dem **Vorgang** oder den Vorgängen, die zu **ihrer Ablagerung** führten. Auch Organismen wirken über chemische Vorgänge. Chemische und biogene Sedimente sind daher oft nicht zu trennen. Am problematischsten erschien die Erklärung des Zustandekommens für singuläre, nur einmal auf der Erde jedenfalls im vorliegenden Ausmaß vorkommenden Lagerstätten, wie die Salpeterlager

in der Atacama-Wüste, der Kryolith an einem Ort an der Westküste von Grönland, des Borsäure enthaltende Pandermit in Kleinasien, bei denen vergleichende Studien wegen ihrer offensichtlichen Einmaligkeit nicht möglich sind (G. BERG 1922), aber natürlich immer wieder Erklärungen versucht wurden.

Für die chemischen und chemisch-biologischen Sedimente und diese Lagerstätten gilt enge Verbindung zur Chemie und Geochemie. Die **Bildungsvorgänge müssen möglichen**, also im allgemeinen im Labor nachahmbaren **chemischen Prozessen entsprechen**. Und die für die Bildung möglichen Prozesse müssen auf **Substanzen** beruhen, welche **wirklich in der Erdkruste** auftreten. Carbide geben mit Wasser durchaus Kohlenwasserstoffe, etwa Calciumcarbid Azetylen/Ethin. Aber zur Erklärung der Erdöl-Entstehung in der Erdkruste durch einen solchen Vorgang, wie es MENDELEJEV vermutete, müssen Carbide in der Erdkruste vorhanden sein und muß Wasser hinzutreten können. Dafür fehlt der Beleg. Gibt es kein freies Natrium in der Erdkruste, konnte es nicht, wie einmal DAVY tat, zur Erklärung des Vulkanismus herangezogen werden.

Evaporite - Gesteine aus der Verdunstung von Wasser-Lösungen

Überall, wo Wasser mit gelösten Stoffen verdunstet, scheiden sich die gelösten Stoffe aus, meistens Salze. Das geschieht, wenn in Trockengebieten **Wasser von unten emporsteigt, kapillar** etwa, und das an der Oberfläche verdunstende Wasser **Salzkrusten** bildet (C. W. CORRENS 1960, S. 218 ff.). Abflußlose Seen, in die lange Zeit Flüsse ihre gelöste Fracht eintrugen und die starke Verdunstung aufweisen, werden zu **Salzseen**, und bei ihrem Verdunsten werden Teile von ihnen oder gar mit ihrem Verschwinden der ganze Seegrund werden zu festländischen Salzlagern. Herausragendes Beispiel ist das Tote Meer. Hier erstand auf Grund der abgeschiedenen Salze Badebetrieb und chemische Industrie. Je nach Herkunft der in solche abflußlosen Seen einmündenden Flüsse sind solche festländischen Salzlager unterschiedlich zusammengesetzt. In Chile schied sich Natrium-Nitrat, also Salpeter, ab - aus welchen Gründen auch immer.

Marine Salzlager - Gesteine, Evaporite, aus Verdunstung von Meerwasser

Die großen Salzlager etwa in Mitteleuropa entstammen Meerwasser und sind wegen des gegenüber Binnengewässern so gut wie aus denselben Ionen bestehenden Meerwassers viel einheitlicher als binnenländische Salzabscheidungen (C. W. CORRENS 1960, S. 218 ff.). Trugen die ins Meer mündenden Fließgewässer auch

je nach Herkunft unterschiedliche Salzfracht ins Meer, so haben Jahrmillionen der Diffusion durch die Meere hinweg diese **Einheitlichkeit** der **marinen Salzablagerungen** zustandegebracht.

Das Lager des Steinsalzes in der Zechstein-Abteilung des Perm ist bis 1000, ja 1300 m mächtig (O. LUEDECKE 1906) - es liegen hier also Verhältnisse vor, die das Erstaunen der Geologen hervorrufen mußten. Die verschiedenen Salz-Lagerstätten können auf unterschiedliche Weise entstanden sein, aber durch Verdunstung aus Lösung ist für viele höchstwahrscheinlich. Da konnte nicht ein tiefes Meeresbecken einfach eindunsten, sondern mußte in ein Becken immer wieder neues Meerewasser fließen und dieses immer wieder eindunsten. Die Salze schieden sich je nach Löslichkeit und im Gleichgewicht miteinander ab, nicht rein, aber in bestimmten Kombinationen (H.-H. EMONS et al. 1990) von unten nach oben bevorzugt, zuunterst Anhydrit oder Gips, dann mehr Steinsalz, ganz oben auch Kalisalze. Die Kalisalze wurden einst abgeräumt, um zum Steinsalz zu kommen und waren deshalb 'Abraumsalze', deren Nutzen als Dünger erst mit der Kenntnis der mineralischen Pflanzenernährung deutlich wurde.

Die Abscheidungsfolge, die '**salinare Folge**', ist so etwas wie eine '**salinare Sedimentation**'. Die **Salzabscheidung** wurde **im Laboratorium** im Experiment nachgestellt und zuerst durch VAN'T HOFF und Mitarbeiter gemäß "nach den Gesetzmäßigkeiten der physikalischen Chemie" festgestellt (C. W. CORRENS 1960, S. 235). Es sollte aber (C. W. CORRENS 1960, S. 235) bei aller Anerkennung der Gültigkeit der physikalischen Gesetze soll ebensowenig "versucht" werden, "der Naturbeobachtung Gewalt anzutun und sie in das Schema der Laboratoriumsversuche zu zwingen. Hier hilft nur Naturbeobachtung, im allgemeinen von geologischer Art und im besonderen von quantitativer mineralogischer Art, weiter."

Die Salzabfolge, namentlich auch in festländischen ariden Gebieten, mußte nicht zur vollen Ausbildung der 'salinaren Folge' kommen. So erscheint im Buntsandstein mancherorts Gips und es bleibt dabei.

Manche Salz enthaltende Quellen, **Solequellen**, die von unterirdischen Salzvorkommen und das in Gebieten mit den genannten Formationen oder Abteilungen gespeist wurden, nutzte man schon in der Vorzeit. In Kursachsen fand im 18. Jh. BORLACH, daß dort, wo Solequellen austraten, Salz im Untergrund zu vermuten war und aus dem Untergrund Sole emporgepumpt werden konnte, ein '**Solung**' genanntes Verfahren. Um diese Sole anzureichern, wurden die Gradierwerke errichtet, hohe Gerüste gefüllt mit dünnen Ästen, durch welche die auf die Gradierwerke hinaufgepumpte Sole langsam nach unten hindurchrieselt, viel Wasser verdunstet und so eine salzhreichere Sole einzudampfen war. Das sparte Brennholz. Die zur Heilung von Atemwegserkrankungen geeignete Luft rings um Gradierwerke läßt

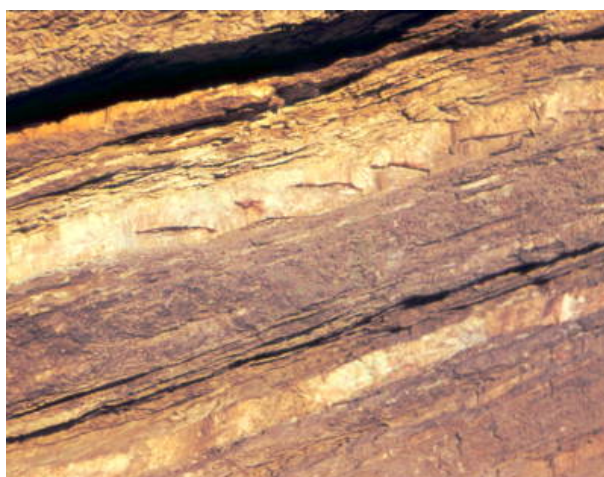


Abbildung 567: Fasergips im Oberen Buntsandstein - Jena.

sie noch immer stehen, in Bad Dürrenberg, Bad Kösen, Sooden-Allendorf.

Viele mitteleuropäische Salzlager wurden erst im 19. und sogar im 20. Jh. entdeckt und erschlossen. Erfolgreiche Bohrungen auf das Salz im Muschelkalk und die anschließende Nutzung der konzentrierten Solen gab es: 1816 bei Jagstfeld in Württemberg, 1822 bei Schwäbisch-Hall, 1823 zu Schwemmingen am oberen Neckar, zu Bußleben in Thüringen, 1825 zu Rottenmünster in Württemberg, 1828 zu Stotternheim nördlich von Erfurt. Im Jahre 1823/1824 wurde der Saigerschacht "Wilhelmsglück" bei Heilbronn niedergefahren, der älteste Schacht Württembergs überhaupt. Mächtige Salzlager wurden 1843 in Deutschland bei Staßfurt erschlossen, in größerem Maß, als 1852 hier der preußische Fiskus die bergmännische Steinsalzgewinnung aufnahm und ab 1861 die darüber liegenden Kalisalze, bisher als 'Abraumsalze' bezeichnet, als Düngesalze aufbereitet wurden. Im Elsaß wurde 1869 bei Mühlhausen ein dünnes Steinsalzlager angebohrt. Um 1900 waren alle deutschen Kalireviere weitgehend bekannt, 1907 war die Existenz bedeutender Kalisalzlager im Elsaß nachgewiesen worden (F. LOTZE 1938).

Während der Vorherrschaft der vulkanistischen Auffassung wurde auch Salz als Eruptivgestein gesehen, bei ALBERTI, H. ROSE, KARSTEN (O. WAGENBRETH 1999).

Sah man die großen Salz-Lagerstätten als aus dem Meer gebildet, so blieb die Frage nach der Herkunft des Salzes im Meer. Diese **primäre Herkunft des Salzes**, also bevor es sich im Meerwasser löste, wurde weiterhin ziemlich unterschiedlich gesehen. JOHANN VON CHARPENTIER legte 1825 die Abscheidung von Salz durch Sublimation in Gesteinsspalten dar. GAY-LUSSAC hatte 1805 am Vesuv

gefunden, daß Spalten am Krater "dick mit weissem Salze bedeckt" waren, mit Kochsalz, wobei die Spalten nur wenige Tage alt waren (J. von CHARPENTIER 1825, S. 79). Im Jahre 1822 hätte der Vesuv so viel Salz aus dem Krater entlassen, daß die benachbarten Dörfer ihren Salzbedarf damit deckten, bis die Zollbehörden dieses Salz zum staatlichen Regal erklärten. Später diskutierte F. von RICHTHOFEN, daß Salz durch mit dem Vulkanismus verbundene hydrothermale Vorgänge aus dem Erdinneren an die Erdoberfläche kam. WILHELM REISS (s. 1921) hatte 1875 am Cotopaxi in den südamerikanischen Anden am Krater Salz gesammelt, daß sich teilweise als Gips, aber auch als Chlorid herausstellte. Es wurde andererseits angenommen, daß Salz aus den Gesteinsverwitterung in die Meere gekommen ist. C. OCHSENIUS (1907) erörterte, daß sich Salz auch mit sinkender Temperatur auf der Erde aus der Atmosphäre niedergeschlagen habe. Das Seewasser des Cambrium wurde als nicht salziger als das Meerwasser späterer Zeit gedeutet, denn sonst wären die im Cambrium gefundenen Tiere nicht lebensfähig gewesen.

Die großen Salzlager galten aber dann doch als aus dem **Meerwasser abgeschieden**. Hier konnte ein lange geübtes Verfahren der Salz-Gewinnung aus Meerwasser weiterhelfen, die Salz-Gewinnung in sogenannten "**Salzgärten**", etwa am Mittelmeer oder an den Küsten anderer, meist warmer Meere. Verdunstete Meerwasser in vom Meere abgetrennten Teichen, schied Salz aus. Immer weiteres Meerwasser konnte, ebenfalls zum Verdunsten, eingeleitet werden und es wurde so in den Becken für die Salz-Ausscheidung sich immer mehr Salz sich anhäufen. Beschrieben wurde das etwa im 16. Jh. von PALISSY. Eine vom wirtschaftenden Menschen ausgeübte Tätigkeit führte zu einer Erklärung einer geologischen Erscheinung. Aber auch in Wüsten fand sich, und zwar ebenfalls aus augenscheinlicher Verdunstung von aufgestiegenem Grundwasser, Salz, ja besteht in bewässerten Wüsten Versalzungsgefahr.

Die durch Verdunstung entstehenden Salzgesteine werden "**Evaporite**" genannt, von 'Evaporation' = Verdunstung. Die Masse der Salze zwingt statt nur von Mineralien besser von Gesteinen zu sprechen. Es gibt eine in den verschiedensten Regionen wiederkehrende Abfolge in der Abscheidung der Salze, man spricht vom "**Salinarzyklus**". Was sich zuerst abscheidet, liegt unten. Dann folgen die sich danach abcheidenden Salze. Unten liegt der **Gips**, $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$, der sich unter höherer Temperatur in das Anhydrit, CaSO_4 ohne Kristallwasser, verwandelt, ein umkehrbarer Prozeß. Kochsalz und andere liegen in der Mitte. Oben erschienen, nur bei lange fortgehender Verdunstung, die **Kalisalze**. Bei Staßfurt wurden auch neue Salz-Mineralien festgestellt, so **Kieserit** (1845), **Carnallit** (1856), **Kainit** (1865). Mit der Erschließung der Staßfurter Salzlager begann, wie einmal formuliert wurde (R. GÖRGEY 1911, S. 280), "eine neue Epoche der Salzlagerstättenlehre..."

Problem für eine einfache Erklärung der Salzlager-Entstehung war deren oft gewaltige, erstaunliche **Mächtigkeit**. So viel Salz, wie war die Abscheidung vorstellbar? Mit einer einmaligen Verdunstung eines abgeschnürten auch größeren und tiefen Meeresbeckens, wenn denn überhaupt möglich, waren die gewaltigen Salzlager etwa des Perm nicht zu erklären (H. EVERDING 1907, R. GÖRGEY 1911).

HUGH MILLER, G. BISCHOF und LYELL erklärten die Entstehung von Salzlagern durch die Verdunstung von Meerwasser in Becken, die vom offenen Ozean durch Untiefen oder Barren getrennt waren (A. v. KOENEN 1905 b) und sich wie bei Salzgärten durch immer wieder erneut eintretendes Meerwasser immer wieder auffüllten. Daß sich in der Gegenwart Salze abscheiden können, nahm KARL ERNST VON BAER von der **Kara Bugas-Bucht** oder dem Adschi Darja am Nordost-Ende des Kaspischen Meeres an (M. PFANNENSTIEL 1970), war aber nicht dort gewesen. Die damit schon recht deutliche **Barrentheorie** wurde ausgebaut namentlich von CARL CHRISTIAN OCHSENIUS (1893, 1903; W. WEISSERMEYER 1930) und danach im wesentlich gestützt etwa von SVANTE ARRHENIUS und RICHARD LACHMANN (1912). Der 1830 in Kassel geborene OCHSENIUS bezeichnete sich selbst als 'Bergmann'. Er war 1851 mit dem dann lebenslang in Chile verbliebenen Botaniker und Zoologen RUDOLPH AMANDUS PHILIPPI nach Chile ausgewandert. Seine weiteren Reisen führten OCHSENIUS auch in die Petroleumgebiete Nordamerikas, 1869 in die Schwefelgebiete Siziliens und wieder nach Nordamerika. Im Jahre 1877 veröffentlichte er seine Abhandlung "Die Bildung der Steinsalzlager und ihr Mutterlaugensalz", der weitere Erörterungen über die Bildung der Salzlager folgten. Wie in der Kara-Bugas- Bucht sollten in den Zeiten und an den Orten der Salzbildung 'Barren', 'Barrieren', Meeresteile vom offenen Ozean abgeschnitten haben. Dadurch, daß immer wieder Meerwasser über die Barren hinwegtrat, herüberschwappte, wurde immer wieder Salz eingebracht. Wie in den künstlich angelegten 'Salzgärten', Becken zur Meerwasserverdunstung zur Salzgewinnung an Küsten, in denen das verdunstende Meerwasser immer wieder ergänzt wird, verdunstete immer erneut hinter einer in der Natur entstandenen Barre Meerwasser und setzte sich aus der schließlich gesättigten 'Lauge' Salz ab. Bedingung war, daß bei Flut nicht so viel Salz aufgelöst wurde, wie während der Ebbezeit ausfiel. Anhydrit sollte entstehen, weil im letzten Prozeßstadium Mutterlauge abfloß.

Die **Karabugas-Bucht**, etwa 15.500 qkm groß, wurde aber im 19. Jh. selten von Forschern besucht. Im August 1894 und im Juni 1896 war der Geologe NIKOLAI IWANOWITSCH ANDRUSSOW (1897) dort. Der Salzgehalt des Wassers war hoch. Großartige Salzablagerungen fand er nicht, sondern lediglich an den Küsten Salzkrusten. Massenhaft waren dort aber Pflanzen und Tiere und unter letzteren

Fische eingeschwemmt worden und verendet (S. 28/29). Daß solche Massen von Leichen bei Fortsetzung in langen Zeiträumen zu Erdöl führen, war schon denkbar. Der Aktualismus im Sinne von aktuellem Nachweis war also auch hier an Grenzen gekommen und Extrapolationen waren nötig, um die Barrentheorie zu retten. Reichlich gab es Schwefelwasserstoff, der Metalle als Sulfid niederschlägt.

Wichtiger Gegner der Auffassung von OCHSENIUS wurde J. WALTHER. Als problematisch wurde angesprochen, daß sich solche 'Barren' in dem für manche wirklich großen Salzlagerstätten erforderlichen Umfang in der erdgeschichtlichen Zeugnissen nicht nachweisen ließen. Die Ansicht von OCHSENIUS schien zu wenig der aktualistischen Auffassung zu entsprechen. J. WALTHER erklärte demgegenüber die Salzlager als Wüstenbildungen. Dagegen wurde zu Recht eingewandt, daß bei aller Salzabscheidung in Wüsten sich kaum bis zu 1400 Meter mächtige Steinsalz-Lagerstätten bilden konnten, daß die fossilen Salzlagerstätten nicht in einzelne Salzpflanzen wie in Wüsten zerfallen, es in den fossilen Salzlagern auch keine Erosionsprodukte gibt (S. ARRHENIUS et al. 1912). OCHSENIUS (1902, 1903) verwies auf unterseeische Barren auf den hydrographischen Karten. "Oceaneische Barren am offenen Ocean", meinte OCHSENIUS 1902 (S. 552), "giebt's unzählige seit Menschengedenken". Er verwies auf San Francisco, wo die Flüsse S. Joaquin und Sacramento in den Hafen einmünden und diese Bucht nur durch das Goldene Tor (golden gate) mit dem offenen Pazifik kommuniziert. Westwärts der Straße von Gibraltar erhebt sich der Meeresgrund mehrmals zwar mit Tiefen von noch einigen hundert Metern, aber es gibt doch Erhebungen. Am Ostufer des Kaspischen Meeres mußte die russische Armee eine Garnison aufgeben, weil durch einen Sturm eine Nehrung abgetrennt wurde und so versalzte, daß der Fischfang erlag. 'Wüstensalz' könne nur in Meeresnähe, etwa bei Meeresbedeckung, zustandgekommen sein. Aber Wüsten könnten entstehen, wenn Meeressalze auf das Festland geblasen werden und die Vegetation zerstören. Immerhin hatte das vom offenen Ozean abgetrennte deutsche Zechstein - Meer, das von Osten her vorge drungen war, eine heutige abgegrenzte Meeresteile überschreitende Ausdehnung. Andere Autoren (s. bei F. KERNER-MARILAUN 1934) verwiesen auf den Krater der Kapverdeninsel Sal, welcher sich bei jeder Springflut mit Salz füllt und wo sich neben Steinsalz auch Gips ablagert. An der Nordwestküste von Indien gibt es ein Gebiet, das beim Monsun landeinwärts überflutet wird und wo sich nach der Wasserverdunstung Salz absetzt. Je nach Werdegang und Vollständigkeit der Verdunstung gab es verschiedene Fazies von Kailsalzlagerstätten (A. v. KOENEN 1905 b nach ZIMMERMANN). Im 20. Jh. gab es weitere Kritik an den Vorstellungen von OCHSENIUS. ERNST FULDA dachte (1924) an ein schrumpfendes, vom Meere abgeschnürte Tiefegebiet, in dem die Salzlake mit fortschreitender Eindunstung auf ein immer kleineres Gebiet beschränkt war und in diesem die Salz-Konzentration immer stärker wurde. FULDA hoffte so, auch die Unterschie-

de in den verschiedenen Salz-Lagerstätten zu erklären.

Das plastisch reagierende Salz konnte auch durch Druck in dickere Lager zusammengeschoben werden.

Die Salzlager der Erde und auch von Mitteleuropa gehören bevorzugt **bestimmten erdgeschichtlichen Perioden** an. Abschnürung von Meeresbecken und Meeresrückzug traten eben in bestimmten Perioden, wohl nach Orogenesen, ein (F. LOTZE 1938). Die meisten Salzabscheidungen gehören zum Perm, aber größere Salzlager gibt es auch in der Trias, hier in Mitteleuropa namentlich im Oberen Buntsandstein, im Mittleren Muschelkalk und im Keuper. Was das spätere Vorkommen der Salzlagerstätten in Mitteldeutschland betrifft, so sah BEYSCHLAG (1907): Auch die Salzlager des Zechsteinmeeres wurden Erdperioden später, in der Kreidezeit und wohl dem Höhepunkt im Miozän des Tertiär, **vom 'herzynischen Faltungsprozeß'** mit **ergriffen** und "So entsteht als Folge der Faltung und Zerstückelung der ehemals zusammenhängenden, flachen permisch-mesozoischen Decke eine Anzahl getrennter Verbreitungsbezirke unserer Kali-Lagerstätten, deren Gruppierung durch die Lage der großen Gebirgskerne" - also unserer Mittelgebirge - "eine natürlich gegebene ist" (F. BEYSCHLAG 1907, S. 7), etwa das Vorhandensein der Lager in der 'Magdeburg-Halberstädter Mulde', der 'Südharz-Thüringen Mulde', dem Werra-Gebiet, dem Fula-Gebiet, dem 'Hannöverschen Faltungs- und Schollengebiet', dem 'Norddeutschen Tieflangsgebiet' .

Wird lösbares **Salz** im Untergrund durch Wasser weggeführt, "**ausgelaugt**", gibt es bei nicht zu großer Tiefe an der Oberfläche **Erdfälle**.

'Barre (n)'-Bildungen als Voraussetzung für andere Lagerstätten, auch für metallische

Die Heranziehung der gegenwärtig ziemlich einmaligen Karabugas-Bucht war noch für manches gut. Nach OCHSENIUS sollten auch andere Lagerstätten als die der bekannten Salze, die auf Ausscheidungen aus Lösungen zurückgehen, mit "Barren" verbunden gewesen sein. Konzentrierte Salzlaken lösten (1898, 1905) Erzpartikel und aus solcher Lösung schieden sich Erzlager aus. Die **Halurgometamorphose** wollte OCHSENIUS "betrachten" "als einen ganz eminenten Faktor bei dem Umformen und Transport von mineralischen Substanzen in der gesamten Sedi-mentärgeologie" (1905, S. 570). Der "Salinismus" wäre bisher verkannt worden. Auch die Manganknollen der Tiefsee führte OCHSENIUS auf Lösung von Metallverbindungen in Salzwasser zurück.

Barren sollten auch die Bildungsräume für die Entstehung von **Erdöl** aus dem Fett von abgestorbenen Organismen gewesen sein, wie es CARL ENGLER (1900) beschrieb. Brach die Barre und strömte das übermäßig salzige Wasser innerhalb

der Barre ins Meer zurück, dann sollte auch dort der Tod unter den Meeresorganismen gewütet haben und deren organische Fett-Substanz wurde schließlich Erdöl umgebildet werden. Damit sollte der beobachtete enge räumliche und genetische Zusammenhang zwischen Salz und Erdölvorkommen erklärt sein (W. WEISSER-MEL 1930). Es sollte nach dem russischen Geologen ANDRUSSOW (C. ENGLER 1900, S. 15) nördlich des Schwarzen und des Kaspischen Meeres viel "Karabugas" gegeben haben. Es gab und gibt auch fortwährende Zuführung von Plankton und anderen Organismen aus dem Mittelmeer in das Schwarze Meer und sie starben im Schwarzen Meer wegen dessen geringeren Salzgehaltes. Dann war jedenfalls für viele Lebewesen das ganze Schwarze Meer so etwas wie ein Kara-Bugas-Bucht, wo etwas hinkam, aber nicht zurück konnte. Damit hingen dann auch die Besonderheiten des Schwarzen Meeres (s. u.) zusammen.

Selbst für **Kohlelager** wurde die Barren-Theorie herangezogen, indem hinter Barren sich kohlebildendes Material angehäuft haben soll, ebenfalls erörtert von OCHSENIUS, 1892 (O. WAGENBRETH 1999, S. 146).

Schwefelwasserstoffreiche Meeresteile: "Euxinische Meere" **- Typ Schwarzes Meer**

Im Zusammenhang mit sulfidischen Erzen entstand das Problem von Schwefelwasserstoff in sauerstofffreien Meerestiefen, in "euxinisch" genannten Meeren oder Meeresteilen, nach der antiken Bezeichnung für das Schwarze Meer "Pontus Euxinus". Das heutige Schwarze Meer, 10,46 Millionen Quadratkilometer groß und bis 2200 m tief, ist rezent das "größte Becken der Welt, das durch sauerstoffreiches Tiefenwasser geprägt ist" (S. NÄHER et al. 2017, S. 16/17). Mit "euxinisch" ging es um Meere oder Meeresteile, die ähnlich dem gegenwärtigen Schwarzen Meer in der Tiefe unter Sauerstoffmangel leiden und bei denen das übel riechende Gas Schwefelwasserstoff (H_2S) reichlicher auftritt. Schwefelwasserstoff aber fällt viele Metall-Ionen als Sulfide, ein auch in der analytischen Chemie benutzter Vorgang. Zudem häufen sich dort von woanders hergekommene abgestorbene Organismen. Untersucht wurden auf einer Schiffsexpedition die Tiefen des Schwarzen Meeres 1890 unter ANDRUSSOW (C. ENGLER 1900, S. 15, V. V. TIKHOMIROV 1970) und die Kontaminierung der **Tiefen** des **Schwarzen Meeres** mit **Schwefelwasserstoff**, H_2S , endgültig festgestellt. Der Schwefelwasserstoff ist namentlich auf organismenzersetzende Bakterien (J. PIA 1928) zurückzuführen.

NIKOLAI IVANOVICH ANDRUSSOW (V. V. TIKHOMIROV 1970) war 1861 als Sohn eines 1870 im Schwarzen Meer bei einem Schiffbruch im Schwarzen umgekommenen Navigators geboren worden, studierte an der Neurussischen Universität



Abbildung 568: Posidonienschiefer Holzmaden.

in Odessa und in Wien und München, wirkte an der Universität in St. Petersburg, ab 1893 als ao. Professor, ab 1896 als solcher an der Universität Jurjew/Dorpat, ab 1905 als o. Prof. an der Universität Kiew, dann an der Universität Simferopol. Nach einem Schlaganfall ging er zur Rehabilitation nach Paris, wo er 1924 starb. Monate und Jahre war ANDRUSOW vor allem in Süd-Rußland auf Expeditionen, in Regionen mit Ölbohrungen und auch an den Schlammvulkanen im Südost-Kaukasus. Auch die Tiefen des Marmara-Meeres vermaß er. Kenner war es vor allem der Periode des Neogen im Tertiär.

Eingehender mit **”euxinischen” Meeren** befaßte sich unter den deutschen Geologen der 1867 im ländlichen Ostpreußen geborene und zuletzt ab 1917 in Berlin als Ordinarius wirkende JOSEF FELIX POMPECKJ (1920), der vor allem auch Paläontologe war. Nach der Assistenz bei ZITTEL und Kustos-Tätigkeit in München, ao. Professuren in Hohenheim und Königsberg, war POMPECKJ 1907 Nachfolger VON KOENENS in Göttingen, 1913 Nachfolger KOKENS in Tübingen (S. RITZKOWSKI 1994).

Für die Vergangenheit wurden **”euxenische”** Verhältnisse für die Meere angenommen, aus denen etwa die **altpaläozoischen Alaunschiefer** entstanden und viel später die **Posidonienschiefer des Lias** (Unterjura) hervorgingen. Auch die Kupferschieferschicht im Zechstein wurde als euxenisch gesehen.

Allerdings wurde die Entstehung der vielen dunklen Sedimente des Paläozoikums auch anders erklärt, nämlich durch noch fehlende Destruenten. Es wurde auch davor gewarnt, jeden durch feinverteilten Schwefelkies dunkel gefärbten Ton auf ein bereits euxenisch zu nennendes Meer zurückzuführen, da Schwefelwasserstoff in Bodenablagerungen nicht ungewöhnlich ist und die festsitzende Organismenwelt der Tiefe, das Benthos, bis zu einem gewissen Grade nicht unbedingt stört. Erst wenn

der Schwefelwasserstoff aus den Bodensedimenten in das freie Wasser aufsteigt und höhere Organismen in dem Tiefenwasser erstickt, erscheinen ”**euxinische Sedimente**” (R. BRINKMANN et al. 1990). Die ausgeschiedenen Sulfide konnten sich dann in andere Verbindungen umwandeln, wie es auch im Falle der verschiedenen Kupfererze der Fall ist.

Was der 1930 gestorbene POMPECKJ wohl noch eher als Randphänomen sah, wurde etwa ein dreiviertel Jahrhundert nach seinem Tod als erstmals, im Proterozoikum, fast 1000. Millionen Jahre dauernder ozeanischer Normalzustand gesehen (D. T. JOHNSTON 2009). Euxinische Meere oder Meeresteile waren in der späteren Erdgeschichte aber ein abklingendes Phänomen, bedingt durch Fortschritte in der Organismenwelt. Aber auch in den Tiefen heutige Ozeane gibt es das (B. JÖRGENSEN 1995).

Kieselsäure-Abscheidungen - Verkieselungen

Kieselsäure bzw. dessen Anhydrit SiO_2 ist im Wasser nur wenig löslich. CLARKE gab 1911 für den Rhein bei Straßburg 0,005% an. Und das, obwohl Quarz/ SiO_2 die vielen 'Kiesel' im und am Fluß zusammensetzt. Aber an wohl kaum höheren solchen Lösungen schied sich Kieselsäure dennoch aus, auch wohl an faulenden Substanzen. In der Braunkohle von Messel bei Darmstadt oder in Braunkohlen Mitteldeutschlands fanden sich **verkieselte Hölzer**. Kieselsäureabscheidungen sind meistens von organismischem Ursprung, sind biogen. Kieselsäure/ SiO_2 bildet das Material der Zellumhüllung von manchen Gruppen von Einzellern, bei den in Süßwasser wie im Meer mit vielen spezifischen Arten vertretenen **Diatomeen**/Kieselalgen, den **Radiolarien**, den **Silikoflagellaten** und wurde Material von **Schwämmen** mit ihren Kieselnadeln (u. a. C. W. CORRENS 1960, S. 215 ff.). Auch manche Pflanzen enthalten Kieselsäure, Gräser und der Acker-Schachtelhalm. Abgestorbene Diatomeen in Binnenseen führen zur Kieselgur. Fossile Diatomeengesteine heißen **Diatomite**. Die aus den abgestorbenen Radiolarien gebildeten Gesteine sind die **Radiolarite** (S. 215). Diese Kieselsäureschalen konnten sich auch wieder auflösen und standen weiteren Organismen zur Verfügung.

Im jungen Tertiär etwa in Sachsen gab es eine Einkieselung von darunterliegenden Tertiärschichten und entstanden die **Braunkohlenquarzite**. Es entstanden auch einzelne, teilweise bizarr gestaltete Blöcke, die harten bräunlichen ”**Knollensteine**” (K. PIETZSCH 1951), zum Teil Reste einer einst zusammenhängenderen Schicht. Wenn einzelne solche Knollensteine auf den Höhen der Rhön liegen, und nicht Bau-schutt sind, zeugen sie von der Hebung der Tertiärbildungen zum Mittelgebirge, mit den widerstandsfähigen Knollensteine als letzte Reste der Abtragung.

Feuersteine und ihre Entstehung

Scharfkantig und gesucht von den steinzeitlichen Vorfahren und im 17. Jh. als Flintsteine benutzt und dann für Rohrmühlen (W. DEECKE 1907, S. 96), sind die Feuersteine an etlichen Stellen in Mitteleuropa auch konzentriert an früh genutzten Lagerstätten, in Belgien etwa und Mittelpolen, sind aber eine weit ins Land zerstreute Ressource, eine nicht nur ortsgebundene 'Lagersätze'.

Umstritten war die Bildung der **Feuersteine**, in der Ober-Kreide (G. LINCK et al. 1926), die sich nach der einen Meinung aus einem Kieselsäuregel gebildet haben müssen, das nicht unmittelbar auf Organismen zurückgeht, aber Feuerstein schließt oft Fossilien ein und um sie herum hat sich Gallerte aus Kieselsäure verfestigt. Oft sind die Feuersteinknollen bizarr geformt, dunkel bis fast schwarz gefärbt, umschlossen von einer helleren Rinde. Die umstrittene Frage war, **woher die Kieselsäure** für die in der oberen Kreide, dem Dan(ien), endenden Feuersteinbildung kam. Für kreidezeitlichen Vulkanismus im südlichen Ostseegebiet mit untermeerisch die Kieselsäure lieferndem Thermalwasser (J. KÜHNEL 1939) fehlte der Beleg (W. WETZEL et al. 1939). DEECKE (1907, S. 96 ff.) sah in den Feuersteinknollen verkieselte **Kieselschwämme**. In der inneren Hohlräumen ließ sich Kreide nachweisen. Gefunden wurden hier auch 'Schwammnadeln', "sehr mannigfaltig gestaltet" (S. 96). Die bankförmige Lagerung der Feuerstein in der Kreide ließe sich "dadurch" erklären, "daß die Spongien auf dem Meeresgrunde Rasen bildeten" (S. 98). "Möglicherweise" gingen die Rasen der Kieselschwämme am "Übermaß angehäufter Kieselsäure" zugrunde und in den Schlamm darunter "tief eingewellt" "konzentrierte sich" "in dem Schlamme" "die Kieselsäure dann als Knollen" (S.98). Zum einen wurde also reichliches Auftreten von Kieselsäure/SiO₂ in dem Kreidemeer angenommen, aber Tiere, Kieselschwämme, sollten dann an der Knollenbildung entscheidend beteiligt gewesen sein.

Bauxit - Lagerstätten

Bauxit gilt als das Musterbeispiel einer Verwitterungslagerstätte, als Ergebnis der in den Tropen stattfindenden lateritischen Verwitterung. Eisenhydroxyd färbt rot. Aber wichtig ist: Aluminiumhydroxyd bleibt zurück (G. BERG 1922). Bei aller Häufigkeit des Aluminium in der Erdkruste: nur aus dem Bauxit war Aluminium rentabel zu gewinnen, und fordert dennoch viel Elektroenergie.

Lebewesen und Sedimente

Möglicherweise durch Organismen und vor allem auch Mikroorganismen hervorgebrachte und auch umstrittene Bildungen, biogene Entstehungen

Die Beteiligung von Organismen an Gesteinsbildungen wurde in der Entwicklung der Geologie bis hinein in das 20. Jh. zunehmend höher eingeschätzt. Die gesteinsbildende Tätigkeit von Lebewesen wurde zunächst auch deshalb unterschätzt, weil die Organismenreste bei nachträglichen Umwandlungen der von ihnen gebildeten Ablagerungen und durch deren Zerstörung (F. v. RICHTHOFEN 1860, J. PIA 1926) stark verwischt wurden, bis zur Unkenntlichkeit.

Bei manchen in großen Mengen abgelagertem sedimentären Material ist die Herkunft von Lebewesen (D. W. BRUCE 1992, so S. 238) nun unumstritten: bei den Korallen, Elfenbein, Nadeln von Seeigeln, Tintenfisch-Kalken, alle in ihrer Gestalt bedingt durch organische Polymere zwischen den anorganischen Materialien. G. BISCHOF war einer von jenen, die in der Mitte des 19. Jh. mit zuerst die wahrscheinlich **bedeutende Rolle von Lebewesen für die meisten chemischen Sedimente** aller Formationen betonten. Riesige Gesteinsmassen erschienen als das Werk von Mikroorganismen. Das sollte gelten für Schwefel-Lager, die Schwefelkies-/Pyrit-Vorkommen in den schwärzlichen Schiefern namentlich auch des Paläozoikums, die Eisenerzlager, was JULIUS PIA (1926) vom Wiener Naturhistorischen Museum eingehend erörterte. Ein rein vulkanische Entstehung des Schwefels auf Sizilien wurde von PIA ausgeschlossen. Eisen ist das 4.-häufigste Element der Erdrinde, befindet sich in vielen Mineralien, wurde durch den Luft-Stickstoff bindende und so Salpetersäure bildendes Bakterien gelöst und kam dann wieder in Lagern zum Absetzen (S. 29).

Andere Gesteinskomplexe entstanden durch **Riffbauer**, zu denen namentlich **Schwämme** und **Korallen** zu rechnen waren. Manche Lebewesen, im Meer vor allem, nehmen bestimmte Substanzen selektiv aus der Umwelt auf, speichern sie in ihren Körper und konnten bestimmte Stoffe anreichern. Zu den tierischen Riffbauern wurden **Pflanzen als Gesteinsbildner**, auch fast Riff-Bildner, von J. WALTHER benannt und das von PIA (1928) eingehend erörtert. PIA sah vor allem bestimmte **Grünalgen**, die zu den Siphoneen gehörenden Dasycladaceen, als die Pflanzen, welche den Kalkstein mancher Alpenregionen lieferten. Die Kalkalgen verschwanden nach PIAs Feststellung immer, wenn Eiszeit, weite Vergletscherung, also Abkühlung kam.

Aber auch viel tiefer stehende Organismen, Bakterien, so die Schwefelbakterien,

waren als Gesteinsbildner zu sehen. Bei den Lagerstätten-Bildungen durch Organismen gehörten immer auch anorganische Faktoren, so oft Druck und bestimmte Temperaturen, dazu.

An bedeutenden Ablagerungen und Gesteinen waren wohl auch Organismen in unterschiedlichem und oft umstrittenen Maße beteiligt, aber auch andere Faktoren gehörten dazu.

Kalksteine und Beimengungen - Organismen auch hier als entscheidend gesehen

M. NEUMAYR hatte einmal (1883) ausgerechnet, daß die gleichmäßige Ausbreitung aller kalkigen Sedimente auf der Erdoberfläche eine Mächtigkeit von 30 Metern ergibt. Kalkabscheidung geschieht im Süßwasser und mehr im Meere. Der größte Teil der Kalksteine ist wohl organischen Ursprungs, auch wenn ARNOLD HEIM einmal 9/10 allen Kalks auf anorganische Entstehung zurückführte (H. KLÄHN 1925). Der relativ hohe Kohlensäure-Gehalt, CO_2 , in vielem Wasser, etwa in schlammigen Buchten, verhindert anorganische Kalk-Abscheidung, da Calciumhydrogencarbonat ziemlich löslich ist. Riesige Kalkbänke, so die **Kreide**, bestehen aus **fossilierten Kleinlebewesen**, ihren **Schalen**. Wenn Kalksteine oft keine organismischen Reste erkennen lassen, dann sollte das an nachträglicher Umbildung liegen (R. HOERNES 1884). Von der Kreide, etwa auf der Ostseeinsel Rügen hat einst schon EHRENBERG zahlreiche Kleinlebewesen nachgewiesen. In stehendem Süßwasser bilden die Armleuchteralgen Kalkkrusten auf ihrer Oberfläche, bilden dann die Tuffgesteine. Eine eingehende Darstellung der oft umstrittenen Annahmen über die Beziehungen von Kohlensäure und Kohle lieferte 1933 PIA. Umstritten bei den Physiologen war jedenfalls damals etwa, ob die Mollusken über ihre Blut das Calcium für den Kalk ihrer Schale zuführen und wie daraus die Kalkschale entsteht. Als kalkabscheidendes Bakterium im Meer war *Bacterium calcis* erkannt worden.

Dolomit weist auf eine nachträgliche chemische Veränderung abgesetzten Kalkes und wird unter Gesteins-Veränderungen behandelt.

Phosphate, Phosphatlagerstätten - Phosphorit, Apatit

Die natürlich vorkommenden Phosphate interessierten mit dem Aufkommen der mineralischen Düngung um die Mitte des 19. Jh. Als **Phosphorit** wird eine Verbindung der Zusammensetzung $3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bezeichnet. **Apatit** hat dazu Ca-Fluorid und -Chlorid, also $3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Ca}(\text{F}, \text{Cl})_2$ oder geschrieben als $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3 \cdot (\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$. Apatit wurde als magmatischer resp. pneumatolytischer Entstehung gesehen. Die weichen Apatitkristalle erhalten sich in den Se-

dimenten gewöhnlich nicht und werden weggeführt, scheiden sich aber oft nach Passage durch Organismen wieder aus. Wurden zuerst Knochen und organische Abfälle auf Superphospat verarbeitet und wurde später auch manche Hochofenschlacke und das "Thomasmehl" der für die Stahlherstellung aus phosphorreichen Eisenerzen genutzten Thomasbirne (Thomaskonverter) für Düngung genutzt, so wurden und blieben die Phosphatlager eine wichtige Voraussetzung der Düngung mit Phosphorsalzen.

Bedeutende Phosphatlagerstätten sind auch Ablagerungen aus **Vogelexkrementen, Guano**. Es wird angegeben, daß ein guanoliefernder Vogel während der Brutzeit 25 bis 30 Pfund Exkremente liefert (P. HAMBRUCH 1912), sich also bei in sicheren Gebieten massenweise brütenden Vögeln im Laufe längerer Zeiträume gewaltige Massen anhäufen konnten. Als sich die Phosphordüngung entwickelt hatte, wurden **Phosphoritvorkommen in Deutschland** im Nassauischen in der **Lahn-Dill-Gegend** ab 1864 von dem Industriellen VICTOR MEYER entdeckt (W. WICKE 1868) und die Mächtigkeit war teilweise so, daß 1867 1 Millionen Zentner abgebaut wurden. In Nordamerika fanden sich Phosphat-Lagerstätten in Florida. Die besten Phosphate, die auf dem **Atoll Nauru** in der Marshallgruppe gehörten bis zum Ersten Weltkrieg zum deutschen Kolonialbesitz, wurden aber nicht von einer deutschen Compagnie abgebaut, und galten als die bis dahin phosphatreinsten Lagerstätten der Welt (P. HAMBRUCH 1912). Sie enthalten 83 bis 90 Prozent 'Trikalziumphosphat'. Die damals ausgebeutete Phosphatlagerstätte wies teilweise eine Mächtigkeit bis 15 Meter auf. Das Phosphat auf Nauru wurde auf Guano aus dem Beginn des Tertiär zurückgeführt. Der 'Apatit' entstand durch Reaktion des dabei entstandenen CaHPO_4 mit dem porösen Korallengestein. Naurus Lager gelten als erschöpft. Nunmehr sind die Phosphate exportierenden Länder **Marokko**, Algerien, **Tunesien** sowie Jordanien. Die Phosphatlager im Süden Tunesiens wurden 1886 entdeckt und ab 1896 abgebaut und führten hier auch zu Eisenbahnbauten (YouTube 2019).

Anhäufung von Ressourcen und vor allem auch verschiedenster Metalle durch und in Organismen

Wo **Organismen**, also **zeitgebundene Faktoren** bei der Ressourcenvildung mit spielten, waren stets Besonderheiten gegeben. Ressourcenlagerstätten können also **biogen** sein. ROSENBUSCH hatte einmal, 1889, die Kalkarmut des Grundgebirges auf die Organismenarmut der seinerzeitigen Meere zurückgeführt (zit. b. R. BRINKMANN 1948, S. 41). HUMMEL brachte 1940 (S. 461) als Beispiele für ziemlich einmalige Bildungen die Mangan-Sedimente im Tertiär von Südrußland, "die eigenartigen Phosphat-Oolithe im nordamerikanischen Perm, die Phosphat-

lager im Tertiär und der Kreide Nordafrikas und Westeuropas.

Manche Tiergruppen häufen in ihrem Körper bestimmte chemische Elemente an, meistens in bestimmten Verbindungen. Befunde dieser Art wurden seit den letzten Jahrzehnten des 19. Jh. mitgeteilt. Mollusken, auch die oft riesigen Tinten'fische', und Krebstiere (Crustaceen) besitzen in ihrem Blutfarbstoff Hämocyanin **Kupfer**. BÜTSCHLI entdeckte, daß die Acantharier **Strontiumsulfat** (SrSO_4) speichern. Schon E. LIEBETRAU hatte 1889 festgestellt, daß sich das strontiumhaltige Mineral Coelestin, eben SrSO_4 , im Unteren Muschelkalk bei Jena vorwiegend in den fossilführenden Lagen findet, daß die ursprüngliche Schalensubstanz von Weichtierschalen offenbar durch Cölestin ersetzt wurde. F. E. SCHULZE fand die Anhäufung von **Barium** in Xenophyophoren (W. SALOMON 1926). M. HENZE (1911, 1913) fand zu seiner Überraschung an der Zoologischen Station in Neapel im Blut von Manteltieren (Ascidien, zuerst von *Ascidia* oder *Phallusia mammilata*) **Vanadium** angereichert. Flußspat in Triassandsteinen bei Elgin in Schottland wurde auf Diagenese zurückgeführt, wobei das **Fluor** aus Organismen stammen sollte (s. K. ANDRÉE 1911). **Jod**-Anreicherung gibt es in Tangen.

Bedeutende Gedanken zur Rolle von Organismen bei der Anhäufung von Metallen und Verbindungen vertrat der russische Chemiker J. SAMOJLOFF (SAMOILOFF). Von der Existenz bestimmter Organismengruppen abhängig war nach Ansicht des russischen Mineralogen SAMOJLOFF die Anhäufung von Mineralien bestimmter ansonsten wenig konzentrierter chemischer Elemente, so **Vanadium**. SAMOILOFF hielt (1922) die bei seiner Untersuchung von russischen Phosphorit-Lagerstätten in weit ausgedehnten und voneinander entfernten Gebieten in genau demselben geologischen Alter gefundenen **Baryt**vorkommen für organischer Herkunft. SAMOJLOFF hielt auch eine 'Evolution' des Mineralbestandes des Skeletts der Organismen für gegeben (W. SALOMON 1926). Aber er verwies auch auf noch heutige Baryt-Ausscheidungen am Meeresgrund, was dann den Verhältnissen im Jura entspricht.

Biogene und möglicherweise biogene Metallerzablagerungen

Am längsten wurde wohl gezögert, auch Erzlagerstätten teilweise als biogen anzusprechen. Daß die Lebenstätigkeit von Mikroben zu **Eisenerz**-Lagerstätten führt, zu den Sumpf-, See-, Wiesenerz-, Raseneisenstein-Lagerstätten, wurde aus der Untersuchung der **Eisenbakterien**, etwa Gattung *Leptothrix*, durch den russischen Mikrobiologen S. WINOGRADSKY (s. z. B. 1888) deutlich. Daß sich in den rostfarbenen Ablagerungen in Gräben und Wasserstellen in Sumpfgebieten

fädige Kleinlebewesen befinden, hatte schon EHRENBURG gefunden. Es war angenommen worden, daß sie Eisen-III-Oxid oder -Hydroxid als eine Art Schutzhülle um sich bilden, wie etwa Kieselalgen (Diatomeen) ihre Kieselpanzer bilden. Aber WINOGRADSKY wies nach, daß zunächst farblose Fäden mit lebenden Zellen in FeCO_3 -haltigem Wasser nach etwa 10 bis 15 Stunden gelb-braun werden, also die Eisen-II-Verbindungen ziemlich rasch in Eisen-III-Oxid oder -Hydroxid oxidiert werden. Mit diesem energiegewinnenden Prozeß bauen die Eisenbakterien aus CO_2 und Wasser ihre organischen Substanzen auf, benutzen statt des Lichtes wie die chlorophyllführenden Pflanzen aber eine chemische Reaktion. Das entstehende Eisen-III-Oxid wäre dann Abfallprodukt, Ausscheidungssubstanz. In manchem solchen ockerfarbenen Schleim finden sich nur noch wenige Zellen der Eisenbakterien. So entstandene Eisenerze wurden etwa als **Raseneisenstein** abgebaut und beispielsweise in der Niederlausitz etwa in Peitz verhüttet. Sie waren später nicht mehr konkurrenzfähig. Wahrscheinlich ist ein beträchtlicher Teil aller Eisenerzlagstätten mit Organistentätigkeit verbunden, worauf J. PIA 1928 verwies.

Umstritten blieb die Entstehung der **Eisenooolithe**, welche in marinen Sedimenten mancher Erdzeitalter, etwa des Devon oder auch im Jura, mancherorts reichlich vorkommen. K. HUMMEL führte sie auf Meeresgebiete mit höheren Wassertemperaturen verbunden mit geringem Sauerstoffgehalt zurück, aber immer noch mehr Sauerstoff als in abgeschlossenen Buchten oder kaum durchlüfteten Meeresteilen mit Sulfidbildung.

Namentlich mit der erneuten Untersuchung der zeitweilig vernachlässigten Sedimentgesteine im 20. Jh. wurde die Herkunft noch von mancher Ablagerung auf Organismen zurückgeführt, wenigstens als Hypothese erörtert (J. SAMOJLOFF 1922).

Metallische Erze durch wohl euxenische Meere - Ablagerungen im Kupferschiefermeer

Der Gehalt an Kupfermineralien im **Kupferschiefer im Zechstein** am östlichen Harzrand und auch anderenorts in Mitteldeutschland ist zwar relativ gering, aber auf diese Mineralien wurde schon im Mittelalter zur Kupfergewinnung Bergbau betrieben, etwa bei Hettstedt. Das Kupferschieferflöz wurde geologisch seit Anfang des 19. Jh. näher untersucht. Kupfer kommt in Meerwasser nur sehr wenig vor, und älter ist die Frage nach der Herkunft des Kupfers resp. seiner Verbindungen etwa in der **Kupferschiefer-Schicht des Zechsteins** in Mitteldeutschland. BEYSCHLAG (1907, S. 4) sah in der kaum 1 m starken "Kupferschieferschicht" eins der merkwürdigsten Gebilde aller geologischen Zeiten, die sich "wie ein schwarzes Leinentuch fast durch das gesamte Becken" "breitet." Seine Fauna wies auf eine Flachseebildung. Fossile Zweige von Landpflanzen zeugten von einer nahen Küste.

Wegen des eingetragenen organischen Materials "trägt das Gestein das Gepräge eines durch anorganischen Niederschlag verunreinigten Sapropels (Faulschlamm)" (F. BEYSCHLAG 1907, S. 4).

Mag von Schwefelwasserstoff, H_2S , aus Organismenzersetzung und Bakterientätigkeit die Fällung wie die anderer Metalle verursacht worden sein, die Frage blieb die nach der **Herkunft des Kupfers** überhaupt. Die **primäre** Herkunft des Kupfers im Kupferschiefermeer sah J. WALTHER in zerstörten, zutage getretenen Erzgängen bei der Verwitterung naher Festländer. POMPECKJ (1920) betrachtete als Quelle des Kupfers die Eruptionen des Rotliegenden und die Absetzung in einem Meer besonderer Art, einem sauerstoffarmen, 'euxenischen' Meer. E. FULDA (1928) dachte an eine 'Rasenkupfersteinbildung', "mit der sich die kontinentale Oberfläche vor Einbruch des Zechsteinmeeres bedeckt hatte." Das Meer vernichtete die kontinentale Vegetationsdecke, aus deren organischer Substanz entstand eine Art Faulschlamm und aus dem aufgelösten Rasenkupferstein gingen Erzlösungen hervor, die "im Laufe der Diagenese die sekundären sulfidischen Erze absetzten." Ein Teil der Lösungen wurde in die sich bildenden Verwerfungsspalten weggepreßt und daher entstanden hier Erzanreicherungen auf den Rücken. Der besondere Erzreichtum des Mansfelder Gebietes wurde auf eine ursprüngliche Anreicherung des Rasenkupfersteins in einer besonders tiefen Depression der Saar-Saale-Senke zurückgeführt.

Die letzten Erklärungen für den relativen Kupfer-Reichtum im Mansfelder gebiet waren das nicht.

Tiefsee-Sedimente

Gegenwärtige Tiefsee-Sedimente wurden erstmals durch die englische '**Challenger**'-**Expedition 1872 - 1876** bekannt, welche sie aus den Tiefen heutiger Ozeane emporzog. Diese Tiefseesedimente bestanden größtenteils aus Resten von Organismen, von kleinen, meistens Protozoen. In den relativ hohen Etagen fand sich der Globigerinen-Schlamm. In größerer Tiefe holte man 'roten Schlamm' (red clay) heraus. Die Erklärung war, daß in größerer Tiefe die Kalkgehäuse der Foraminiferen und die Kalknadeln anderer Organismengruppen sich auflösen und nur die unlösliche Asche zurückbleibt. Noch tiefer, in unter 3000 Faden, treten immer mehr die kieseligen Körper von Radiolarien in den Vordergrund und der Radiolarienschlamm kennzeichnet die größten Meerestiefen.

Ein Tiefseebildung sind die Anhäufungen von **Manganknollen** (K. HUMMEL 1931), deren Ausbeutung neuerdings überlegt wird, allerdings auch die Meere zu verschmutzen droht.

Kohlelager

Kohlen sind veränderte Pflanzensubstanz. Es wurde diskutiert, wie weit für die hier stattgefundene Veränderung auch der Begriff 'Metamorphose' angewendet werden sollte.

Die Herkunft der Kohlen war noch bis ins 19. Jh. teilweise umstritten (H. POTONIÉ 1907). Im 18. Jh. wurde eine Verdichtung des Kohlendioxids der Luft zu Kohlen angenommen. Der Naturforscher DE LUC, die Botaniker ADOLPH BRONGNIART, UNGER, HEER vertraten die '**Torf-Theorie**'; die Entstehung von Kohlen aus Torf. ALEXANDER VON HUMBOLDT vermutete noch, daß der Torf, auch der in der Nähe von Berlin, einmal aus Meerestangen zusammengeschwemmt wurde. Die mikroskopische Untersuchung der Kohlen, so durch den Botaniker HEINRICH FRIEDRICH LINK 1838, zeigte, daß sich in der amorphen Grundmasse mehr oder minder zahlreiche kleine Pflanzenfetzen und auch Sporen finden. Gestritten wurde über die '**Autochthonie**' und '**Allochthonie**' der Kohle, Termini, die von GÜMBEL stammen (H. POTONIÉ 1907). Nach der Allochthonie-Vorstellung wurden die kohlenbildenden Materialien aus einem größeren Einzugsbereich herbeigeschwemmt, um am Ort der Zusammenschwemmung inkohlt zu werden. Verwiesen wurde auf den massenweisen Transport von losgerissenen Bäumen im Mississippi (H. POTONIÉ 1895 / 1896) hinab zu seiner Mündung. Für Steinkohle wurde die Allochthonie für französische Kohlenlager debattiert, etwa durch C. GRAND'EURY. Aber die Wurzelböden verwiesen für viele Lagerstätten nach H. POTONIÉs (W. GOTHAN 1915) und anderer Ansicht auf die Entstehung aus Pflanzen an Ort und Stelle. POTONIÉ war gleichzeitig Erforscher der Moore, also untersuchte, was sich rezent unter Bedingungen abspielte, aus denen wenigstens teilweise auch die Kohlen hervorgingen. Das war also Forschung im Sinne des Aktualismus. Als rezente Pflanzenformation ähnlich den Braunkohlenwäldern wurde auch auf die Swamps Nord-Amerikas und vor allem die Everglades von Florida verwiesen. Findet sich in der Braunkohle oder ihren Zwischenlagen vor allem *Sequoia*/Mammutbaum, oder *Metasequoia*, konnte man in Erinnerung an heutige Redwood, also Mammutbaum-Wälder, an trockenere Gegenden denken, während die *Taxodium*/Sumpfyypresse, ihren Namen ziemlich zu Recht trägt und auf sumpfige Standorte verweist. Bei den Steinkohlenflözen enthalten die Lagen darunter meist unterirdische Organe von Pflanzen, während die oberen Teile der baumförmigen Pflanzen vorzugsweise in den das Lager bedeckenden Schichten erkennbar sind (H. POTONIÉ 1895 / 1896) Das Problem war die teilweise große Mächtigkeit der Flöze, die viele Generationen von Gewächsen zu ihrer Bildung benötigt haben müssen. Wie standen dann Bäume aufrecht? Über Jahrhunderttausende nicht umgeknickt?

Es gibt zweifellos auch allochthone Kohlenlager. Umstritten war auch das Klima zur Zeit von Kohlebildungen. Heutige Torfmoore sind vor allem ein Charakteristikum kühler Gegenden, bestehen aus Torfmoos und wenigen anderen, teilweise strauchförmigen Pflanzen, nicht aber aus Bäumen. Auch tropische Waldmoore mit reicher Torfbildung wurden aber seitdem gefunden.

Torf

Die Herkunft von Torf wurde im Zusammenhang mit der zunehmenden Erörterung der Kohlebildung im späten 19. Jh. noch einmal viel diskutiert (H. POTONIE 1907). In der Geschichte gab es auch über die Moorbildung manche später überholte Ansicht. CHR. KEFERSTEIN meinte 1826, daß Torf durch die torfigen Wässer, nicht durch die Pflanzen abgeschieden wird. Die Hochmoore der kühlen, feuchten Gegenden werden vor allem aus **Torfmoos**/*Sphagnum* gebildet, zwischen dem wenige höhere Pflanzen wachsen. Die mit einer schwer angreifbaren ligninhaltigen Zellwand versehenen Torfmoose wachsen an der Spitze neben ihren Vergabelungen im Jahr etwa 10 cm in die Höhe. Im unteren Bereich sterben die Torfmoose ab. Zusammengepreßt und verdichtet ergibt das maximal 1 - 2 mm Zuwachs an Torf im Jahr. Die Moore Mitteleuropas und auch Skandinaviens bildeten sich nach der letzten Eiszeit und ihr Aufbau und ihre Substanz dokumentieren die nacheiszeitliche Vegetationsentwicklung ihrer Regionen. Die **seit der letzten Kaltzeit** gewachsenen Hochmoore haben also eine Bildungszeit von etwa 10.000 Jahren hinter sich. Bei einem **Zuwachs** von **1-2 mm** im Jahr nach dem Zusammenpressen können dann **höchstens 10 - 20 m Torf gebildet** worden sein. Nach der Abtorfung ist mit einem Moor erst einmal Schluß. Torf schien regional reich vorhanden zu sein, ist aber eine relativ rasch ausgebeutete Ressource. Nur großflächige Torflager etwa in Irland erlauben die weitere Nutzung von Torf als Brennmaterial. Die Existenz von tropischen und subtropischen Torfmooren wurde bisweilen bezweifelt, jedoch hatte, wie bereits K. KEILHACK (1915) herausfand, JOHN ANDERSSON 1794 Torfvorkommen auf Sumatra erwähnt. Unter J. W. IJSERMAN wurde 1891 ein 80 000 Hektar großes Tropenmoor auf Sumatra näher studiert. Im Jahre 1911 wurde von Torfmoorbildungen im tropischen Ostafrika berichtet. K. KEILHACK (1915) untersuchte ein drittes tropisches Torfmoor 1913 auf Ceylon / Sri Lanka.

Erdöl

Die Herkunft des Erdöls war mit am meisten umstritten, aber die Zurückführung des Erdöls auf **Meeresplankton** fand die meiste Zustimmung.

Erdöl aus einem Bohrloch floß das erste Mal am 27. August **1859** bei Titusville in Pennsylvanien, wo EDWIN LAURENTINE DRAKE angeregt von Bohrungen auf Salz-Sole zu einer Bohrung geschritten war. Um 1862 ergoß sich eine wahre Völkerwanderung zu den Erdölquellen in Pennsylvanien und die verbesserte Petroleumlampe zog in Europa auch die weitere Ausbeutung von Erdöl in Galizien nach sich. Der französische Chemiker BERTHELOT und namentlich MENDELEJEV (etwa 1877) führten Erdöl auf die Reaktion von Carbiden im Erdinneren mit Wasser zurück. Das bedeutete die Möglichkeit ständiger Neubildung. Biotische Entstehung vertraten und versuchten nachzuweisen der österreichische Geologe HANS HÖFER und der in Karlsruhe am Polytechnikum (seit 1885 Technische Hochschule) wirkende Chemiker ENGLER. Letzterer ließ zur Überprüfung seiner Annahme der Erdöl-Entstehung 492 kg braunblanken nordamerikanischen Fischtran bei anfangs 10 Atmosphären und dann absinkendem Druck zwischen 320 und 400° C destillieren. Es gab brennbare Gase und schied sich eine ölige Schicht mit Kohlenwasserstoffen ab. Tierische und pflanzliche Fette und Wachse ergaben bei ähnlicher Behandlung ebenfalls Öl. Für eine von der Kohlebildung andersartige Entstehung des Erdöls sprach, daß Erdöl nicht mit Kohlenlagern verknüpft ist, auf primärer Lagerstätte Tier-Reste enthält, optisches Drehvermögen auftritt, Phenole fehlen. G. KRAEMER führte das in Torfmooren häufige Erdwachs auf Diatomeen (Kieselalgen) zurück, weil sie Öltröpfchen besitzen und sah darin Ausgangsmaterial für Erdöl und Erdwachs, während Tierfett nie reichlich genug vorhanden gewesen sei (A. BANNOW 1916). Etwa E. BERL und H. BIEBESHEIMER (1933) sahen auf Grund ihrer Experimente auch Zellulose sich in Richtung auf erdölartige Stoffe umwandeln.

Schieferöl, Bitumenhaltige Sedimente

Bei manchen an Öl oder auch Gas reichhaltigen Gesteinen sprudeln Öl, Gas und gerade auch die hochmolekularen Kohlenwasserstoffe, **Bitumen** nicht spontan heraus. Sie müssen mit Wärme, mit Hitze, herausgeholt werden. Das so gewonnene Produkt muß natürlich mehr Energie liefern als zur Gewinnung hineingesteckt wurde. Man spricht von 'Ölschiefern', obwohl es einfache ungeschieferte Sedimentgesteine sind. Der als **Vorstufe zum Erdöl** zu sehende Stoff heißt **Kerogen**. Er kann im 'Ölschiefer' bis 20 - 30% enthalten. Zur Nutzung sind mindestens 4% nötig. Bei Autun in Frankreich begann der Abbau 1837 (Wikipedia u. a. im Internet 2019).

In Deutschland ist der **Posidonienschiefer** eine dunkle Schicht im unteren Lias. Aufgeschlossen wurden solche Posidonienschiefer in Schwaben bei Holzmaden bei Kirchheim am Teck und bei Boll. Der Gehalt an organischer Substanz beträgt

meistens 7-10 Gewichtsprozent, kann aber auf fast 20 Prozent steigen (M. ULRICHS et al. 1994). Bei Boll brach 1668 in einer Schiefergrube ein Brand aus und konnte in 6 Jahren nicht gelöscht werden. Durch die Hitze verflüssigte sich das Bitumen und floß als Öl aus dem Gestein. Es wurde von den Bauern abgeschöpft und als "Steinöl" verkauft. Im 19. Jahrhundert gab es auf den Vorschlag von F. A. QUENSTEDT von 1847 Versuche, Schieferöl zu gewinnen. Die als Nebenprodukt anfallenden Gase sollten die Wärme für die Destillation liefern. Im Jahre 1854 arbeitete eine Versuchsanlage in Ohmenhausen bei Reutlingen. Sie erzeugte in 3 Jahren fast 1000 Zentner Öl. Mit dem Import des billigen Petroleums aus Nordamerika war die Rentabilität der schwäbischen Schieferölfabriken, so auch seit 1857 in Hechingen und Eislingen und schließlich ebenso in Holzmaden, nicht mehr gegeben. Während der beiden Weltkriege wurden noch einmal Versuche aufgenommen, Schieferöl zu gewinnen. Jedoch konnten nur etwa 1/3 der im Gestein enthaltenen organischen Substanzen gewonnen werden.

Schon 1791 als "feuerfangende Erde" bekannt und 1839 von VON HELMERSEN beschrieben wurde der "bituminöse Thonschiefer und ein neu entdecktes brennbares Gestein" in **Estland** (P. SIEGFRIED 1940, S. 489). In Estland ist Ölschiefer noch sehr wichtig, ist Estlands wichtigster Rohstoff. Bei Narva befindet sich 2019 das größte auf Ölschieferbasis arbeitende Kraftwerk. Ölschiefer läßt sich auch direkt verbrennen (Wikipedia 2019 u. a.).

Im **Ölsande** ist Öl in Sanden oder Sandsteinen aufgesaugt genannt, die Rede ist von bis 18 Massen-%. Große Lagerstätten von Ölsanden gibt es in **Nordamerika**, besonders dem westlichen Kanada und in Utah (Internet 2019). Die Kohlenwasserstoff-Reserven in den Ölsand-Lagerstätten sollen "die Vorräte an konventionellem Rohöl um mehrere Größenordnungen übersteigen" (ULLMANNs Enzyklopädie der technischen Chemie, 4. Aufl., Band 17, 1979). 1967 begann die 'Great Canadian Oil-Sands LTD.' mit der Produktion, um 1979 etwa 8000 Kubikmeter am Tag.

Veränderungen der Gesteine nach ihrer ersten Bildung - aus dem Primären und Sekundärem wurde ein Drittes - hin zu metamorphen Gesteinen

Diagenese und Metamorphose

Alles in und auf der Erde ist der Veränderung, der Dynamik der Natur unterworfen. Gesteine und das Material, aus dem sie im engeren Sinne hervorgehen, vor

allem auch Ablagerungen, gerade lockere Massen, bleiben nicht lange unverändert. Sie verfestigen sich oder werden verfestigt bei Erhaltenbleiben der Fossilspuren. Man spricht von **Diagenese**. Die Materialien erfahren chemische Wandlungen, durch **Stoffaufnahme oder Stoffabgabe**, bezeichnet als **Metasomatose**. Ist das Ausgangsgestein, gleich welcher Art, nicht mehr oder kaum mehr zu erkennen und werden auch die Fossilspuren ausgewischt, wird von **Metamorphose** gesprochen. Es ist eine durch Konvention bestimmte Grenze, ab wo man in der Gesteinsveränderung die Metamorphose beginnen läßt. Der Begriff der 'Metamorphose' war einer der umstrittensten in der Geologie (ROTH 1871/1872). Es wurde damit vor allem eine Gesteinsveränderung bezeichnet, die Gesteine so stark verwandelt, daß es **schwierig wird, das Ausgangsgestein noch festzustellen**, die so verwandelten Gesteine selbst sind weder sedimentär oder magmatisch, nicht mehr unterscheidbar, wie der Schweizer Geologe CE'SAR EUGÈNE WEGMANN (z. T. nach VON BUBNOFF 1954, S. 181) das ausdrückte, es herrscht das '**Migma**', Ergebnis der **Migmatisierung**. Eine wohl noch annehmbare Definition gaben 1924 der damals schon verstorbene GRUBENMANN und NIGGLI (S.1):

”Die Gesteinsmetamorphose umfaßt die Summe der Prozesse, welche außerhalb der Verwitterungszone und ohne Mitwirkung der Atmosphären eine tiefgreifende Veränderung vorhandener Gesteine zur Folge haben, ohne daß sich während der Umwandlung in irgendeinem Zeitmoment die Gesamtmasse der Gesteine im Zustand der Lösung befindet. - Ein Gestein bezeichnen wir dann als metamorph, wenn die durch die Umwandlung erworbenen Eigenschaften das Gesamtbild bedingen.” (im Original gesperrt). Nicht jede Gesteinsveränderung ist Metamorphose. Eine das noch einmal betonende weitere Definition bei GRUBENMANN und NIGGLI (1924, S. 179): ”Metamorphose ist die Summe der Prozesse, durch welche einzelne oder alle der drei Faktoren Mineralbestand, Struktur und Textur einer als Ganzes erhalten bleibenden Minerallagerstätte eine wesentliche Änderung erleiden, wobei jedoch gewisse, an die Grenzzone der Lithosphäre mit der Atmosphäre und Hydrosphäre geundene Erscheinungen (Diagenese, Zementation, Verwitterung, Halmyrolyse usw.) nicht inbegriffen sein sollen.” (im Original gesperrt). Unklar erschien auch GRUBENMANN und NIGGLI, wie weit auch die Verwandlung von organischem Material, also die Kohle-Bildung oder die Bildung von Erdöl noch unter die Metamorphose fallen sollten.

Die nach ihrer ursprünglichen Bildung, bei den Sedimenten nach ihrer primären Ablagerung erfolgten Veränderungen mußten denjenigen bewußt sein, welche aus den Gesteinen den Gang der Erdgeschichte rekonstruierten. Deshalb nahm sich der vor allem als Stratigraph führende ADAM SEDGWICK etwa 1829 des Problems an.

Die ältesten Gesteine sind mehr oder weniger alle verändert. Eine Ausnahme ist

der Blaue Ton des Kambrium aus Estland, der als der älteste noch plastische Ton gilt (C. W. CORRENS 1938, S. 213. Veränderung an Gesteinen ist aber nicht nur eine Altersfrage, betraf auch jüngere Gesteine, etwa rings um Lava-Ausbrüche, erstarrt rings um Basalt. Die chemischen Vorgänge im geologischen Geschehen der Erdkruste wurden in Deutschland etwa untersucht von HERMANN HARRAS-SOWITZ (R. WEYL 1966), Gießen, der im Dritten Reich widerrechtlich in den Ruhestand versetzt wurde.

Diagenese - Verfestigung von zunächst lockeren Ablagerungen

Von Diagenese wird gesprochen, wenn etwa die Sandkörner eines Sandsteins nicht auseinanderfallen, sondern miteinander wie verwachsen sind. Da im allgemeinen dabei 'Bindemittel' mitwirken, ist diese Verfestigung nicht nur mechanisch, sondern auch chemisch zu erklären. Der **Terminus 'Diagenese'** für Gesteinsverfestigung wurde, und zwar wohl erstmals, von GÜMBEL benutzt, **1868** in seiner "Geognostischen Beschreibung des ostbayerischen Grenzgebirges", damals, um die von ihm angenommene Entstehung des Gneises in einer jedoch bald überwundenen Weise zu beschreiben. Die umfassendere Benutzung des Begriffes 'Diagenese' stammt von J. WALTHER (K. ANDRÉE 1911), der darunter alle physikalischen und chemischen Veränderungen eines Sedimentes verstand, die nicht dem Hinzutreten von Gebirgsdruck und Vulkanwärme zuzurechnen sind. Etwa KARL ANDRÉE versuchte Diagenese 1911 (S. 73) näher zu präzisieren: "...diejenigen molekularen und chemischen Umlagerungen..., welche das sedimentierte Material unter dem Einflusse des Mediums, in welchem es abgelagert wurde, erleidet und welchen es eventuell auch noch nach Heraushebung aus diesem Medium durch die gewöhnliche Bergfeuchtigkeit oder durch zirkulierende vadoses Wasser unterlegen ist, soweit dieselben keine fremden (von ausserhalb des Sedimentes stammenden) Stoffe gelöst enthalten." Als wichtigste hierher gehörende Vorgänge sah ANDRÉE Umkristallisierungen, Konkretionsbildung, Erhärtung, Entsalzung. WILHELM OSTWALD hatte etwa nachgewiesen, daß mit der Verfeinerung des Kornes die Löslichkeit steigt und das würde erklären, daß kleinere Komponenten in einer Ablagerung zugunsten größerer verschwinden. Bergfeuchtigkeit ist schließlich bis in größere Tiefen überall in der Erdrinde vorhanden.

Konkretionen

Die Konzentration im Gestein fein verteilter Stoffe zu Knollen, "Konkretionen", wurde ebenfalls zur Diagenese gerechnet (G. BERG 1922). Sie erscheinen vor allem

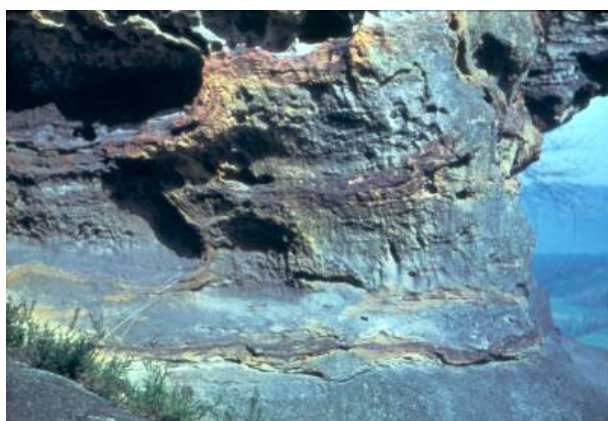


Abbildung 569: Brauneisenstein im Sandstein.

in Sedimenten, namentlich auch den feinkörnigen. Die Konkretionen sind epigene-tisch, also nach der Gesteinsbildung entstanden, etwa auch aus dem Nebengestein herausgelöst, also beruhen auf 'Lateralsekretion' (H. SCHNEIDERHÖHN 1962, S. 277). Solche Konkretionen sind in verschiedener Form, "von Nußgröße bis weit über Kopfgröße, die vereinzelt liegen oder oft auch zu vielen eng nebeneinander" und das häufig auf einzelnen Schichten. Konkretionen bilden sich auch um einzelne Fossilreste, deren bei der Verwesung entstehenden Stoffe "als Ausfällungsmaterial für den Stoff der Konkretion dienen". Nach späterer Innenschrumpfung gibt es "gekammerte oder hohle Konkretionen", die '**Septarien**' (S. 277). Manche solche Konkretionen sind wertvolle Rohstoffe, abbaubar wegen der Konzentrierung von Substanzen, etwa die "Toneisensteinknollen in vielen Schiefertönen, die Phosphoritknollen in vielen Tonschiefern, Tonen und Sanden" (G. BERG 1922, S. 379). Im Löß erscheinen Kalkkomkretionen, teilweise bizarr gestaltet, '**Lößkindel**'. Aus Elbesandstein gibt es Abscheidungen von Eisenmineralien.

Chemische Umwandlungen von Gesteinen

Kaolinisierung - chemisch verändertes Ausgangsgestein

Ziemlich an Landoberflächen entstand unter spezifischen klimatischen Bedingungen, einem tropisch-subtropischen Klima mit entsprechender Feuchtigkeit **aus verschiedenen Ausgangsgesteinen der bleiche Kaolin**. Rohhumus, wie er unter niedrigen Temperaturen und hohen Niederschlägen entsteht, sollte die darunterliegenden Gesteine intensiv zersetzen und die löslichen Produkte, also sowohl Alkalien wie Eisen, Mangan, Phosphorsäure, hinwegschwemmen, wodurch das weiße,



Abbildung 570: Kaolin auf Porphyr. Halle.



Abbildung 571: Kaolin, bei Hohburg.

gebleichte 'Gestein' Kaolin zustandekam ((H. L. F. MEYER 1916) (s. Boden). Verschiedenste Gesteine wurden kaolinisiert. Die Kaolinschicht wurde dann überdeckt und überdauerte nicht unverändert (O. WAGENBRETH 1971, S. 406). In den Brasilien erforschte die Bildung B. VON FREYBERG (1977, S. 11 ff.).

"Europas erstes und ältestes Kaolinlager" wurde beim Eisensteinabbau südlich von Aue im sächsischen Erzgebirge entdeckt, auf Granit unter Kontaktschiefer und diente seit 1709 als die "**weiße Erde**" für die **Porzellan-Herstellung** in Meißen. Erst gegen 150 Jahre später wurden die Kaolinit-Lager des Meißenener Hochlandes gefunden (K. PIETZSCH 1962, S. 715). Große Kaolingruben gibt es etwa nördlich von Halle, so bei Brachwitz oder in Sachsen bei Hohburg.



Abbildung 572: Kaolin SW Kamenz.

Chemische Umwandlung von Sedimenten - Metasomatose

Dolomitgesteine - Das Problem der Dolomitisierung

Zu den immer wieder in der Entwicklung von Geologie und Mineralogie diskutierten Probleme gehörte die Bildung der aus dem Doppelsalz **Dolomit**, $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ bestehenden **Dolomitgesteine**. Beide Verbindungen bilden ein einheitliches Mineral, liegen also nicht nebeneinander vor. Dolomitgestein ist nicht weiß wie Kalk. Und es tritt nicht überall auf, wo Kalk vorkommt. Aber auch ganze Gebirgszüge bestehen mehr oder weniger aus Dolomitgestein, sind wenigstens auch "dolomitisch" ausgebildet.

LEOPOLD VON BUCH sprach 1822 (1877, S. 55 ff.) "Ueber Dolomit als Gebirgsart", wurde also nicht nur als Mineralbestandteil von Gesteinen gesehen, sondern, obwohl eben auch ein Mineral, wegen seiner Verbreitung ebenso als einheitliches Gestein, "Gebirgsart" gesehen. Der Entdecker des Dolomits war DOLIMIEU, der in schwerer britischer Haft gesessen hatte und nach dem das von ihm gefundene Gestein resp. Mineral von SAUSSURE genannt wurde. DOLOMIT war auf diese "Gebirgsart" aufmerksam geworden, als er gemäß einem Brief aus Malta von 1791 festgestellt hatte, daß er bei der Untersuchung von vielen Kalksteinen auf welche stieß, die "wenig und langsam oder auch fast gar nicht mit Säuren aufbrausen" und das Gestein "widerstehe weit mehr der Verwitterun" (bei VON BUCH 1822/1877, S.55). Bei einem immer wieder durchgeführten Prüfen der Naturobjekt - hier kam es wieder zu einer überraschenden Entdeckung. Später fand DOLOMIEU diese Kalksteine massenweise in Tirol. VON BUCH berichtet dann 1823 (S. 92), wie der so fremdartige Dolomit sich "fast überall durch seine kühnen Formen ... auszeichnet", so (VON BUCH 1824/1877, S. 133) in den "wunderbaren



Abbildung 573: Dolomit. Gerolstein.

Felsen von Gerolstein“ und wohl entstand aus ”Kalkstein, durch Zutreten von koh-
lensaurer Magnesia aus dem Inneren“ und dabei Schichtung und Versteinerungen
verlor.

Die Dolomitfelsen des Fränkischen Jurakalkes wurden etwa durch AUGUST VON
STROMBECK 1831 (S. 537) beschrieben als schroffe Abhänge, ausgezeichnet
durch gänzlichen Mangel an Schichtung und senkrechte Zerspaltungen, ”die ihren
Gipfeln das Ansehen von Ueberresten zerstörter Burgen geben.” Das ließ diesen
Dolomit von dem gewöhnlich tiefer liegendem weißem Jurakalk unterscheiden. Es
heißt bei VON STROMBECK auch (S. 540), daß ”man die Bildung des Dolomits,
so wie man sie sich vorzustellen genöthigt ist, mit Nichts in der Natur jetzt noch Er-
scheinendem unmittelbar vergleichen kann; ...” SEDGWICK hatte 1829 die großen
Vorkommen von ’magnesian limestone’, also Dolomit, im nördlichen Mittelengland
beschrieben. Der Frankendolomit (P. DORN 1926) wurde von GÜMBEL im Malm,
einer von dessen Stufen, eingeordnet, wobei nicht alles in dieser Malmstufe Do-
lomit ist. Dolomitgestein bildet auch die eigenwilligen Felsen bei Gerolstein in der
Eifel. Und Dolomitgestein gab einer ganzen Alpenregion, und einer besonders ein-
drucksvollen, den Namen ”Dolomiten” (Internet 2013). Die beiden Engländer JO-
SIAH GILBERT und GEORGE CHEETHAM CHURCHILL bereisten 1862/1863
die Alpen und gaben ihrem 1864 veröffentlichten Reisebericht den Titel ”The Do-
lomite Mountains”. Das Buch erschien 1865 auch auf Deutsch. Der französische
Minealoge DOLOMIEU hatte also seinen Namen nicht nur einem Mineral, einem



Abbildung 574: Dolomiten-Welt:Corvara.

gewiß häufigen, sondern einem ganzen Gebirgszug aufgepägt, lange nach seinem Tod.

Etwa in der unteren Abteilung des Unteren Muschelkalks in Schwaben ist Dolomit als eine Bildung flacher Meeresteile anzusehen.

.

Die **Entstehung** des Dolomits war eines der strittigen Probleme der Sedimentgeologie, denn der Unterschied zwischen dem geschichteten Kalk und dem nicht geschichtet wirkenden Dolomit sollte erklärt werden. "Von den vielen schwierigen Problemen, die uns die Petrographie der Sedimentgesteine vorlegt", schrieb 1907 (S. 397) E. PHILIPPI, "hat kaum eine die Wissenschaft so stark beschäftigt, so viele Experimente und Hypothesen hervorgerufen, wie die Frage nach der Bildung des Dolomits in der Natur." Weder entsteht Dolomit durch die Tätigkeit von Organismen noch kristallisiert der Dolomit aus einer Lösung beider Einzelkomponenten, CaCO_3 und MgCO_3 , aus. Bei Experimenten wurde etwa Kalk mit einer Lösung von Magnesium-Sulfat erhitzt bei 200°C im geschlossenen Glasrohr, aber wo in der Natur waren auch in der jüngeren Vergangenheit im Meere schon diese Temperaturen anzunehmen.

Es gab vor allem die Hypothese einer **primären Bildung**, also der unmittelbaren Bildung von Dolomitgestein, so bei GÜMBEL; und die Annahme einer **sekundären Bildung**, also durch nachträgliche Zufuhr von Magnesium-Verbindungen,

Oxid oder Carbonat, zu Kalkgestein, wie bei F. W. PFAFF. Eingehend erörterte wurde das bei dem damals in Erlangen als Privatdozent tätigen PAUL DORN 1926 in Anlehnung an Untersuchungen in der Frankenalb, beim 'Frankendolomit'. Der 1959 gestorbene DORN war zuletzt Professor an der Technischen Hochschule in Braunschweig. Bei Annahme einer primären Bildung des Dolomitgesteins war schwer einzusehen, wieso nur in manchem Carbonatablagerungen von vornherein ausreichend Magnesium++ -Ionen vorhanden war, in anderen nicht. Dolomitgestein, also die dolomitische Fazies im Malm Eta, gibt es zwar in Teilen der Frankenalb, aber schon in der südöstlichen Frankenalb und im schwäbischen Jura ist diese Stufe als Kalkfazies ausgebildet. Sollte der Frankendolomit schon während seiner Entstehung als Dolomitgestein ausgebildet worden sein, so bliebe das Rätsel, warum das Magnesium-Ion gerade in seinem Ablagerungsgebiet ausreichend vorhanden war, in benachbarten Meeresgebieten jedoch offensichtlich nicht. Das Magnesium + + - Ion ist schließlich im Meerwasser so reichlich nicht vorhanden. Höherer Magnesiumgehalt hatte sich sogar als lebensfeindlich erwiesen und deshalb waren Organismenreichtum und das Auftreten von viel Magnesium nicht recht zu vereinbaren. Während der Diagenese des abgelagerten Kalkes, so wurde etwa von P. DORN (1926) gedeutet, wurde aus dem Kalk noch unter Wasserbedeckung in einem metasomatischen Verdrängungsprozeß der Kalk wenigstens teilweise in Dolomit umgewandelt. Meistens befindet sich das Dolomitgestein in Verbund mit Kalkstein und das leichtere Herauslösen des Kalks gibt den Dolomitfelsen die höhlenreiche (cavernöse) und porenreiche Struktur, die wie Felsruinen aussehen (H. CREDNER 1912). F. von RICHTHOFEN, der 1860 große Dolomitstöcke in Südtirol als ehemalige riesige Korallenriffe gedeutet hatte, fragte aber richtig (1860, S. 297): "... die Quelle der Magnesia bleibt daher die einzige nicht ganz zu hebende Schwierigkeit". Forschungen dazu gab es seit Mai 1896 durch eine Expedition unter SOLLAS am Südsee-Atoll Funafuti. Ein gewisser Anteil von Dolomit fand sich bei jungen **Riffkalken**. P. DORN erörterte 1926 (S. 174) die Herkunft des Magnesiums aus dem Meerwasser, Hartteilen von Tieren wie den einst ebenfalls wohl große Riffe bauenden Schwämmen oder aus grünen Pflanzenmassen, etwa Algen. Das Chlorophyll grüner Pflanzen enthält Magnesium. Das wird also in Pflanzen konzentriert. Aber hierzu und zu anderem mußte DORN sagen, daß diese Dinge "sehr wohl im Bereiche des Möglichen liegen" (S. 175), aber eben nur das.



Abbildung 575: Old Red Sandstone. Findlingspark Nochten.

Metamorphe Gesteine

Metamorphe Gesteine und ihre Stellung in der Erdkruste

Manche Gesteine entstanden aus anderen, schon vorhandenen Gesteinen, gingen aus einer Umbildung hervor, einem Metamorphose genannten Prozeß, sind Metamorphe Gesteine, **Metamorphite**. In einer Grobeinteilung kann man unterscheiden geschieferte Metamorphite und ungeschieferte. Häufige unter den letzteren sind Quarzite und Marmor (F. AHNERT 1996, S. 84).

Metamorphe Gesteine aus Granit, wofür man den Gneis ansah, haben mit den granitischen Tiefengesteinen die voll-kristalline Struktur gemeinsam, andere Merkmale ähneln denen der Sedimentgesteine (F. BECKE 1910). Zu den metamorphen Gesteinen wurden der Gneis, Glimmerschiefer, kristalline Schiefer und andere auch unterschiedlich benannte Gesteine gerechnet, denen vor allem ein hohes Alter gemeinsam sein sollte. Metamorphe Gesteine waren vor allem in den alten "Grundgebirgen", dem "Übergangsgebirge" WERNERS, zu untersuchen, in Sachsen etwa im Erzgebirge oder im Sächsischen Granulitgebirge, und konnte und wurde in besonders starkem Maße auch betrieben in Skandinavien, wo mehr als anderswo in Europa uralte Gesteine an die Erdoberfläche gelangten. Diese Territorien mit vielen metamorphen Gesteinen wurden in ihrer Geschichte hoch emporgehoben, wurden stark abgetragen und entblößen nunmehr jene Tiefenzonen, die sich einst kilometerweit unter der Erdoberfläche befanden. Was sich dort in beträchtlicher Tiefe abspielte, etwa mit abgesunkenen Gesteinen, läßt sich in ihren erstarrten Folgen nunmehr mehr oder weniger deutlich oberirdisch ablesen.

Wie später deutlich wurde, konnten bei Orogenesen metamorphe Gesteine entgegen früherer Annahme **in allen erdgeschichtlichen Zeiten** zustandekommen. Sie waren also nicht, wie öfters angenommen (L. MILCH 1910), prinzipielle Altersindikatoren, auch nicht in den alten Grundgebirgen. Es konnte keine 'Formation der kristallinen Schiefer' ausgegliedert werden. Mit zunehmenden Alter eines Gesteins erhöhte sich gewiß die Möglichkeit, lange Zeiten in Tiefenbereiche zu gelangen, in denen Metamorphose stattfindet. Dadurch gibt es in den älteren Perioden der Erdgeschichte wesentlich mehr metamorphe Gesteine, und es auch wurden metamorphe Gesteine aus älteren Perioden im Laufe langer Zeiträume herausgehoben, während die in jüngeren Zeiten abgelaufenen Metamorphosen ihre Ergebnisse noch tief im Erdinneren verbergen. Für Gneise des Tessins (Schweiz) hatte man mit Hilfe der radioaktiven Altersbestimmung ein Alter der Umkristallisation von 17 bis 19 Millionen Jahren erhalten (E. BEDERKE 1960), was also der Zeitdauer der Metamorphisierung in den Tiefen der Alpen-Geosynklinale entsprechen konnte. Hier sind also metamorphe Gesteine jung, zweite Hälfte des Tertiär, braunkohlen-alt.

Die Metamorphose, die Bildungs von metamorphen oder überhaupt veränderten Gesteinen ist nicht nur eine Angelegenheit der Petrographen, sondern ist ein **geologischer Prozeß**, mit Aussagen über entscheidend auch der Geologie zugehörige Vorgänge in der Erdkruste, über vor allem mit den Orogenesen zusammenhängende Prozesse. Jede "Gesteinsmetamorphose" ist, wie U. GRUBENMANN und NIGGLI (1924, S. 175) definierten: "... Teil des geologischen Geschehens des zugehörigen Erdrindenteiles ... ist als geologischer Vorgang zu bewerten ..." und "eine bestimmte Metamorphose" ist "das notwendige Produkt aller auf das Erdrindenstück wirksam gewesenen Kräfte ..."

Frühe Vorstellungen von metamorphen Gesteinen

Vorstellungen über das, was einmal Metamorphose heißen sollte, gab es bei HUTTON. Die am Meeresboden abgelagerten Sedimente sollten durch Hitze vorübergehend aufgeschmolzen und damit verfestigt wurden (L. MILCH 1910, S. 41, S. 41, W. NIEUWENKAMP 1965). Die Feuersteine in der Kreide sollten dabei in geschmolzenem Zustand in das Gestein eingedrungen sein.

Im Jahre 1828 hat der in Christiana (heute Oslo) lehrende BALTAZAR MATHIAS KEILHAU geschrieben, daß auch **in den als starr betrachteten Massen der Gesteine Stoffbewegungen** stattfinden können und also Veränderungen eintreten. Er verwies auf von anderen beobachtete innere Stoffbewegungen bei Kupferlegierungen und in Kristallen. "Es kann und muß", hieß es, "die Voraussetzung weggeräumt werden, daß die Theile der Gebirgsmassen, hinsichtlich ihrer specifischen

Beschaffenheit und dem Orte, den sie jetzt einnehmen, überall noch immer dieselben sind, wie im Augenblick, wo sie oder ihr Material einst aus gasförmigen oder feurigflüssigem Zustande, oder aus einer Auflösung in irgendeinem neptunistischen Fluidum hervorgingen". Die größten Veränderungen erwartete KEILHAU am Kontakt von Gebirgsmassen. Die Entstehung mancher 'Mineralerzeugnisse' sollten aus solchen Veränderungen erklärt werden. WEGMANN bezeichnete KEILHAU als den 'eigentlichen' Vater des Transformismus', hier also des 'Transformismus' von Gesteinen.

Der **Terminus 'Metamorphose'** für die Gesteinsumwandlung wird zurückgeführt auf AIME BOUË (W. NIEUWENKAMP 1965), der etwa im sächsisch-böhmischen Erzgebirge an den Grenzen des Granits Gneismassen und gneisartige Schiefer als umgewandelt betrachtete (F. HOFFMANN 1830, II). In der Botanik etwa oder für die Insektenverwandlung ist der Terminus "Metamorphose" für ganz andere Vorgänge schon länger in Gebrauch. Es muß also auch hier betont werden, daß gleiche Worte in verschiedenen Wissenschaften für unterschiedliche Dinge verwendet werden.

LYELL gab eine klare Vorstellung von den metamorphen Gesteinen im 3. Band seiner "Principles of Geology..." 1833, um 1834 in seinen "Elements of Geology" seine Ausführungen zu erweitern (L. G. WILSON 1980). Vielfach gilt LYELL als der wichtigste **Entdecker der metamorphen Gesteine**. Die mögliche Umwandlung der Gesteine kam seiner Vorstellung von langen Zeiträumen und der Erdkrustengestaltung mit vielfach dem gleichen Material entgegen. Wegen der Entstehung der metamorphen Gesteine in der Tiefe, rechnete schon er mit ihrem Auftreten vor allem in alten, in langer Zeitdauer weit herausgehobenen Formationen. DARWIN hatte in den Anden über Granit umgewandelte Sedimente beschrieben.

Je höher eine Region, eine Scholle, ein Gebirge emporgestiegen ist, aus desto größerer Tiefe gelangten Gesteine, manchmal eher gemischtes Gesteinsmaterial, an die Oberfläche, und in desto 'tieferer' **nach oben gebrachte Tiefe** der 'geronnenen' Umwandlungen konnte der Petrograph oder Geologe hinabblicken. Gar nicht so tief blickt hinab in den Alpen, viel 'tiefer' auf dem Fennoskandischen Schild. In vielen Gebieten der Erde, sedimentbedeckt, ist die Tiefe verborgen, kann aber ebenso wildbewegt sein wie an der Oberfläche fennoskandias.

Eine spezielle Metamorphose - die Schieferung

Der Begriff 'Schiefer' ist mehrdeutig (O. WAGENBRETH 1967 b). Er wird verwendet auch für "dünnspaltendes Gestein" generell, also auch in primärer verfestigter Ablagerung, "**Schiefer**" - das bedeutete für ein Gestein eine "mehr oder minder

deutlich entwickelte Parallelanordnung der Gemengteile", Das gab es bei Sedimentation in flachen Lagen, wie es der 'Kupferschiefer' vorführte oder im Malm von Solnhofen, im unvergleichlichen "Lithographenschiefer", geschehen war Aber viel **häufiger** war Schieferung ein **Ergebnis von Metamorphose** und solche hatte die kristallinen Schiefer zuwegegebracht. Phyllite/Blätterschiefer sollten über Glimmerschiefer ein Weg zu kristallinen Schiefern sein (L. MILCH 1910, S. 42). Die Kristalle sind nach einer Ebene geregelt (P. ESKOLA 1946, S. 283). Die aus Metamorphose stammenden geschieferten Gesteine, die altpaläozoischen vor allem, meistens dunkel in der Farbe, nannte man '**Kristalline Schiefer**'. Eine Formulierung wie 'Formation der kristallinen Schiefer' sollte wegen ihres Übergreifens über die nach den Fossilien festgelegten 'Formationen' vermieden werden (L. MILCH 1910, S. 55).

Die **Trennfugen** zwischen den **Schieferplatten**, das Ergebnis der **Schieferung**, entsprechen **nicht Schichtfugen**. Die Schieferung wurde in einem Winkel zu den ursprünglichen Schichtfugen aufgeprägt. Über die Schieferung bei alten Gesteinen, altpaläozoischen Sedimenten, schrieb als einer der ersten Forscher A. SEDGWICK 1835. Er wollte den Terminus 'metamorphic' auch für die geschieferten Gesteine angewandt wissen. Die Schieferung war schon deshalb für die Beurteilung der Gesteine wichtig, weil die in den Schiefern bestehende plattenartige Absonderung von dünnen Schichten die bei der Ablagerung dieser Sedimentgesteine entstandene Schichtung meist in einem Winkel schneidet. Die Schieferung verdeckt, ja verbirgt oft die ursprüngliche Schichtung. Ein Schiefer bricht nach den Schieferungsflächen, nicht nach der oft nur noch schwierig zu erkennenden ursprünglichen Schichten. Die Schieferung erstreckt sich in einem Gebiet öfters sehr weit in gleichartiger Weise. Die Kraft, welche die Schieferung bewirkte, muß daher sehr weit wirksam gewesen sein. Wobei die gleichartige Schieferung über weite Strecken, wie SEDGWICK hervorhob, auch auf einer gewissen hohen Homogenität der geschieferten Massen bestanden haben mochte. Für tektonische 'Kräfte' als Ursache der Schieferung sprach, daß die Schieferung nahezu parallel mit der Achse der Gebirge verlief (A. SEDGWICK 1847). Es gab die Diskussion (L. MILCH 1910, S. 40), ob zur Entstehung der kristallinen Schiefer neues Material aus der Tiefe hinzukommen muß, oder ob "Eruptiv- und Sedimentmaterial ... sich ... lediglich durch Anpassung an veränderte physikalische Bedingungen unabhängig von ihrer Entstehung zu kristallinen Schiefern umgewandelt haben." Es war also die Frage nach dem Ausmaß, in dem allein durch geänderte physikalische Parameter ein Gestein sich in Gestalt und auch Chemismus verändern konnte.

Eingehende Untersuchungen der Metamorphose und unterschiedliche Metamorphosen

In der Metamorphose gibt es vom Ausgangsgestein aus **alle Übergänge** zu den stark veränderten metamorphen Gesteinen. Beginnt etwa mit der Verkittung und "die Körner bleiben anfangs unverändert", es bleibt die Struktur also anfangs noch erkennbar, und ein klastisches mechanisches Sediment ist "blastokalstisch" (P. ESKOLA 1946, S. 282). Wasser und namentlich Heißwasser aus der Tiefe mochte Gesteine auch verändern und "**chemische Metamorphose**" bewirken (L. MILCH 1910, S. 42), vor allem, wenn Wasser Chlor- und Fluor-Dämpfe, die '**Mineralisatoren**' DE BEAUMONTs mitführten (S. 53). Als **Kontaktmetamorphose** wurde die Gesteinsveränderung in der Nachbarschaft hochgedrungener Magmen bezeichnet, also im Nachbargestein etwa der Granit-Intrusionen. Der Kontakt spielte sich hier tief im Erdinneren ab. Die Reichweite solcher Magmen erschien als begrenzt, erkannt etwa von CARL FERDINAND ROEMER 1844 im 'Rheinischen Übergangsgebirge'. Als Ergebnis von Kontaktmetamorphose in Schiefern erschien die Bildung kleiner 'Knötchen', Chlorit- und Serizit-Schüppchen etwa, fast in der Gestalt von Getreidekörnern, was zur Benennung dieser Schiefer als '**Frucht-** oder **Knotenschiefer**' (E. KAYSER 1893) führte. Ja, es wurden einst die Gebilde als Getreidekörner gesehen und haben die Fossilgeschichte irreführt. Bei **Theuma** im Vogtland liegen in der etwa 4 km reichenden Kontaktzone der Granitinsel von Bergen-Lauterbach die nach 1859 von dem Leipziger Bildhauer SYLBE gekauften und in großen Maßstab genutzten Fruchtschieferbrüche (L. HERRMANN 1915), und mit Sand aus einer nahen Grube werden mit Hilfe eines Pferdegöpels die Platten auf der Ober- und Unterseite glatt geschliffen und geben so dekorative Steine.. Die glatt geschliffenen Platten fanden mannigfache Verwendung als edles Gestein, von Treppenstufen bis zu Prachtbauten und Grabsteinen. Je näher dem Granit, desto stärker dessen Einfluß und vom Granit nach außen nehmen die getreidekornartigen Einschlüsse ab.

Kontaktreich ist die **Lausitz**, wo der von unten aufgedrungene Granit die darüberliegende Grauwacke veränderte, zu metamorphem "Hornfels" , und von der Grauwacke "kleine und große Schollen ... schwimmen im Granit und wurden von diesem während seines flüssigen Zustandes förmlich durchtränkt und teilweise aufgeschmolzen", regelrecht "verdaut" (F. KOSSMAT 1925, S. 44), aufgeschlossen etwa am Eichberg bei Königswartha, und am zu Quarzit verändertem Sandstein in der Hohen Dubrau.

Metamorphosiertes Gestein kann verwitterungsresistenter sein als der die Kontaktbildung auslösende Granit. Rings um die nun an der Oberfläche befindlichen westsächsischen Granitkomplexe, besonders um Bergen-Lauterbach und den fast



Abbildung 576: Fruchtschieferbruch Theuma.

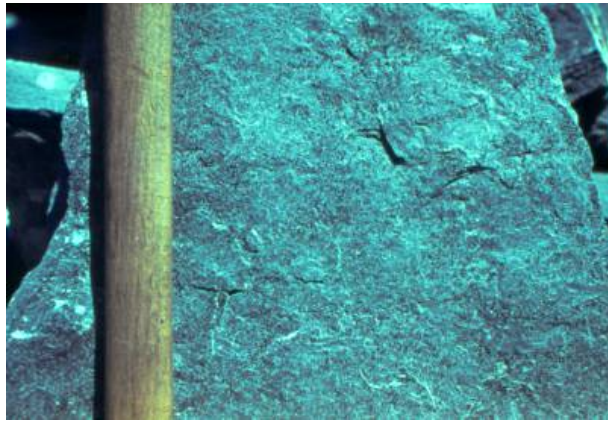


Abbildung 577: Fruchtschiefer. Theuma, Vogtl..



Abbildung 578: Gefritteter Sandstein.

kreisförmigen Granitkomplex um Kirchberg erhebt sich der "Kontakhof wallartig um das teilweise stark vergruste und ausgeräumte Granitgebiet" (K. PIETZSCH 1962, S. 708; D. QUECK 1974) Und ebenso ist das vor allem auch von Leipziger Petrographen erforschte **mittelsächsische Granulitgebirge** von einem über die Oberfläche des Granulitgebirges herausragenden Wall von durch den aufgestiegenem Granulit metamorphosierten Gesteinen umgeben, wie es F. KOSSMAT 1925 beschrieb: "einer mächtigen Hülle von metamorphen Schiefergesteinen, deren kristalline Beschaffenheit mit der Entfernung von der Kernregion abnimmt" (S. 30). Es wurden also die verschiedenen Stufen einer Metamorphosierung von nach außen abnehmender Hitze bei Blätterschiefern/Phyllite festgestellt. Die unmittelbare Umrahmung der Granulitkuppel erschien dabei gebildet von "reichlich biotitführenden Schiefergneisen, die durch Metamorphose aus tonerdereichen schieferigen Sedimenten entstanden" (S. 31). Noch weiter nach außen folgt der Übergang zu Phylliten (S. 32), mit schließlich dem 'normalen Habitus'. Pneumolytische Vorgänge traten bei der Metamorphosierung hinzu.

Die bis zur Erdoberfläche vorgedrungene und **Basalt** gewordene **Lava** hat etwa im Zittauer Gebirge **Sandstein gefrittet**, so gehärtet, daß der Sandstein zu dem in den Jonsdorfer Mühlsteinbrüchen abgebauten Mühlstein wurde (H.-D. BEEGER 1961).

An der näheren Aufklärung der Metamorphosen schien die Forschung manchmal zu verzweifeln. So klagte 1851 NAUMANN, daß die Lehre von der Metamorphose auch übertrieben wurde und man sich mit der Bezeichnung "metamorphosiert" jeder näheren Erforschung der älteren Gesteine enthuben glaubte. Es schien auch nicht möglich zu sein, die 'Metamorphose' im Laboratorium (A. SEDGWICK 1835) wenigstens angenähert nachzuahmen, was wiederum der Spekulation die Tore öffnen

mußte. Im Jahre 1871 legte JUSTUS ROTH (1872) dar, daß unter 'Metamorphose' "die verschiedenartigsten Dinge zusammengebracht werden" (1872, S. 151). STU-
DER hatte etwa in der Definition vor allem mit dem Ausschluß gewisser Faktoren
gearbeitet und rechnete zur 'Metamorphose im weiteren Sinne' alle die Einwirkun-
gen, welche durch andere 'Kräfte' als durch Schwere und 'Cohäsion' auf die Ge-
steine ausgeübt wurden (ROTH 1871 / 1872, S. 151). DAUBRÉE hatte auch die
Verwitterung, die Zersetzung und die Wirkung von warmen Quellen (Thermen) in
seine Untersuchungen der Metamorphose einbezogen. K. A. LOSSEN (1883) schlug
vor, auf eine eigene dritte Klasse der Gesteine, die 'metamorphen', zu verzichten,
da sie doch im allgemeinen auf ihre Ausgangsmaterialien Sedimente oder plutoni-
sche Gesteine zurückgeführt werden könnte. Wäre der Ursprung eines metamor-
phen Gesteins nicht zu ermitteln, so solle das eben eingestanden, nicht aber durch
eine unbestimmte weitere Gesteinsklasse umschrieben werden: "Lücken im Wis-
sen sollen auch als Lücken im System sichtlich hervortreten" (S. 501). Gerade auf
LOSSEN geht aber die Erkenntnis der '**Dynamometamorphose**' zurück, welche
Bewegung in der Tiefe als herausragenden Vorgang für die Gesteinsveränderung
annimmt. Man sprach dann auch von **Dislokationsmetamorphose**.

Nach Erfahrungen im Vulkangebiet am Laacher See hat R. BRAUN eine **Pyro-
metamorphose** aufgestellt, verursacht durch die Hitze aufsteigender Substanzen
(M. HOPMANN 1954). Zum Beispiel Syenit verfestigte sich erst bei 600°C und
eine Erhitzung auf 1000°C, wie SCHEUMANN erläuterte, ergab unter den Begriff
fallende Umbildungen (S. 383).

Nicht sehr klar war die Erfassung der **Gneise**, der grauen und roten, etwa im
sächsischen Erzgebirge. Daß Gneise auch **aus Sedimenten** hervorgehen können,
wurde 1879 mit der Entdeckung von Konglomeratgneisen bei Obermittweida im
sächsischen Erzgebirge durch ADOLF SAUER festgestellt (A. WURM 1948). SAU-
ER hielt die Gneise aber noch 1903 trotz Anerkennung ihrer metamorphen Natur
für archaisch, bis sie dann als metamorphosierte kristalline Schiefergesteine auch
jüngeren Alters und hervorgegangen aus Eruptiv- wie Sedimentgesteinen gesehen
wurden (K. PIETZSCH 1962). SAUER war ein versierter Kartierer im Erzgebirge,
der dann Professor an der Technischen Hochschule Stuttgart war.

Unterschieden wurden so die aus Eruptivgesteinen hervorgehenden **Orthogneise**
und die **Paragneise** aus sedimentärem Material.

W. SALOMON hat 1924 ebenfalls eine theoretische Berechtigung für eine "dritte
Gesteinsgruppe", die 'metamorphen', abgelehnt, aber zugestanden, daß man aus
dem "rein praktischen Grunde", daß man ihre Herkunft oft nicht ermitteln kann,
bestehen lassen.

Die Erforschung der metamorphen Gesteine und der Metamorphose wurde na-



Abbildung 579: Tonschiefer schwach metamorph: Phyllit.

mentlich von Petrographen wie HARRY ROSENBUSCH, FRIEDRICH JOHANN KARL BECKE (1910) (W. FISCHER 1953), dem Schweizer ULRICH GRUBENMANN weitergeführt. JOHANNES JAKOB SEDERHOLM (EU. WEGMANN 1975) unterschied um 1889 zwei Grade der Metamorphose. Vor allem F. BECKE und U. GRUBENMANN wiesen dann auf den Leitwert bestimmter Mineralneubildungen in Abhängigkeit von entsprechenden Temperatur-Druck-Bereichen hin (H. MURAWSKI 1964). In den Tiefen der Geosynklinalen, in den Tiefen der Regionen der Orogenesen, dort, wo besonders starke Metamorphose geschah, im Bereich der **Dislokationsmetamorphose** (G. LINCK et al. 1954), unter Druck, so allseitigem und Belastungsdruck, Temperaturerhöhung durch den Druck und auch die Erdwärme, unterschieden BECKE und GRUBENMANN von oben nach unten **Epizone**, **Mesozone**, **Katazone**. Und in jeder Zone entstanden **spezifische Gesteine**. "Aus einem Tonschiefer wird in der Epizone ein Phyllit, in der Mesozone ein Glimmerschiefer, in der Katazone ein Gneis" (S. VON BUBNOFF 1954, S. 82), und der Chemismus, die Zusammensetzung aus Elementen, mußte sich dabei nicht ändern.

Gneis, in Normtyp bestehend aus den denselben wie Granit, den Mineralien Feldspat, Quarz und Glimmer, hier langgezogen, war eben das Gestein der Katazone. Zerbrechen des Einzelminerals wurde von A. DAUBRE'E **Kataklase** genannt.

Namentlich der führende finnische Geologe PENTTI ESKOLA arbeitete das weiter

aus, daß in den einzelnen Tiefenbereichen mit jeweils besonderen Temperatur- und Druck - Verhältnissen charakteristische Metamorphosen stattfanden. Er sprach von 'metamorphen Fazies'. Aber unabhängig von geologischen Alter konnten sich zu den verschiedensten Epochen der Erdgeschichte metamorphe Gesteine bilden. Spezifische Stoffzufuhr und Stoffabfuhr spezifizieren die jeweils gebildeten metamorphen Gesteine. Größte Umbildungen wurden in Skandinavien und den benachbarten Regionen gefunden.

Es wurde aber etwa in Böhmen auch gefunden, daß der Grad der Metamorphosierung nicht durchgehend der Tiefe der Metamorphosierung entspricht, daß "Mit den GRUBENMANNSchen Zonen ... vielmehr nur der verschiedene Grad der Umwandlung erklärt" ist und nicht selten, "daß schwächer umgewandelte kristalline Schiefer unter intensiver umgewandelten Gesteinen liegen" (R. KETTNER 1959 II, S. 206/207).

Die präkambrisch gebildeten Tiefengesteine des südlichen Finnland erschloß vor allem auch im Zusammenhang mit seinen Kartierungsarbeiten in der 1877 das aufnehmenden Geologische Kommission Finnlands SEDERHOLM (s. etwa 1910; P. ESKOLA 1936, U. GRUBENMANN et al. 1924, S. 349, EU. WEGMANN 1975), Helsinki. 1893 war SEDERHOLM Direktor der Geologischen Kommission Finnlands geworden. An der Südküste Finnlands hatte SEDERHOLM das Material sogar vor der Haustür und es finden sich die von SEDERHOLM in Deutschland an offensichtlich von dort stammenden Findlingen. SEDERHOLM fand auch in diesem finnischen Präkambrium Konglomerate, konnte einstige sedimentäre und vulkanische Gesteine unterscheiden, so bei der Stadt Tampere die "schönsten archaischen metamorphen Sedimentärablagerungen mit wundervoll erhaltenen primären Strukturen (P. ESKOLA 1936, S. 294). Erdgeschichte, uralte, also auch hier, jedoch viel älter als die in Mitteleuropa erschließbare. In den Tiefen hatte es gegeben nach von SEDERHOLM gegebenen Begriffen '**Anatexis**' oder '**Palingenese**', ein Aufschmelzen und dadurch Umwandlung, eine 'Assimilation', welche die von SEDERHOLM **Migmatite** genannten Gesteine hervorbrachte. **Injektionen** gaben dem Gestein eine eigene Note, Schlieren, auch stark gewellt, im andersartigen Material (U. GRUBENMANN et al. 1924, S. 354 ff.), nicht als einfach metamorphosierte Gesteine anzusprechen, sondern Vereinigung von 2 zu einer neuen Einheit gewordenen Gesteinsschmelzen (C. E. WEGMANN 1935, S. 306 ff.), weit verbreitet in den freigelegten Uraltgebirgen Fennoskandias. Der Mineralbestand der Migmatite ist wie bei Granit, Gneisen und Glimmerschiefer, und Migmatite sollten wenn das überhaupt als möglich erschien nur unterschieden werden nach den wechselnden Strukturen und Texturen, kaum beschreibbar und auf das Foto angewiesen (S. 308). Man kann wohl sagen: **In der Erdtiefe schmolz wieder zusammen, was oben getrennt worden war** und von den Petrographen unterschieden werden



Abbildung 580: Findling metamorph.

konnte- ein Zusammenschmelzen wie die Theorie des Kreislaufs der Gesteine resp. deren Materialien es nahelegte. .

Frage war: War das, was Fennoskandia an abgeschlossenen Gesteinsvorgängen nun bot, nur in einer frühen Phase der Erde möglich gewesen, also liegt das hier Sichtbare "an dem hohen Alter oder an der ungeheuren Tiefe des Geschauten?" (H. CLOOS 1951, S. 141). Etwa C. EUGEN WEGMANN, der auch im Norden forschende Schweizer, zog die Schlußfolgerung, in den Worten von CLOOS (1951, S. 141): "... dürfen uns ... vorstellen, ähnliche Vorgänge, wie sie dort versteinert sind, wären gegenwärtig tief unter unseren Füßen noch im Gange. Nicht überall, aber doch in gewissen Zonen der Erde, vor allen in denen, die auch oben beweglich sind. Wir sähen also auf dem Umwege über das uralte Grundgebirge in die tiefen Fundamente des eigenen Lebensraumes." Anhänger des Aktualismus, was wilt Du mehr?

Metamorphe Gesteine wurden in großen Tiefen auch **wieder zu Magma**, und aus diesem, also aus metamorphen Gesteinen, konnte dann **wieder Granit** hervorgehen (K. R. MEHNERT 1965, S. 114), "deutet sich ein irdischer Kreislauf an, der von der metamorphen Faziesfolge über die Magmifikation zur magmetischen Vorgangslehre überleitet" (K. H. SCHEUMANN 1944, S. 116). **Das metamorphe Gestein** war also dann nicht wie bei ROSENBUSCH das Ende einer Entwicklung, sondern es konnte erneut in ein früheres Stadium zurückkehren und **in den Kreislauf der Gesteine** einbezogen werden. Und das nicht nur, wenn das metamorphe Gestein als solches an die Erdoberfläche kam und dann durch die Verwitterung zum Material für Sedimente wurde. SEDERHOLM hatte mehrfach die Gültigkeit des Aktualismus/Uniformitarismus auch für die sehr alten Zeiten betont, nicht ohne Einwände von anderen, welche auf einen doch einst anderen physikalischen

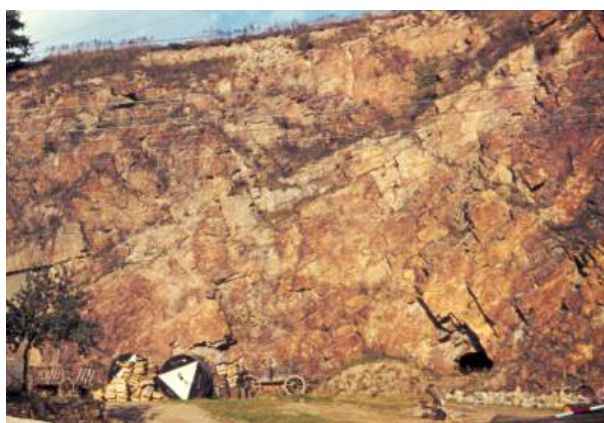


Abbildung 581: Granulit. Lunzenau.

Zustand der Erdoberfläche hinwiesen (P. ESKOLA 1936, S. 295).

Für die Erforschung von in die Katazone zu stellenden metamorphen Gesteinen kam in Mittel-Sachsen das etwa 50 km lange, nur hügelige, aber aus geologischen Gründen von NAUMANN 'Sächsisches Granulitgebirge' genannte Gebiet in Frage, das immerhin aber von einigen Flüssen, so Mulde, Zschopau, Striegis, Chemnitz tiefer eingeschnitten ist (K. PIETZSCH 1962, S. 682 ff.). Ein widerstandsfähigerer Schieferwall umgibt das mehr abgetragene und deshalb tiefere Innere mit dem Granulit und in dem ganzen Gebiet hat KARL HERMANN SCHEUMANN (H. HENTSCHEL F. LEUTWEIN 1967), zuerst Lehrer und 1928 - 1945 Ordinarius für Mineralogie an der Universität Leipzig, mit seiner 'Schule' eingehend geforscht. WERNER hatte eine von ihm als 1778 als 'Anomalie von Granit und Gneis' gesehene feinkörnige, oft helle Gesteinart als "Weißstein" bezeichnet, die dann C. S. WEIß 1803 "Granulit" nannte (K. PIETZSCH 1962, S. 684).

G. STEINMANN (1910) hatte den Gedanken, daß in älteren Zeiten die Metamorphose in geringeren Tiefen stattfand, weil die Temperatur der Erde einst höher war. Die damals dann möglicherweise intensivere Gebirgsbildung mochte sich auf ausgedehntere Zonen erstrecken als später und auch eine Erklärung sein, warum gerade aus den alten Zeiten so viele kristalline Schiefer bekannt sind. Hier wurde also aus der Kontraktionshypothese, so zweifelhaft vieles auch angesichts der Entdeckung der Radioaktivität, sein mochte, eine **deduktive Schlußfolgerung** gezogen. Wie beweisen?



Abbildung 582: Fluß Chemnitz im Sächs. Granulitgebirge.

Geochemie

Die Vorgänge an der Erdoberfläche und in der Erdkruste wie auch die Bildung bestimmter Mineralien, von Gesteine sowie die Zusammensetzung von Gewässern (Hydrosphäre) und der Atmosphäre haben als eine Voraussetzung, daß bestimmte chemische Elementen und Verbindungen vorhanden sind. Die in wirtschaftlich genutzten Verbindungen oder in gediegener Form genutzten Elemente sind nicht unbedingt jene, welche am häufigsten in der Erde vorkommen. Jedoch die Häufigkeitsverteilung der chemischen Elemente in der Erdkruste und der Weg der chemischen Elemente in und auf der Erde wurden erst am Ende des 19. Jh., mit der Entstehung der Geochemie, eingehender erörtert. Mit der Spektralanalyse war allerdings ab 1859 eine Forschungsmethode bekannt geworden, um gewisse Elemente, etwa Natrium und Kalium, auch in Spuren nachzuweisen und so ihre weite Verbreitung in der Erdkruste deutlich zu machen. Begründete Schätzungen über die Häufigkeit der Elemente in der obersten Kruste lieferte der US-Chemiker F. W. CLARKE, etwa ab 1891. Die Häufigkeit der Elemente im oberen Mantel der Erde muß nicht mit dem Vorkommen in größerer Tiefe übereinstimmen, aber über den Chemismus der Tiefe sind nur Hypothesen möglich. H. HARRASSOWITZ meinte einmal (1931, S. 492): "Die Erde ist ein Planet des Eisens, aber das Eisen ist eigentlich das Metall der Tiefe". Ist es das? Von CLARKE stammen dann auch viele Daten zum **Salz-Gehalt in Seen** (s. C. W. CORRENS 1960), Um den Weg der Elemente in der Erdkruste, ihre Verbindungen, das Schicksal der dadurch bedingten Mineralien zu verstehen, ist die Kenntnis der **chemischen Eigenschaften der Elemente und Mineralien** erforderlich, ihre Reaktionsfähigkeit, ihre Löslichkeit unter verschiedenen pH und anderes. Die Elemente und ihre Verbindungen, wenn vorhanden, **wirken auf ihre Weise. Kohlendioxid** bewirkt über die grünen Pflanzen den **Aufbau organischer Verbindungen**, ist wichtiges Agens bei der

Gesteins-Verwitterung, über Calciumcarbonat und Calciumhydrogencarbonat ist es entscheidend beteiligt an den Vorgängen in Gewässern.

Elemente und ihre Verbindungen sind **nicht gleichmäßig in der Erdkruste** und wohl in der Erde überhaupt **verteilt**. Mengenmäßigkeit eines Elementes geht nicht mit Menge an deutlichen Vorkommen parallel. 'Seltene Erden' sind gar nicht so gering vorhanden. Eines der ganz großen Probleme in der Geochemie und so auch in der Mineralogie und Lagerstättenkunde ist die **Anreicherung** von wichtigen Elementen und Substanzen, ob **in** bestimmten Anteilen des **Magma**, in **Lebewesen**, auch in **Sedimenten**, bei klastischen in Seifen, oder auch von Metallen wie des Kupfers in einer Schicht des Zechstein.

Und man sei sich bewußt: **Wie kam Kohlenstoff in die Erdkruste?** Gab es Kohlenstoff als Kohlendioxid auch ausreiehend in vulkanischen Gasen? Oder wurde es bevorzugt angereichert durch die Tätigkeit von Lebewesen, namentlich der grünen Pflanzen? Sie, die aus dem **Kohlendioxid/CO₂ der Atmosphäre** in Verbindung mit Wasser ihre Substanzen aufbauten, ob Kohlenhydrate, Fette oder Eiweiße. Und die unvollkommene Zersetzung der abgestorbenen **Pflanzen** führte **zu den** gewaltigen **Kohlevorkommen**. Und auch Tiere waren an dem Vorkommen von Bitumina beteiligt. Und auch an der Bildung des **Kalks**, des Calciumcarbonat/CaCO₃. Und **Stickstoff** - war es zuerst auch nur Bestandteil der Atmosphäre, gebunden dann in für das Leben nötige organische Stoffe, für prä-biotische und dann biogene Verbindungen? Und Phosphor?

Lagerstätten - nutzbare Mineralanhäufungen besonderer Art

Der Begriff "Lagerstätte" wurde und wird vom Standpunkt der menschlichen Wirtschaft aus benutzt und kennzeichnet gehäuftes, ausbeutungswürdiges Vorkommen von verwertbaren Mineralien oder Gesteinen. Sie gehören zu den **Gesteinsbildungen** und könnten von der Geologie her bei diesen behandelt werden. Lagerstätten sind durch konzentriertes Auftreten bestimmter, also Metallverbindungen oder Salze/Evaporite, gekennzeichnet. **Erze** sind metall-reiche Mineralien, namentlich ausbeutbarer genutzter Metalle. Auch die **Erzlagerstätten** sind den Gesteinen zuzuordnen, nur sind sie ihrer Mannigfaltigkeit nach Form und Inhalt noch vielseitiger als die "gewöhnlichen Gesteinsbildungen" (v. COTTA 1862). Dabei sind es oft selten vorkommende Mineralien, die nützlich und somit gesucht sind, die auch relativ selten in der Erdkruste vorhandene Metalle etwa **konzentriert** enthalten, aber auch **häufige Elemente** in nur hier verfügbaren Konzentrationen aufweisen. Selbst das in der Erde vierthäufigste Element, das **Eisen**, das meistverbreitete Schwermetall, das 4,7 Gewichtsprozent der Erdkruste ausmacht, kommt in den normal zusammengesetzten Eruptivgesteinen nicht in der Wirtschaft ökonomisch

verwertbarer, konzentrierbarer Menge vor. Die wirtschaftlich nutzbaren Eisenerzvorkommen sind Ergebnis von Konzentrationvorgängen (K. HUMMEL 1922). Lagerstätten sind andererseits auch Gesteinsbildungen, es besteht genetische Verwandtschaft "der Erze, Nicht-Erze, Gesteine und Bodenarten", Erze dabei "Nebenprodukte in quantitativer Hinsicht der gesteinsbildenden Prozesse", wie es W. A. OBRUTSCHEW 1928, (S. 146) ausdrückte. Ihrer Besonderheiten wegen trat OBRUTSCHEW für eine spezielle Lehre in der Lagerstättenkunde ein. Mindestens so wechselhaft wie Gesteine sind auch Lagerstätten, und es gibt kaum große chemisch einheitliche Lagerstätten (O. WAGENBRETH 1971, S. 402). Die Vorgänge in der Erdgeschichte bestimmten, wo sich welche Lagerstätten in welchem Reichtum und welcher günstigen oder weniger günstigen Abbaumöglichkeit befinden und die verschiedenen politischen Einheiten, die Länder und Provinzen, sind ganz ungleich, ja man kann sagen "ungerecht", damit ausgestattet.

Die Lagerstättenlehre "galt als ein Kapitel der Bergbaukunde" (G. BERG 1922, S. 349), aber um 1862 COTTA und etwa F. BEYSCHLAG betonten, daß **Lagerstättenentstehung** auf der Grundlage der Erkenntnisse der Geologie erklärt werden kann und muß, also eine eigenständige, aber auf Geologie beruhende Lagerstättenlehre nötig ist.

Lagerstätten können auf ganz unterschiedliche Weise entstanden sein. Lagerstätten konnten verschiedenen Gesteinstypen, ja auch Mischformen angehören. Die Lagerstätten werden daher oft, auch wenn in ihrer Entstehung manchmal umstritten, bei den verschiedenen Gesteinstypen abgehandelt. Galten Erzlagerstätten unmittelbar aus mit dem Erdinneren zusammengehenden Vorgängen verbunden, galten sie als **primär**. Erzlagerstätten können aber auch **sekundär-sedimentäre Lagerstätten** sein, hervorgegangen aus der Abtragung der primären Lagerstätten und Anreicherung bestimmter Stoffe in Sedimenten. Gold im Flußschotter ist nicht im Fluß entstanden. Herbeigetragen wurde es im Flußgeroll angereichert. Flußschotter konnten auch wieder in Tiefen versenkt werden und sind dann auch noch Gold-Lagerstätten. **Verwitterungslagerstätten** sind etwa nach HERMANN L. F. MEYER (1916) solche, die primär durch Verwitterung entstanden, nicht durch Umlagerung einer schon bestehenden Lagerstätte mit schon bestehender Anhäufung eines Stoffes, sondern durch die primäre Gesteinsverwitterung.

Lagerstätten **derselben Substanz** können **auch unterschiedliche** Entstehung besitzen. Platin im Ural fand man zuerst nur in Flüssen, auf Seifenlagerstätten, aber dann im westlichen Ural-Plateau auch auf primärer Lagerstätte (G. BODLAENDER 1897, S. 311).

Eisenerzlager angezeigt durch Magnetanomalien

Auch in **präkambrischen Zeiten** entstanden große und wichtige Lagerstätten. Das Eisenerz **Magnetit/Fe₃O₄** bewirkt **magnetische Anomalien**. Auf ein Alter von 1,6 Milliarden Jahren läßt man die Lagerstätte des weltgrößten Eisenerz-Bergwerks, das von **Kiruna** im nordwestlichen Schweden jenseits des Polarkreises zurückblicken. Neben 60% Eisen in den Erzen gibt es 0,9% Apatit. Magnetit wird magnetisch abgeschieden, dann durch Brennen bei 1250° C in das unmagnetische Hämatit, Fe₂O₃ verwandelt. Das vorher in winzige Körnchen zerkleinerte Erz wird in Form von Pellets von etwa 10mm mit der 1903 eröffneten Eisenbahn 180 km in den eisfreien Hafen von **Narvik** transportiert (u. a. Wikipedia 2019) und von hier in viele Länder verkauft. Diese Eisenbahn war die erste jenseits des Polarkreises. 1923 wurde sie elektrifiziert. Die Erzlager gelten als noch lange nicht erschöpft (YouTube 2019).

Die **Kursker Magnetanomalie** wurde 1773 festgestellt, 1883 hier Eisenerzlager vorausgesagt. Der größte Tagebau findet sich in nunmehr 350m Tiefe (Wikipedia 2019).

Gesteinsbildung und Lagerstättenbildung in ihrem Zusammenhang mit der Geochemie

Der Begriff der "Geochemie", wenn auch 1838 von SCHÖNBEIN benutzt, ist recht jung. Die Geochemie untersucht das Auftreten der verschiedenen Elemente in den verschiedenen Regionen der Erde. Von der Chemie her muß versucht werden, die Verteilung aller Substanzen in der Erdkruste, namentlich auch ihre Konzentrationen, deren Bildungsbedingungen, zu erklären, zu verstehen (F. BEHREND 1927 et al. u. a.), ob es die Dolomitbildung, die Kalkabscheidung, das Zustandekommen der Pyritvorkommen, der Phosphatlager und anderer ist. Es ist "wichtig", schrieb 1900 VAN BEMMELEN (S. 314), "die Erscheinungen der Anhäufung" gewisser Stoffe "in der Natur bis in den kleinsten Einzelheiten nach zu spüren." Nicht selten waren gerade für die Bildung von Mineral-Lagerstätten die Ansichten umstritten, beherrschten unterschiedliche Hypothesen die Diskussion. Es standen sich auch über die Umstände der Entstehung von Lagerstätten der Metallgewinnung **verschiedene Auffassungen gegenüber**, so wenn die in Nachbargesteinen in kleinen Mengen vorhandenen Metalle durch Wasser in nahe Gesteinsklüfte geführt worden sein sollen, also '**Lateralsekretion**' stattfand oder, in der '**Ascensionstheorie**', daß die in den Gängen gewinnbaren Metalle direkt aus der Tiefe stammen (G. BODLAENDER 1897, S. 309). Experimente im Laboratorium konnten auf Möglichkeiten der Entstehung bestimmter Mineralien verweisen, aber

die Natur konnte auch andere Wege gegangen sein. Das galt für Versuche zur Erdöl-Entstehung in Karlsruhe durch ENGLER, die keine so überzeugenden Ergebnisse brachten (S. 513). Der Ermittlung der Bildungsumstände bestimmter Mineralien war öfters verbunden mit der Analyse einer ganzen Ablagerung. Die Herkunft der Metalle aus der Tiefe war oft die verbreitetere Ansicht, so für die einst wichtigsten Nickel-Vorkommen, die von Sudbury in Canada (G. BODLAENDER 1897, S. 310). Erze, die in Verbindung mit Magmen entstanden, wurden gebildet, wenn Magmen nahe der Erdoberfläche erschienen (s. a. C. MEYER 1989, S. 121), also besonders bei Gebirgsbildungen/Orogenesen resp. den miteinander kollidierenden Rändern der Kontinentalplatten. Damit sind die Erze bestimmten Zeiten der Erdgeschichte einzuordnen (C. MEYER 1985): Solche Erzbildung geschah schon im Archaikum und Proterozoikum, wobei hier stärkerer Vulkanismus angenommen wird. Die auf die Zeit von ungefähr 3600 bis 2500 Milliarden Jahre zurückliegenden archaischen 'greenstone belts' enthalten einige der reichsten Erzlager der Erde (C. MEYER 1985, S. 1427). Die Nickelerze von Sudbury/Canada sind im Mittel-Proterozoikum zu verorten (S. 1421). Die Prä-cambrischen Lagerstätten sind oft größer als die später (S. 1421). **2/3** der nutzbaren **Metalle** stammen **aus Sulfiden**, den "vulcanogenic massive sulfides and the stratiform sedimentary sulfide ores" (S. 1421), der übrige Teil findet sich meistens in "hydrothermal environments" verbunden mit sub-vulkanischen Plutonen, so die Kupfer im Porphyry (S. 1421).

Wie schon bemerkt: Wichtige Lagerstätten entstanden auch durch Mineral- oder Edelmetall-Trennung in bewegtem Wasser, die 'Seife'-Lagerstätten (s. d.).

Einmalige oder fast einmalige Lagerstätten

Kohlen, Erdöl, Torf und andere Bitumina, auch Salze, sind verbreitet, kann auch aus ihrem Vergleich manches über ihre Entstehung abgeleitet werden. Manche Lagerstätten eines wertvollen Stoffes, eines metallreichen Minerals oder auch eines anderen Mineralien, sind **nur an wenigen Orten**, ja sogar **nur an einem Ort** auf der Erde vorhanden, jedenfalls in voller Ausbildung. Hier ist die Analyse der Entstehungsumstände, die chemische, petrographische, geologische und gar noch biologische Kenntnisse voraussetzt oft schwierig zu schaffen oder blieb gar noch umstritten.

Einmalige Lagerstätte von Kryolith

Einmalig ist das Vorkommen einer Lagerstätte von **Kryolith**, eines Fluor, Natrium und Aluminium enthaltenden Minerals, bei Ivigtut an der West-Küste von

Grönland (R. BALDAUF 1910). Nachdem nur wenige und als kostbar betrachtete Stücke in europäische Museen gelangt waren, hat KARL LUDWIG GIESECKE (G. GUGITZ et al. 1964) bei seinem 8-jährigen Aufenthalt auf dem zu Dänemark gehörenden Grönland 1806 - 1813 das Kryolith-Vorkommen untersucht und mehr Proben davon nach Europa gesandt. GIESECKE war vorher Schauspieler gewesen und hatte an den Libretti für die MOZART-Opern "Figaros Hochzeit" und "Cosi fan tutte" mitgewirkt. Seit etwa 1854 wurden das Kryolith-Lager samt anderen hier vorkommenden Mineralien ausgebeutet und war bis etwa 1910 ein Tagebau von etwa 180 m Länge, 45 m Breite und bis 40 m Tiefe unter den Spiegel des nahe liegenden Meeres entstanden. Verwendet wurde der Kryolith nach einer Methode von 1852 für die Herstellung von Soda, sodann für die Herstellung von Milchglas und dann als Zusatz für die Aluminium-Erzeugung. Wurde zunächst eine Entstehung als Sediment diskutiert, so wurde seit JULIUS THOMSEN 1862 die eruptive Entstehung favorisiert. Fluorreiche Gasverbindungen aus der Tiefe veränderten Magma.

Diamanten-Lagerstätten

Der aus Kohlenstoff bestehende und das härteste Mineral darstellende Diamant bildet besonders merkwürdige Lagerstätten, tief in der Erde oder auch an der Erdoberfläche, es wurde der Diamant angehäuft und findet sich so auf Seifen-Lagerstätten, Im Wüstensand der Namib im ehemaligen Deutsch-Südwest-Afrika wurden Diamanten "erst im Jahre 1908 entdeckt ..., trotzdem sie offen an der Oberfläche in weiten, zum Teil voneinander getrennten Strecken lagen, zunächst regellos auf den Wüstenboden durch einen unbekannten Sämann hingestreut erscheinen" (E. KAISER 1926, I, S. 1). Die Abtragung der feinen Bodenbestandteile durch den nahe dem Boden hinstreifenden starken Wind soll für die Anhäufung wichtig gewesen sein (E. KAISER 1926, II, S. 221), was eine Analogie zu den durch das fließende Wasser entstandenen **Seifen-Lagerstätten** hier **durch den Wind** wäre.

Salpeter-Lagerstätten

In manchen trocken-warmen Ländern gibt es Salpeter **in dünner Schicht** in **Wüsten** und er wurde zur Nutzung zusammengekehrt. In Europa ließ man zur Salpeterbereitung abfallreiche Erde etliche Jahre sich zersetzen und löste daraus den Salpeter heraus. Über es wurden Mauern errichtet, so in Stallnähe, an denen sich Mauersalpeter, Calciumnitrat, niederschlug. Hier wurde also ständige Salpeterbildung beobachtet. Der so erhaltene Salpeter wurde mit Holzasche behandelt,

wodurch, was man einst nicht wußte, aus dem Natrium- oder Calcium-Salpeter der für das Schießpulver nötige Kaliumsalpeter, KNO_3 , entstand. Mit dem Aufstieg der Chemie im 18. Jahrhundert wurde auch debattiert, wie die Salpeterbildung zustandekommt.

Problematisch erschien und erscheint die Entstehung der **einmaligen Salpeter-Lagerstätten** in der **Wüste Atacama** im Norden von - heute - Chile. Wie bei der Kryolith-Lagerstätte in Grönland liegt hier ein Rohstofflager vor, das kein vergleichbares anderswo aufweist. Das erschwerte, die Ursache seiner Entstehung aufzuklären. Der Chemiker C. NOELLNER (1867), der lange mit der Umwandlung von Natrium- in Kali-Salpeter zu tun hatte, sah im Ammoniak (NH_3) eine bedingende chemische Komponente der Salpeter-Bildung. Aus Seetangen im Meer, die auch Jod aufnehmen, hätten bei ihrer Verwesung und dabei Oxydation den Salpeter gebildet und dieser wäre bei einer allerdings gewaltigen Landhebung in die Atacama-Wüste gekommen. Immerhin wird in der Atacama-Wüste auch das auf das Meer verweisende Jod gewonnen. Die Regenlosigkeit und äußerst sparsame Vegetation hätten den Salpeter in der Atacama-Wüste erhalten. Unter den Geologen hat OCHSENIUS sich auch mit den chilenischen Salpeterlagern befaßt und, aufbauend auch auf einigen vorangegangenen Meinungen anderer, etwa 1888 eine Erklärung gegeben, die etliche Komponenten zur Salpeterentstehung zusammenwirken ließ und eine Bildung im Meere mit der dann nötigen gewaltigen Andenhebung nicht nötig hatte. In Salzlagen der Anden habe sich, unter Einfluß der Luft "kohlen-säure" (CO_2) Natriumcarbonat (NaCO_3) gebildet. Dieses kam in Berührung mit "ammoniakalischen, phosphatar-men" Bestandteilen, die von den Westwinden von den Guano-Inseln vor der Westküste Südamerikas herbeigeweht wurden. Natriumcarbonat der zutage liegenden Lagerstätten in den Anden habe mit dem Nitrat des herangewehten Guanos reagiert und eben Natriumnitrat, den "Chilesalpeter", gebildet. Von den Guanohöhlen des nicht regenarmen Venezuela aus würde in etlichen Kilometern Entfernung alles Nitrifizierbare in Salpeter verwandelt. Daß Wind leichtes Material weit verwehen kann, bewies für OCHSENIUS der Löß in China und der öfters nachgewiesene Saharastaub über dem Atlantischen Ozean. Neben der Einführung von Barren zur Erklärung von Gesteins- und Lagerstättenbildungen hat OCHSENIUS also auch **Materialverwehungen durch Wind** als einen geologischen Faktor betont, einen Faktor, der immerhin auch den Löß zusammengeweht haben sollte.

Begrenzte Metall-Vorkommen

Viele **Gänge** enthalten Mineralien, im Falle der Edelmetalle sogar chemische Elemente, die sonst nicht angereichert vorkommen. Gänge sind also oft Lagerstätten.

Bei Almaden in der Estremadura in Spanien enthalten 6 Meter mächtige, in silurische Tonschiefer und Quarzite eingedrungene Gänge **Quecksilberverbindungen** und lieferten über die Jahrhunderte seit der Antike das Quecksilber. Zwischen silurischen Gesteinen liegen in Nordamerika die Gänge der **Kupferregion** am Lake Superior und die der **Bleiglanzregion** am oberen Mississippi (H. CREDNER 1872).

Vanadium erschien in einer ganz 'einzigartigen reichen' Lagerstätte in Mina Ragra in Peru, gebildet "höchstwahrscheinlich" durch die "Kontaktmetamorphose bituminöser Gesteine" (H. SCHNEIDERHÖHN 1962, S. 300). Wie es heißt (S. 300): "Der Erzkörper liegt konkordant in einer geneigten Serie alttertiärer bituminöser Mergelschiefer" mit etwas steilerem Einfallen. Enthalten in verschiedenen Vanadium enthaltenden Mineralien betrug der Vanadium-Gehalt in den oberen 50 m des 'Erzkörpers' im 'Fördererz' bis 11% V₂O₅.

Zinn, aus Zinnstein vor allem, wurde seit alters im Erzgebirge und noch früher aus Cornwall gewonnen, aber etwa um 1960 die Hälfte der Weltproduktion kam von der Malaiischen Halbinsel und den Inseln Bangka und Billiton (H. SCHNEIDERHÖHN 1962, S. 87), gab es hier also eine wenigstens Halbmonopol-Stellung

14. Böden - Auflage auf der Erdrinde. - Auf alten Landoberflächen

Böden und ältere Forschungen an Böden

Böden sind bei aller Verbindung mit dem unterliegenden Gesteinsmaterial, ob zerbröselte Gestein oder das Felsgestein, ein eigenständiges Phänomen der Natur. Die fruchtbare, Humus aufweisende und Pflanzenwachstum ermöglichende Bodendecke wurde einst als '**Dammerde**' bezeichnet. Der Boden ist ein Gemisch organischer Substanzen, namentlich von Humus, und von mineralischen Stoffen, so von hochkomplexen Silikaten und Aluminium-Verbindungen und wie man in den ersten Jahrzehnten des 20. Jh. herausfand auch besiedelt von Massen von Kleinlebewesen. Einer der Begründer der neueren Bodenkunde, GLINKA (1914), schrieb von "einem ganz eigenartigen Komplex von mineralischen und organo-mineralischen Neubildungen ..." Die Bodenkunde war zunächst Teil der Landwirtschaftswissenschaft, und unter dem Gesichtspunkt der mehr oder weniger großen Ertragsfähigkeit wurden Böden nach ihrer Güte beurteilt. Böden, das ist eine uralte und bleibende Erfahrung, sind sehr verschieden fruchtbar. Ein Boden in Mittel-Thüringen war eben ertragreicher als einer in Brandenburg, des "Reiches Streusandbüchse". Auch muß-

te ein Rückgang der Fruchtbarkeit verhindert werden. Etwa durch Düngung. So wie die Gesteine zuerst vor allem unter Beachtung der Möglichkeiten der Gewinnung von Ressourcen, des Bergbaues, beachtet wurden und dann erst ihre Entstehung auch losgelöst davon, zur rein kognitiven Erfassung des Werdens der Erdkruste, so kam es auch zu der rein wissenschaftlichen Befassung mit den Böden. Es entstand eine eigene Wissenschaft von den Böden, mit dem Ziel "soils should be studied as soils" (P. E. BROWN 1929, S. 620), der 'pedology', der "new soil science" (S. 619), mit Anregungen namentlich aus Rußland. Die **erdgeschichtlich-geologische** Seite der Erforschung der Böden war nur der eine Aspekt. Andere Aspekte waren chemischer, physikalischer, biologischer Art, und das vor allem auch unter Einbeziehung der historischen Entwicklung der Böden. Etwa die chemisch-physikalischen Vorgänge wie die Adsorption, so von Ionen, die pH-Verhältnisse, und die Mikrobiologie waren ebenso wichtige Forschungsgegenstände und waren auch mit der Entwicklung der Böden mit verknüpft. So war JAMES ARTHUR PRESCOTT (C. G. STEPHENS 1988) einer der von der Agrarwissenschaft herkommenden führenden Bodenforscher.

Zu den wesentlichen Bodeneigenschaften gehört die Fähigkeit etwa von Humus und von Ton, Substanzen, speziell Ionen, zu **adsorbieren**. Dadurch werden auch mineralische Pflanzennährstoffe, auch solche aus mineralischer Düngung, vor dem raschen Auswaschen in den Untergrund bewahrt. Im Jahre 1819 hatte der Chemieprofessor GAZZERI in Florenz bemerkt, daß Mistwasser durch Ton entfärbt wird (F. SESTINI 1873). Später schrieb darüber in Italien LAMBRUSCHINI und nannte es "Incorporirung". In Schottland fand WAY die Adsorptions'kraft' der Böden. JUSTUS LIEBIG, führender Begründer der Mineraldüngung, hatte zuerst gemeint, daß solche Dünger möglichst unlöslich sein müßten, um nicht weggewaschen zu werden. Aber solche Dünger brachten keinen Erfolg. WAYs Entdeckung, daß die Düngersubstanz festgehalten wird, hat LIEBIG regelrecht erschüttert und er meinte, daß darin sich vielleicht die Voraussicht Gottes kundtut.

Mechanische Durchmischung im Boden hatte schon CHARLES DARWIN kurz nach seiner Rückkehr von der Weltreise um 1837 beschrieben (1840), weil er fand, daß Kiesel, Kalk - und Schlackenstückchen im Boden nach unten sinken. Wie er erkannte, fressen Regenwürmer Boden in tieferen Schichten, kommen aber auch nach oben und scheiden hier ihre Häufchen aus. Gesteinsplatten auf Gartenwegen verschwinden so mit der Zeit unter den Regenwurmausscheidungen auf ihnen. DARWIN legte in seinem Anwesen in Down einen "worm-stone" (Wurmstein) an, bei dem er das allmähliche Versinken im Boden auf Grund der Regenwurmtätigkeit verfolgte.

Böden in der Klassifizierung

Es gab verschiedene, teilweise schon weit in das 19. Jahrhundert. hinabreichende Versuche, Böden nach verschiedenen Merkmalen zu **klassifizieren**. FRIEDRICH ALBERT FALLOU (K. THALHEIM 2004), der als früher spezialisierter Bodenkundler gelten darf, klassifizierte so 1868 die Böden in Sachsen **nach dem unterliegenden Gestein** in **Boden'arten'**, so in den Boden der Quarzgesteine, der Feldspatgesteine und andere. Der 1794 in Zörbig bei Dessau geborene FALLOU lebte seit 1856 unverheiratet in der Diedenmühle bei Waldheim, wo er 1877 starb. KNOP unterteilte nach Silikatböden, Karbonatböden, Sulfatböden (Gips-, Anhydrit-Böden) usw. Diese Bodeneinteilung stand noch in enger Beziehung zur Geologie und der geologischen Kartierung. war eigentlich nicht mehr, als die Bodendecke nach dem unterliegenden, mehr oder weniger auch auf und in dem Boden befindlichen Gestein zu benennen. Und gewiß sind ein Boden mit Kalkunterlage und einer über Buntsandstein verschieden, schon an der Farbe erkennbar.

Die Bodentypen - ihre Klassifizierung, ihre Bildung

Den **Einfluß des Klimas** auf den Boden verfolgte in den USA um 1870 der auf Böden spezialisierte EUGENE WOLDEMAR HILGARD, der auf die **Auswaschung** von Substanzen, den **Basen** aufmerksam machte, ihre Auswaschung im humiden Klima, ihre Anreicherung im Oberboden im ariden Klima (P. SCHAUFELBERGER 1959).

Als entscheidend für die Klassifikation und zum Verstehen auch wichtiger, bei verschiedenen Böden unterschiedlicher Eigenschaften wurde schließlich erkannt das **"Profil"**, die vertikale Abfolge verschiedener **"Horizonte"**. Aus der Abfolge von Horizonten ergab sich der **"Bodentyp"**. Wie erkannt wurde, hängt dieses Profil **mit der "Genese", mit der Entstehungs-Geschichte** der Böden zusammen. Die Bodenhorizonte entstanden **nicht** wie Sedimentschichten durch die aufeinanderfolgenden **Ablagerung** verschiedenartigen Materials von unten nach oben, **sondern durch Stoffbewegungen**, durch Transport der im Wasser gelösten oder suspendierten Substanzen in einem anfangs nicht so gegliederten Material und dessen Ausscheidung in bestimmter Tiefe. Der Unterschied der **Boden-Horizonte** von Sedimentschichten ist unbedingt zu betonen (a. H. ROHDENBURG et al. 1968). Der USA-Bodenkundler P. E. BROWN (1929, S. 621) betonte 1929: "More important ... than any of the other ideas put forth by the Russians was that of examining soils by horizons and profiles, in other words, of studying the characteristics of the soil itself, by layers." Hervorgehoben sei der Begriff **'Horizont'**. Die

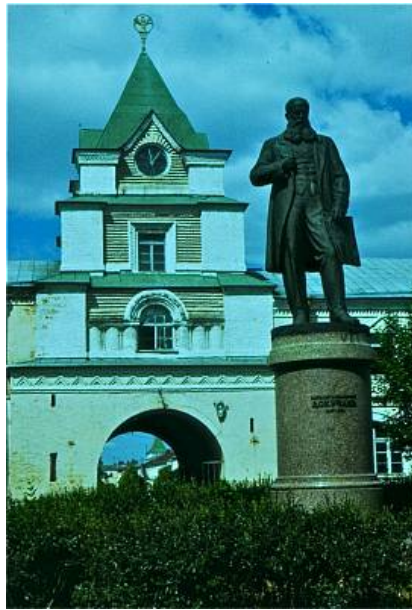


Abbildung 583: DOKUTSCHAJEW. Puschkin.

Böden entwickeln sich, bilden sich um, haben eine '**Pedogenese**' (H. ROHDENBURG et. al- 1968, S. 129). Die Bildung der Bodentypen sollte auch über manche Gesteinsunterschiede hinwegschreiten, also auf unterschiedlichem Gestein gleiche Bodentypen entstehen lassen, "Schwarzerden aus Löß, Ton, Kalkstein Gneis usw" (zit. n. RAMANN u. a. b. O. WILCKENS 1938, S. 556). Die Bildung der Bodenhorizonte erwies sich vielmehr als vom Klima und der Vegetation abhängig, bereichert durch chemische Prozesse, namentlich bedingt durch das Bodenwasser, namentlich Oxidation und Reduktion, etwa bei Eisenverbindungen. Die Klassifizierung nach der Genese sollte wesentlichere Eigenschaften der Böden widerspiegeln als bisherige Einteilungen der Böden etwa nach der Korngröße.

Die Bodentypen-Lehre entwickelten namentlich russische Forscher, DOKUTSCHAJEW, GLINKA und andere der **russischen bodenkundlichen Schule**. Der führende Begründer der Bodentypen-Lehre und damit der modernen Bodenlehre war WASILIJ WASSILJEWITSCH DOKUTSCHAJEW (V. A. ESAKOV 1971). Geboren als Priestersohn in einem Dorfe bei Smolensk, begann auch er die Ausbildung für die Laufbahn eines Priesters. Er wandte sich aber dann davon ab und studierte ab 1867 Naturwissenschaften an der Universität St. Petersburg. Er arbeitete an dieser Universität als Kustos am geologischen Kabinett, lehrte ab 1872. Das Novo-Aleksandrijski-Institut im heutigen Puschkin entwickelte er, der auch viel in Rußland herumreiste, ab 1892 zur modernen Hochschule für Land- und Forstwirtschaft. Am 8. November 1903 starb DOKUTSCHAJEW in St. Petersburg.

DOKUTSCHAJEWs Schüler und wissenschaftlicher Nachfolger KONSTANTIN DMITRIJEWITCH GLINKA wurde ebenfalls im Smolensker Oblast geboren, 1867, als DOKUTSCHAJEW sein naturwissenschaftliches Studium begann GLINKA leitete Expeditionen bis nach Sibirien, war schließlich in seinem Todesjahr 1927 Direktor des Bodenkundlichen Instituts bei der Akademie der Wissenschaften der Sowjetunion. In Deutsch erschien 1914 "Die Typen der Bodenbildung, ihre Klassifikation und geographische Verbreitung", was die Bodentypenlehre auch in Deutschland bekannt machte. In den USA waren 1908 die englisch-sprachigen Bodenforscher durch den in Kalifornien wirkenden Russen TULIAKOW mit den russischen Bodenforschungen bekannt geworden (C. G. STEPHENS 1988, S. 649).

In dem flächenmäßig großen, sich **über mehrere Klimazonen erstreckenden Rußland** waren die unterschiedlichen Bodentypen in ihrer Abhängigkeit vom Klima und über dieses an die Vegetation besonders gut zu ermitteln. Gleiche oder fast gleiche Bodentypen gingen auch über verschiedenartige Gesteine hinweg. Wegen ihrer Klimaabhängigkeit, so wurde gefunden, sind die großen "Bodentypen" im Unterschied zu den 'übrigen Gebirgsarten', also im Unterschied zu vielen anderen Gesteinen, den plutonischen, durch Außenfaktoren bedingt und mit diesen Außenfaktoren "gesetzmäßig" auf der Erde verteilt (GLINKA 1914). Das zu erkennen hatte eine weite Reisetätigkeit vorausgesetzt. Granit kann überall auf der Erde sein, Schwarzerde nur unter bestimmten Bedingungen. In trockeneren Regionen, wo die Verdunstung wenigstens im Sommer die Niederschlagsmenge überwog, wurden Mineralstoffe nach oben transportiert und entstand der von Humus dunkel gefärbte **Tschernosem**, d.h. Schwarzerdeböden. In der Nadelwaldregion, wo es mehr Niederschläge als Verdunstung gab, entstand der **Podsol**. Oben lag schwer zersetzbarer Humus, "Rohhumus", und es wurden mittels der daraus dennoch entstehenden Humussäuren aus den oberen Bodenschichten Salze und Humus ausgewaschen, setzten sich erst in größerer Tiefe wieder ab, so als "Ortstein". Oben entstand unter der Rohhumus-Auflage ein Bleichhorizont, die Bleicherde, in seinen oberen Teilen tatsächlich oft grau wie Holzasche. Auf Sand war die Entstehung von Podsol begünstigt. In welcher **Zeit sich** ein Podsol **bildet** und wie es im einzelnen abläuft wurde ab 2013 an im Alter mit C14 bestimmten, gehobenen Strandterrassen am Oslo-Fjord in Süd-Norwegen untersucht (D. SAUER et al. 2014). Man untersuchte bis 2013 31 Bodenprofile je nach Zeit seit der Heraushebung im "Bodenalter" von 85 bis 1.400 Jahren. Oben gab es zuerst durchaus Humus. Podsolierung begann nach 800 - 1.200 Jahren. 6000 Jahre alte Strandwälle besaßen ausgebildeten Podsol.

In **Deutschland** wurde ein führender Begründer der Bodenkunde und der Bodentypen-Lehre EMIL RAMANN (K.-EU. REHFUESS 2003). Für ihn, der von der Chemie herkam, aber die Loslösung der wissenschaftlichen Bodenkunde als eigenständige



Abbildung 584: Podsol, b. Rostock.



Abbildung 585: Schwarzerde.Gebiet Börde.

Fachdisziplin und nicht nur chemisch ausgerichtet von der vorwiegend angewandten Agrikulturchemie anmahnte, wurde an der Forstakademie Eberswalde 1895 eine Professur für Bodenkunde eingerichtet. 1900 wechselte er auf den Lehrstuhl für Bodenkunde und Agrikulturchemie an der Universität München. RAMANNs Ansichten wurden natürlich in vielem ergänzt, aber boten eine annehmbare Grundlage. In seinem "System der Böden", so 1918, sah auch RAMANN im **Klima den übergeordneten Faktor** für die Bodenbildung und damit die Unterscheidbarkeit von Böden, aber innerhalb der Großzonen **wirkte** auf die Böden **das unterschiedliches Muttergestein** und das unterschiedliches Wasserregime, wobei diese, beim Wasser auch klimatisch bedingt, sehr entscheidend die Eigenschaften der einzelnen Böden bestimmen konnten. RAMANN spricht von den durch die lokalen Besonderheiten bestimmten "Ortsböden", die in dem geologisch so gegliederten Mitteleuropa mit seinen Mittelgebirgen ganz anders in Erscheinung treten mußten als in den Bodengroßzonen des osteuropäischen und namentlich des russischen Flachlandes. Auch GLINKA hatte von den bodenbestimmenden äußeren Verhältnissen, also dem Klima, den '**ektodynamorphen**'/ektodynamomorphie Einflüssen und den überwiegend vom Muttergestein bestimmten, den '**endodynamorphen**'/endodynamomorphie Böden gesprochen (zit. bei P. E. BROWN 1929, S. 621; A. MAYER 1926, S. 210). Der Wechsel in den Jahreszeiten spielte bei der Bodenbildung ebenfalls mit (E. RAMANN 1918, S. 17). In jedem Boden wird es manchmal absteigende und zu anderen Zeiten aufsteigende Wasserbewegung geben, und für "die Bodeneigenschaften wird" sein, "welche Wasserbewegung das Übergewicht erhält" (E. RAMANN 1918, S. 48). Schon beim Landvolk würden Böden nach Farbeigenschaften unterschieden, Im klimatisch-gemäßigten Mittel- und auch Westeuropa erschien RAMANN (1918, S. 79 ff.) die **Braunerde**, der braune Waldboden, 'Braunerden', 'kastanienbraun', mit dem gelb bis rotbraun gefärbtem Eisenhydroxyd, unter den bestehenden oder ehemaligen Laubwäldern, als vorherrschende Boden"form" – der Terminus "Bodentyp" findet sich bei RAMANN 1918 nur ganz selten und er vermeidet feste Terminologie wie eine allzu starre Bodeneinteilung. Die 'Braunerden' sieht RAMANN (1918, S. 80) "entstehen unter dem Einfluß eines gemäßigten und stark wechselnden Klimas, regenreiche und regenarme Jahre treten auf, so daß die Auswaschung im Boden bald mehr, bald weniger stark wirksam ist." Die oft unterschiedliche Höhenlage, "orographische Gliederung" wirkt sich aus, bis zum 'langsamen Abrutschen' an steileren Hängen' (S. 81). RAMANN spricht in Anlehnung an die ebenfalls benutzte russische Terminologie von 'Bleicherden', 'Schwarzerden' u. a. (S. 44/45). Daß die 'Schwarzerden' auf Löß am weitesten in die humiden Gebiete vorstoßen, zeugt für RAMANN (1918, S. 88, Fußnote) ebenfalls für den modifizierenden Einfluß des Gesteins. Vom **Grundwasser** mit seinen sekundären Ausscheidungen von 'Eisenoxydhydrat' erhält der Boden ein anderes Aussehen, wird zum **Glei-Boden**, später auch /**Gley**-Boden geschrieben, ein auf den rus-



Abbildung 586: Gleiboden, unten rostbraun.

sischen Bodenkundler G. WYSOTZKY zurückgeführter Ausdruck (E. RAMANN 1918, S. 74).

In Sauerstoff-Mangel kommt es auch zur Reduktion sauerstoffhaltiger Verbindungen, gibt es anaerobe Bakterien, wird der Boden grau (F. AHNERT 1996, S. 107). Manchmal gibt es auch rötliche, auf Sauerstoff verweisende Flecken in dem grauen Boden. Genannt werden auch 'Wiesenböden' (S. 75), 'Raseneisensteinböden' (S. 76). In Flußauen mit ihren regelmäßigen Überschwemmungen sah RAMANN die besonderen **Aueböden**, an flachen Meeresküsten wie an der Nordsee die fruchtbaren **Schlickböden**, 'Kleiböden' (S. 32), 'Knickböden', der Marsch (E. RAMANN 1918, S.77). RAMANN (1918, S. 82) beschreibt "Kalkböden", wie sie in Polen als "**Rendzina**" bezeichnet werden (S. 84). Ein Rendzina-Boden ist ausgezeichnet durch einen auf dem Kalkuntergrund ruhenden dunklen, ja schwarzen oberen Humus-Horizont.

So etwas wie Böden bildeten sich auch in vergangenen Erdzeitaltern, in Abhängigkeit von der Vegetation. '**Fossile**', 'begrabene', Böden blieben bei Überdeckung mit andersartigen Sedimenten an wenigen Lokalitäten erhalten. Die Böden der gemäßigten Zonen Europas und Nordamerikas sind nacheiszeitlicher Entstehung. Die Böden im europäischen Flachland sind damit viel jünger als die Böden in schon lange bestehenden tropischen Regenwäldern. Auch bei Böden im südlichen Europa wäre ihr teilweise höheres Alter mit schon länger andauernden bodenbildenden Vorgängen zu beachten, so wenn in Kalkgestein der Kalk trotz seiner Schwerlöslichkeit teils weggelöst worden war und die Beimischungen übrigblieben. Vor allem der an sich geringe Gehalt an Eisenoxid führte zur Bildung der rotgefärbten **Terra rossa**, rot auf Kalk, und Rot auf teilweise Weiß - das ist das Aussehen des Bodens etwa auch



Abbildung 587: Roterde, Gartenland. Syrien.

in Istrien. In Dolinen, also Trichtern infolge Untergrundausschwaschung, häufen sich dann gar Karsteisenerze (G. BERG 1922).

In Nordeuropa und in den vergletscherten Teilen Mitteleuropas und auch in Nordamerika haben die Gletscher der **Eiszeit** die Lockermassen abgeräumt. Nach dem letzten **Gletscherrückzug**, dem Ende der Lößanwehung (H. ROHDENBERG et al. 1968, S. 136) dem "Aufhören" der periglazialen Umlagerungen (S. 129) und der Entwicklung der Vegetation bildeten sich hier Böden neu. Der **Löß** ist kein Boden, sondern ein Sediment, ein windbedingtes, und auf diesem Sediment Löß bilden sich Böden mit ihren Horizonten. Die Bodenbildung ging hier also **nacheiszeitlich** (E. RAMANN 1918, S. 33) vor sich und brachte vielerorts relativ fruchtbare Böden zustande. Mit den **nacheiszeitlichen Klimaänderungen änderten sich auch die Faktoren** der Bildung bestimmter Bodentypen, so der vor allem der '**postglazialen Wärmezeit**' angehörenden (H. ROHDENBERG et al. 1968, S. 148, 151) **Schwarzerde**, verändert durch das Vordringen des Waldes, und die "russischen Forscher" sprechen von 'degradiertem Tschernosem' (E. RAMANN 1918, S. 34). Die unter dem Einfluß des Klimawechsels ihre ursprünglichen Eigenschaften verlierenden Böden wollte RAMANN (1918, S. 34) "**Reliktböden**" nennen. In einer Landschaft wie dem mitteldeutschen Trockengebiet, wo sich wie später in Südosteuropa in einer etwas wärmeren Epoche mancherorts Schwarzerde gebildet hatte, wurde nach Abkühlung und stärkeren Niederschlägen dieser Prozeß beendet und entstand brauner Waldboden. Aber schon im Wechsel der Niederschläge von Jahr zu Jahr und mit der Vegetationsauflage und deren Zersetzungsprodukten bleiben die Böden auch ohne große Klimaänderungen nicht statisch und verändern sich (H. ROHDENBURG et al. 1968, S. 129), und bei Nutzung kommen Bearbeitung und Düngung hinzu. Vom Menschen unberührte Böden sind in Agrarregionen immer seltener zu finden.

Durch **Bodenerosion** fallen **Umlagerungsprodukte** an, am Hangfuß als **Kolluvium**, auf der **Talsole** als **Alluvium** (Auelehm) (CHR. SCHMIDT et al. 2016, S. 196). Die Bodenerosion wurde weltweit ein Problem der Landwirtschaft und mit dem Verlust des Ackerbodens drohen Hungerkatastrophen. Und wo gibt es dann noch Böden, um ausreichend Nahrung zu erzeugen? Da schließlich auch die Meere an Produktivität gewaltig einbüßten.

1926 wurde die **Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft** gegründet. Mit der weiteren Bodenforschung wurde die Zahl und die Klassifizierung der Bodentypen erweitert. Neben den bevorzugt von Klima und Vegetation bestimmten Bodentypen, betonten WALTER KUBIENA (W. LAATSCH 1967), Wien und zuletzt Hamburg und OTTO WILCKENS (1938) in Bonn wie vorher RAMANN teilweise die vor allem durch den **Gesteinsuntergrund** oder das Grundwasser bestimmten Böden. Als vor allem durch den Gesteinsuntergrund bestimmte Bodentypen benannte KUBIENA die **Ranker** auf Silikatgestein, die durch reichlich Rohhumus auf Rendzina ausgezeichnete **Pararendzina**, die **Terra fusca**. Bei den Flußauenböden unterschied er **Rambla**, **Paternia**, **Vega**. Ein führender Bodenkundler wurde in Deutschland EDUARD MÜCKENHAUSEN (Wikipedia 2017), der stets enge Verbindung zur Geologie hielt und die Bodenkunde als global orientierte Wissenschaft sah, in der vieles von anderen Wissenschaften einfloß. 1955 wurde er in Bonn Ordinarius und Direktor am neugegründeten Institut für Bodenkunde. Allein durch die Kulturarbeit des Menschen entstanden die **Eschböden**, wie E. MÜCKENHAUSEN (1936) hervorhob. Sie entstanden, wo über lange Zeiträume hinweg, über Jahrhunderte hin, Humusdünger etwa in Gestalt von Heideplaggen oder Heidesonden auf dürftige Sandböden gebracht wurden. Es entstand dort eine mächtige humose Krume, unter der sich noch der ursprüngliche natürliche Bodentyp befindet. Die Gesteinsabhängigkeit von Böden, etwa ihren Nährstoffreichtum, betonte dann O. WILCKENS (1938, zit hier S. 569): "Alles in allem wird die wichtige Rolle des geologischen Substrats wohl wieder etwas mehr herausgestellt, als es eine Zeit lang, in der Herrschaft der klimazonalen Bodenlehre, der Fall war." Das Nebeneinander oft mehrerer Gesteinstypen ließ dies gerade in Mitteleuropa wichtig erscheinen. Die Böden im Elbsandsteingebirge gehen auf den Sandstein zurück, unterscheiden sich aber je nach der Korngröße und des Bindemittels des Ausgangsmaterials (O. WILCKENS 1938, S. 554). Zu den Bodenbildungen kam noch manches hinzu, so herbeigewehrter Staub, gar Vulkanmaterial, welche die Bodenfruchtbarkeit beeinflußt (W. Graf zu LEININGEN-WESTERBURG 1917).

In der **Ungarischen Tiefebene** gibt es die '**Alkaliböden**' (O. WILCKENS 1938, S. 562 ff.), oben 'salzfreie' und den russischen Solonetzböden entsprechende, und weiterhin 'Sodaböden' mit Salzanreicherung oben und das **bis zur 'Salzausblühung'**, also wenigstens in der trockenen Jahreszeit mit weißem Salz an der

Oberfläche (S. 563).

Immer mehr Bodentypen wurden unterschieden. P. A. BROWN berichtete 1929 (S. 622), daß in Iowa/USA über 200 "soils types" kartiert worden wären und meinte, daß es einmal viele Tausende sein werden.

KUBIENA führte in die Bodenkunde das Verfahren ein, **gehärtete Bodenproben** ungestört **aus einer Profilwand** zu entnehmen und nahm an ihnen auch die in der Gesteinskunde entwickelte **Dünnschlifftechnik** vor. Bodenprofile wurden **Ausstellungstücke** in Instituten und Museum, und in St. Petersburg gibt es ein eigenes bodenkundliches öffentliches Museum, mit zahlreichen Bodenprofilen aus vielen Landesteilen an der Wänden.

Die **tropischen Regenwälder** mögen als fruchtbar erscheinen, ihre Böden sind es aber nicht, jedenfalls wenn es nicht gerade Vulkanböden sind. Hier haben erst jüngere ökologische Untersuchungen **ältere Illusionen** zu Fall gebracht. Wie Untersuchungen etwa in der Amazonasregion, der 'terra firma', zeigten, hat das "relativ hohe Alter" dieser Böden in Verbindung mit der intensiven chemischen Verwitterung die Silikate zerstört und es gibt eine "Residualanreicherung von Eisen- und Aluminiumoxiden" (E. E. HILDEBRAND 1980, S. 22). Es fehlt an dem für die Bindung von als Pflanzennährstoff dienendem Humus. Der Regenwald regeneriert sich durch den raschen Umsatz der organischen Substanz, also etwa der abgefallenen Blätter und der umgestürzten Bäume, ohne ausreichende Nährstoffnachlieferung aus dem Boden. Entwaldet ist der Boden für weiteres Pflanzenwachstum ungeeignet. 'Wanderfeldbau', "drifting cultivation", beruht für einige Zeit auf der Asche der verbrannten Vegetation, dann geht auch in Verbindung mit der Erosion der Ertrag zurück. Ortswechsel ist nötig. Versuche zum Dauerfeldbau scheiterten (S. 28/29). Die Nutzung der Amazonasregion wäre nur bei Dauervegetation sinnvoll und das bedeutete die den Regenwald insgesamt in Takt lassende Entnahme von Einzelstämmen. Landwirtschaftlich nutzen ließen sich Anschwemmungsböden längs der Flüsse.

Eher als Verwitterungsrinde, als eigentümliche Oberflächenzersetzung denn als geformter Boden ist der rote **Laterit** (J. H. HELLMERS 1941) der Tropen anzusprechen. Der Begriff wurde viel früher geprägt als andere bodenkundliche Termini, wird zurückgeführt auf FRANCIS HAMILTON BUCHANAN (A. J. A. 1886), Arzt-Offizier im Dienste der East India Company, der in seinem **1807** erschienenen umfangreichen Bericht über seine 1800 im Auftrag des governor-general von Indien vorgenommene Reise in Süd-Indien das harte, rote, ziegelartig verwertbare und weit verbreitete Material nennt. Laterit galt ihm als vulkanisches Ergußgestein,

Später (P. VAGELER 1912) sah man Laterit als Endprodukt der verbreiteten



Abbildung 588: Laterit. Australien.

Roterde-Bildung, Bei ihr gibt es jene unter den tropischen Klimabedingungen erfolgende Anhäufung von "Sesquioxiden", d. h. Aluminium-Hydroxid und dem die Rotfärbung bedingenden Eisen-III-Hydroxid, bei Wegführung der Kieselsäure. Anhäufung von Aluminiumhydroxid führt zu jenen Bauxit-Lagerstätten, welche die Lieferanten für Aluminium sind.

Den Böden vergleichbare Bildungen am Boden von stehenden Gewässern

Spezifische Ablagerungen, die man den Böden anschließen kann, gibt es am **Grunde von Gewässern**. Von H. POTONIE stammt der Begriff "**Sapropel**" (F. KAUNHOWEN 1914), 'Faulschlamm', für eine dieser Ablagerungen, auch 'Vollschlammfaulschlamm'. Es herrscht völliger Sauerstoff-Mangel bis hoch hinauf in das Wasser, gibt nur anaerobe Bakterien, gibt Fäulnis und keine Verwesung, ständigen Überschuß an Schwefelwasserstoff/H₂S (H. SCHNEIDERHÖHN 1962, S. 216). In Mooren blieben sogar Leichen erhalten -Reicht der Sauerstoff bis zur Oberfläche des Gewässerbodens oder noch etwas hinein und gibt es also Verwesung, erscheint der Halbfaulschlamm, die '**Gyttja**' (H. SCHNEIDERHÖHN 1962, S. 256).

Fossile Böden - alte Landoberflächen - Die Kaolin-Bildung

Auf Festländern wurde die Oberfläche oft weithin durch jüngere Ablagerungen bedeckt und wurden bei erhalten gebliebener Unterlage dabei Böden auf den alten **Landoberflächen** bewahrt, erhalten als **fossile Böden** (E. MÜCKENHAUSEN

1953). Ein weiteres Beispiel von Vorzeit im Untergrund unserer Landschaft. Man spricht bei ihrer Erforschung von "**Paläopedologie**". Besonders erhalten blieb die alte Oberfläche unter manchen Lavadecken, unter Basalt, auch wenn die heiße Lava die Unterlage nicht unbedingt unbeeinflusst ließ. Aus den fossilen Böden läßt sich wegen der Klimaabhängigkeit der Bodentypen vieles **über das Klima ihrer Bildungszeit** und den seinerzeitigen Oberflächenzustand ablesen. Die Erforschung alter Landoberflächen wurde ein fast eigenständiges Forschungsgebiet und wurde namentlich auch von Geographen betrieben.

Einer der ersten mit Forschungen dieser Art, betrieben um 1909, war EWALD WÜST (E. BECKSMANN 1934). WÜST war Assistent bei VON FRITSCH in Halle gewesen und folgte 1910 einem Ruf nach Kiel, wo er zuerst a.o. Professor, 1920 persönlicher Ordinarius, 1925 o. Professor und Direktor des damit selbständig werdenden Geologisch-Paläontologischen Instituts wurde. In der Umgebung von Halle untersuchte er die **Kaolinvorkommen** (1907), die er als Verwitterungsrinde einer alten Landoberfläche erkannte, später dem Prämitteleozän eingeordnet. Der Kaolin liegt hier vor allem auf Quarzporphyren, Eruptivgesteinen aus dem Rotliegenden. Wurde zum einen angenommen, daß diese Kaolinverwitterung der Quarzporphyre gleich nach ihrer Bildung begann, so gab es die andere Auffassung, daß sie nach der Ablagerung von unter- und mitteloligozänem Tertiär begann und unter diesen Ablagerungen sich fortsetzte. WÜST fand, daß die Porphyre unter der Auflagerungsfläche des Unteroligozän stets kaolinisiert sind, fand aber auch jüngere Gesteine gebleicht und verändert bis hin zum Muschelkalk, der letzten im Gebiet erhaltenen Ablagerung vor dem Tertiär. Das sprach für eine der Oligozän-Auflagerung vorangehende, unter ihr liegende und die verschiedenen an der Oberfläche anstehenden Gesteine erfassende "ursprünglich zusammenhängende Verwitterungsrinde" (S. 20). Wo schon im Oberrotliegenden Porphyrmaterial als Konglomerat unter den Schutz anderer Ablagerungen kam, gibt es an diesen keine Kaolinisierung, die also damals nicht stattfand. Der auf einer alttertiären Landoberfläche gebildete Kaolin entsprach der von RAMANN erkannten, vom Klima abhängigen Bodenbildung aus den damals als "Grauerden" bezeichneten Böden, die sich als ausgezeichnet erwiesen durch Kaolisierung der Feldspäte, Auslaugung der Eisenverbindungen und damit Bleichung, entstanden in feuchtem Klima unter Einfluß der Humussäure, verschieden von dem, was heute im mitteleuropäischen Klima wie auch in tropischen Gebieten entsteht. Ausbilden konnte sich diese Kaolinbildung, als die Landoberfläche lange Zeit nicht intensiver Abtragung unterlag, das Gebiet um Halle eines mit "akkumulativer Verwitterung" (S. 22) war, wo sich also die entstehende Verwitterungsrinde halten konnte. WÜST erkannte in Thüringen 2 Vererbungsperioden, eine frühtertiäre und eine pliozäne. Von Kiel aus untersuchte er paläozoische Landoberflächen im Unterharz.

H. HARRASOWITZ unterschied Allit, wozu der Laterit gehört, und Siallit, dem der Kaolin angehört. Er beschrieb (1926) vorcenomane Kaolinisierung in Sachsen. BRUNO VON FREYBERG führte die Bildung der Kaolinrinden in Mitteldeutschland ebenfalls bis lange vor der Bildung der Braunkohlenflöze zurück.

15. Fossile Organismen - Erforschung nach 1860

Stellung der Paläontologie - immer besser

Paläontologie ist in vielem eine **additive Wissenschaftsdisziplin** (E. L. YOCHELSON 1967), in der neue Befunde, ob **neue Taxa oder neue Fundplätze** auch schon **bekannter Taxa**, das bisherige Bild immer mehr **erweitern**, auch revidieren. Die Fortschritte der Paläontologie kommen mit neuen und dabei nicht vergehenden Tatsachen. Gewiß, es ändert sich die Interpretation. Aber ein Trilobit bleibt ein Trilobit. Kein Fund, wenn wenigstens beschrieben, verschwindet.

Wann wollte man sagen, daß so viele fossile Formen bekannt sind, daß das Gesamtbild sich nicht mehr ändert? Gewiß hat jede Zeit aus dem jeweils vorliegenden Material ihre allgemeinen Schlußfolgerungen gezogen, aber die Kenntniserweiterung durch neue Funde war stets offensichtlich. Neben ihrer weiterbestehenden Bedeutung für die Erdgeschichtsforschung, auch für die Feststellung von Umwelt in verschiedenen Zeiten der Erdgeschichte, ist Paläontologie ebenso wichtig für die Klärung von manchen Grundlagen der Biologie, allen voran für die Evolutionstheorie.

Für den angehenden Geologen oder gar Paläontologen waren immer viele Fossilien zu erlernen und man mußte Gefallen an Formen und auch geringen Abweichungen dieser haben, um zu bestehen. Wie etwa gewann man Fossil-Kennntnis? Der Biologe RICHARD B. GOLDSCHMIDT (1959, S. 55) hat in München neben seinem Zoologie-Studium auch bei dem damals führenden Paläontologen KARL ZITTEL gehört: "ZITTEL war ein ernster und würdig aussehender Mann mit kurzem, schwarzem Bart. Er las eine Hauptvorlesung über allgemeine Geologie. Sie zu hören, war ein glänzendes, unvergeßliches Erlebnis. Daneben las er für einen kleinen Kreis von Studenten über Paläontologie. Wir saßen alle um einen langen Tisch herum, mit dem Professor in der Mitte. Zu jeder dieser Vorlesungen brachte er Hunderte von Fossilien mit", entliehen aus der im 2. Weltkrieg zerstörten Bayerischen Staatssammlung. "Die Vorlesung selbst war schrecklich langweilig, weil er eine Unmenge Namen und unbekannter Arten zu bringen pflegte. Viele von diesen Fossilien ließ er auch herumgehen; bis solch ein Stück aber bei einem angelangt

war, hatte man keine Ahnung mehr, um was es sich handelte.” Aber man lernte doch auch zahlreiche Formen kennen.

In Deutschland strebte etwa OTTO JAEKEL (O. ABEL 1928, F. DREVERMANN 1929, H. TOBIEN 1973), Greifswald, nach einer **möglichst großen Selbständigkeit der Paläontologie**. JAEKEL gründete 1912 die **Paläontologische Gesellschaft** und eine eigenständige **Paläontologische Zeitschrift**.

JAEKEL, der durch eigenwillige theoretische Schlußfolgerungen und in seinem persönlichem Wesen manche verprellte, wurde am 21. Februar 1863 in Neusalz an der Oder als Fleischerssohn geboren. Er studierte in Breslau und München, wurde Assistent am Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Straßburg, wurde 1890 Privatdozent in Berlin, übernahm 1906 den Lehrstuhl DE-ECKEs in Greifswald, wo er nun vor allem für Paläontologie wirkte und 1921 ein eigenständiges Geologisch-Paläontologisches Institut zuwege brachte (G. KATZUNG et al. 2004, S. 4).. Im Jahre 1928 folgte JAEKEL einer Einladung an die Sun-Yat-Sen-Universität in Kanton in China, aber starb am 6. März 1929 an Lungenentzündung im deutschen Krankenhaus in Peking.

Auch Pflanzen hinterließen mancherorts große Gebilde, so **versteinerte Wälder** und Großtiere, Saurier, hinterließen versteinerte Exkreme, die **Koprolithen** (s. d.). Aber **Massen von Kleinlebewesen veränderten Atmosphäre und Ozeane** und Gewässer überhaupt (P. McL. D. DUFF et al. 1993, S. 543). Durch chlorophyll-führende Blau’algen’/-bakterien und dann die grünen Pflanzen überhaupt kam es zur **Anhäufung von Sauerstoff** in der Atmosphäre. wurde aus den Ozeanen und anderen Gewässern **Calciumcarbonat und Kieselsäure/SiO₂ entnommen** und mit den abgestorbenen solchen Organismen angehäuft. Milliarden kleiner Kalkschalen bilden die weißen Kliffs von Dover. Diatomeen bilden den Kiesel-schlick am Meeresboden und die Kieselgur im Binnenland. Größere Kalkgebilde haben die mancherorts sich häufenden Muscheln und Schnecken und als Terebrateln die Brachiopoden, und Chemiker interessierten sich im 20. Jh. zunehmend für die Bildung solcher **’biogenetischer anorganischer Materialien’**, für etwa den Aufbau der Muschelschalen, und die von der **Genetik** her zu klärende, und auf die Proteine resp. Nukleinsäuren zwischen den Kalkschichten in der Muschelschale zurückzuführende **Artbeständigkeit der Muschel- und Schnecken-Schalen** (D. W. BRUCE et. al. 1992, S. 238 ff.).

Arten und Varietäten

Die zunehmende Zahl bekannt gewordener Arten führte auch zu Erörterungen über den **Artbegriff in der Paläontologie** und mit der Fülle des Materials auch zur

Unterscheidung vieler Varietäten innerhalb der Arten, wie bei den Brachiopoden der Eifel (E. KAYSER 1871). Das Kriterium, daß die Angehörigen einer Art sich miteinander fortpflanzen sollten, konnte bei den Fossilien nicht angewandt werden.

Neue Fossilfunde und Fundumstände nach 1859, und auch im 20. Jahrhundert.

Fundumstände, Fundorte

Schon weil der Bergbau zunahm, die Erdoberfläche immer weiter wirtschaftlich ausgebeutet wurde, fanden sich auch viele neue Fossilien und ganze neue Fossilfundstätten. Erstaunlich war, daß an einigen Fundorten auch aus alten Schichten sehr deutlich erhaltene Funde auch von Tieren ohne Hartteilen zutage kamen, die "alle Erwartungen" übertrafen. Überlieferung von **Feinstrukturen** war bisher teilweise vom Jurakalk von Solnhofen im Altmühltal in Bayern bekannt gewesen. Zu Anfang des 20. Jahrhundert gab es so etwas auch in kambrischen Schichten des westlichen Kanada (G. STEINMANN 1912). Wer hatte mit dieser fast paläontologischen Wunderentdeckung gerechnet? Solche aufsehenerregenden Funde am Rande der Zivilisation führten auch vor Augen, von welcher **Zufälligkeit** das Finden wie die Überlieferung von Fossilien einesteils abhängen kann. Andererseits kamen großartige Funde zusammen, indem **an geeigneten Ort** in das Finden **System** hineingebracht wurde. Zu der reichen Fauna von Solnhofen bemerkte W. SALOMON (1925, S. 17): "An Ort und Stelle würde man persönlich sehr wenig finden und verdankt es nur dem planmäßigen Abbau des Materials, seiner Spaltung in dünne Platten und der Schulung der Arbeiter, wenn trotz der geringen Häufigkeit der Fossilien im Laufe der Zeit ein riesiges Material von Versteinerungen zusammengekommen ist, mit dem alle Sammlungen Staat machen". Hervorzuheben wäre vor allem auch die Erfindung der Lithographie durch ALOIS SENEFELDER, für welche die dünnen Platten des Malmkalkes in in großen Mengen benötigt und daher abgebaut wurden. Ohne SENEFELDER oder wenigstens die Lithographie hätte es für uns noch lange keinen Urvogel gegeben'.

Einbettung und Erhaltung von Fossilien

WEIGELT untersuchte die Vorgänge bei der Einbettung von größeren Tieren in Sedimente und dem, was man aus den **Fossilien** und deren **Lage im Sediment** ablesen kann. Er entwickelte dafür eine neue Teilwissenschaft, die 'Biostratonomie'

(W. JESSEN 1962). Die 'Stratonomie' war ihm die Wissenschaft von den für die genetischen Deutungen wichtigen Merkmale eines Schichtenverbandes. So fand er die passive Lage der Wasserleichen, also von ertrunkenen oder kurz nach dem Tode in Wasser gelangten Tieren, sah die Leichenverrückung durch Aasfresser, die Tätigkeitsspuren von Insekten an Leichen. Er unterschied den Tod durch Treibsand, den durch Zusammenrücken auf engen Raum bewirkten Tod bei Trockenheit, den Tod durch Rohöl und Asphalt und anderes. WEIGELT erprobte seine Erkenntnisse an den Fossilien des Kupferschiefers und bei den Flachwassersedimenten der unteren Kreide am Harz (H. GALLWITZ 1949). Er konnte aber auch umfassende Beobachtungen an rezenten Leichenfeldern von Wirbeltieren durchführen. Das gelang ihm etwa nach einem Kälteeinbruch in Texas (USA). Von einem Schneesturm 1832 im russischen Gouvernement Saratow wird nach WALTHERs Angabe (1930) berichtet, daß 10 500 Kamele starben, 280 000 Pferde, 30 480 Rinder, 1 012 000 Schafe - genug Leichenmaterial für Einbettung, wenn denn die Umstände dafür gegeben waren.

Mit Leitfossilien die stratigraphische Stellung von Gesteinen in verschiedenen Teilen der Erde erfassen

An bestimmte Schichten der Erde gebundene Fossilien, die 'Leitfossilien', dienen der Bestimmung, welchen Abschnitten der Erdgeschichte die Sedimente irgendwo auf der Erde angehörten. Wenn Forschungsreisende, ob allein oder als Angehörige von Expeditionen, irgendwo die Altersstellung eines untersuchten Sedimentes ermitteln wollten, mußte sie aus dem Sediment möglichst viele Fossilien aufsammeln - eine schon am Anfang stratigraphischer Forschung übliche Methode. Häufig aufgesammelte Arten waren vor der Entwicklung der Mikropaläontologie namentlich die oft eng schichtgebundenen Ammoniten, waren die Schalen anderer Weichtiergruppen, waren die Brachiopoden, auch die Ostracoden. Geologen, welche in fernen Erdregionen sammelten oder auch nicht nur zum Fossiliensammeln ausgesandte Expeditionen etwa in unwirtliche und gar polare Gebiete, konnten die gesammelten Fossilien oft nicht selbst bestimmen und lieferten die Fundstücke in die Hände von **Spezialisten**, welche meistens nicht selbst Sammler waren und ihre Fossilkenntnisse aus den Fossilsammlungen ihrer Institute erworben hatten. Wie in der Botanik oder Zoologen, in denen Spezialisten Kenner bestimmter Gruppen waren und das auch ohne eigene Reisen oft erdweit und von Forschern in aller Welt zur Mitwirkung gebeten, galt das auch in der Paläontologie. Die Unterscheidung der Arten erforderte Einarbeitung und das konnte nur dem Spezialisten möglich werden. **Neben** seinem **Arztberuf** veröffentlichte monographisch über fossile Stachelhäuter/Echinodermate in Großbritannien namentlich der Kreidezeit und über

Ammoniten des Lias THOMAS WRIGHT (Y. FOOTE 2004).

Der 23-jährige FRANZ KOSSMAT, veröffentlichte 1894 an der K. und k. Reichsanstalt Wien seine auf umfangreiche Fossilien gestützte Arbeit "Die Bedeutung der südindischen Kreideformation für die Beurtheilung der geographischen Verhältnisse während der späteren Kreidezeit". In dem Gebiete, woher Fossilien für diese Untersuchung vorkamen, war Österreich nicht vertreten und hatte dort keine Interessen. Dr. H. WARTH, Intendant des Madras-Museums in Süd-Indien hatte Cephalopoden in **Süd-Indien** gesammelt und ergänzt durch weitere Stücke an WAAGEN in Wien geschickt, damit die Stücke dort untersucht und eingeordnet werden. Das stand auch im Interesse von KOSSMATs anderem Lehrer, EDUARD SUESS, dem die Feststellung des mesozoischen Zusammenhangs der Kontinente auf der Südhalbkugel wichtig war und der hier den Riesenkontinent Gondwanaland gefaßt hatte. Beauftragt mit der Untersuchung in Wien wurde der noch junge KOSSMAT. Das war eben internationale wissenschaftliche Arbeit 20 Jahre vor dem Ersten Weltkrieg. KOSSMAT (1907) konnte als Mitglied der von der Wiener Akademie der Wissenschaften im Winter 1898 -1899 entsandten südarabischen Expedition auf der Insel **Sokotra** selbst Fossilien sammeln und nachweisen, daß es vor allem Cenoman-Formen waren (S. 59). Und eigener Turon-Horizont ließ sich nicht ausscheiden und das auch nicht in Syrien, wo M. BLANCKENHORN geforscht hatte, aber Sokotras Kreidefossilien wiesen nach Westen nach dem Mittelmeer, Teil der einstigen Tehthys.

STEINMANN hatte in **Südamerika** in den **Anden** gesammelt und sein Schüler OTTO WILCKENS (J. WANNER 1942) in Freiburg i. Br. hat sich 1903 mit der Dissertation "Revision der Fauna der Quiriquina-Schichten" promoviert und im Februar 1906 mit "Die Meeresablagerungen der Kreide- und Tertiärformation in Patagonien" habilitiert. WILCKENS folgte STEINMANN nach Bonn, wurde hier während STEINMANNs Reisen sein Vertreter. Im Juli 1913 als Professor nach Straßburg berufen, wurde WILCKENS hier im Dezember 1918 von der neuen französischen Verwaltung ausgewiesen, aber WILCKENS konnte in Bonn arbeiten und wurde ohne dort gewesen zu sein Kenner der Geologie der antarktischen Länder. WILCKENS lieferte Untersuchungen der "oberkretazischen Gastropoden von Neuseeland", zur "nur wenig bekannten neuseeländischen Trias" und bearbeitete noch "schwieriges fossiles Material aus dem ostindischen Archipel" (J. WANNER 1942, S. 502),

Tier-Fossilien: Bedeutende und wichtige Funde und Befunde

Wirbeltiere

Einen Höhepunkt der Erschließung fossiler Wirbeltiere und eine für die Evolutionstheorie wichtige Form bildete 1860 die Auffindung von **Archaeopteryx**, dem sogenannten "Urvogel", im Malm von Solnhofen und 1877 von Archaeornis bei Eichstätt (O. H. SCHINDEWOLF 1948). Das erste Exemplar von Archaeopteryx wurde 1860 vom Britischen Museum in London angekauft. Der bibeltreue, in der Münchener Zoologischen Staatssammlung angestellte JOHANN ANDREAS WAGNER (Wikipedia 2014) im schwarzen Bayern beschrieb es als gefiedertes Reptil, *Griphosaurus*, jedoch der tonangebende Paläontologe RICHARD OWEN als Vogel. Die Mischung von Reptilien- wie von Vogel- Merkmalen war offensichtlich. WAGNERs Unterschätzung der Stellung der Archaeopteryx soll die Weggabe nach London befördert haben.

Landwirbeltiere, Reptilien aus dem Mesozoikum wie Säugetiere auch aus dem frühen Tertiär wurden von etlichen Paläontologen der USA bekannt gemacht, Die Reste lieferte der Westen der USA, von der weite Teile nach dem Sezessionskrieg 1861 - 1865 und dann verbunden mit dem Bau transkontinentaler Eisenbahnen eingehender erschlossen wurden. Der Professor der Anatomie und dann der Naturgeschichte in Philadelphia veröffentlichte 1861 das Buch 'Extinct Fauna of Dakota and Nebraska'. Führend wurden dann COPE und MARSH. OTHNIEL CHARLES MARSH (H. B. GEINITZ 1899, G. P. M. 1961, CH. SCHUCHERT, E. N. SHOR 1974) wurde 1831 geboren in Lockport im Staate New York, verlor im Alter von 3 Jahren die Mutter, aber wurde von einer Tante nicht nur aufgenommen, sondern auch intellektuell gefördert und war durch Erbe im Leben auch finanziell gesichert. Ja sein Onkel mütterlicherseits GEORGE PEABODY, ein Bankier, konnte auch das Museum für MARSH in New Haven finanzieren. Nach Studium an der Yale University verbrachte MARSH 3 Jahre in Deutschland, in Berlin, Breslau und Heidelberg. Im Jahre übernahm MARSH den ersten Lehrstuhl für Paläontologie in den USA überhaupt, den an der Yale University. Schon vorher hatte er im Gelände ausgegraben und setzte das fort. 1870 übernahm er eine erste Yale-Expedition von 13 Personen, die längs der neu eröffneten Pazifik-Bahn vorrücken konnte, jedoch wegen befürchteter Indianer-Überfälle auch eine militärische Eskorte benötigte. 1871, 1872, 1873 folgten weitere solche Expeditionen. In großem Stile wurde zusammengetragen und das Material nach New Haven gesandt. MARSH war of in England und reiste 1897 auch in Rußland. Auch Skelette rezenter Tiere wurden bei MARSH zusammengetragen, um Vergleichsmaterial zu haben. Was CUVIER

schon großartig begann, was gewiß im England um 1830 schon in großen Linien bekannt war, das wurde durch die USA-Paläontologen, durch MARSH, COPE, OSBORN, MATTHEW in einem großartigen Ausmaß erweitert und ließ die **biologische Welt einer Vergangenheit** des Mesozoikum und der des Tertiär entstehen, die auch in Kinderbüchern fast zu einer zweiten Wirklichkeit wurde. Funde in Ost-Afrika und in Zentral-Asien haben das später wesentlich ergänzt und das Bild auf weitere Regionen der Erde ausgedehnt. Für viele entstand immer mehr erweitert ein den Schöpfungsbericht der Bibel ablösender **naturwissenschaftlich begründeter Bericht von Werden und auch Vergehen**. Und war diese naturwissenschaftliche Schau auf die ferne Vergangenheit nicht viel erregender als der vage Moses?

Die Funde großer oder apter Tiere brachten oft das größte Aufsehen und waren für die Evolutionsstheorie von großem Wert, wenn sie auch nicht Leitfossilien werden konnten wie die häufigen Ammoniten.

Fossile Reptilien, aufsehenerregend einst zuerst in Süd-England, boten immer wieder Überraschungen und lieferten bis heute die **Knochen von Tieren**, die sich **kaum Phantasie** als ehemals lebendige Wesen **so hätte ausdenken** können.

1877 waren in **Colorado** Knochen eines gigantischen Dinosaurus ausgegraben worden und MARSH sicherte sich die Stücke vor COPE und stellte die Art ***Titano-saurus***, später ***Atlantosaurus***, Art *montanus*, auf (CH. SCHUCHERT 1938, S. 37). MARSH konnte aus weiterem reichen Fundmaterial schließlich einmal 21 neue Gattungen und 41 neue Spezies der Dinosaurier beschreiben, "truly the richest harvest of dinosaurs ever garnered by a single paleontologist" (S. 37), aber das war noch nicht das Ende. Schon 1877 war von MARSH beschrieben auch der als vielleicht der bizarrste Saurier bezeichnete ***Stegosaurus***, mit seinen mächtigen, stachelbewehrten aufrechten Rückenplatten. Gehört waren die ***Ceratopsia*** (S. 39). Im Meer der Unter-Kreide schwamm der ***Mosasaurus*** (CH. SCHUCHART 1938, S. 43). MARSH berichtete, daß er bei einer Ausgrabung einmal 7 verschiedene Skelette dieser Monster zugleich gesehen habe (S. 43). WILLISTON nahm sich der Gruppe der **Mosasaurier** an. Im Malm des späten Jura von Solnhofen barg MARTIN KRAUSS 1873 einen recht gut erhaltenen **Flugsaurier**, einen langschwänzigen, den MARSH nach dessen Überführung zu ihm ***Rhamphorhynchus***, Species *phyllurus*, nannte (CH. SCHUCHERT 1938, S. 42). Ein kleinerer Flugsaurier war schon 1784 durch COSIMO COLLINI (s. ob.) mit umstrittener Einordnung beschrieben worden (W. LANGSTON, Jr. 1981). Im Mai 1897 kam es durch MARSH zu weiteren **Flugsaurieren**. Beschrieben wurde der ***Pteranodon***. MARSH beschrieb auch **fossile Schlangen**.

Eine ganz bedeutende paläontologische Entdeckung von MARSH war die von

zahntragenden Vögel aus der **Ober-Kreide** von Nordamerika, 1880, in einer Monographie genannt die 'Odontornithes'/'**Zahnvögel**. Knochen dieser Tiere waren schon gefunden worden und wurden 1872 einer ***Ichthyornis dispar***/Fischvögel genannten Art zugewiesen (CH. SCHUCHERT 1938, S. 44). Die Auffindung eines Schädels und zugehörige Teile beider Kiefer ließen die Zähne an den Kiefern erkennen, was MARSH in einem ersten Beitrag im Februar **1873** veröffentlichte, Die kreidzeitlichen Zahnvögel, die durch Arten wie *Hesperornis* bereichert wurden, schlossen die Lücke zwischen der Archaeopteryx und den Vögeln ohne Zähne im Schnabel. Aus 1880 bekannten 5 verschiedenen Individuen der Gattung *Hesperornis* und 77 von *Ichthyornis* ließ sich ein fossiles kleineres Tier so vollkommen rekonstruieren, daß A: GEIKIE bewundern sagte, daß eine solche Möglichkeit kaum glaubhaft schien (CH. SCHUCHERT 1938, S. 45) Der USA-Paläontologe OSBORN bemerkte 1931, daß die Entdeckung der Zahnvögel war "the most important single palaeontological discovery" von MARSH (zit. bei CH. SCHUCHERT 1938, S. 44). 1896 beschrieb SAMUEL WENDEL WILLISTON eine *Hesperornis* mit Federn, die MARSH als den Straußen-Federn ähnlich sah (S. 46). Die zahlreichen Arten der Zahnvögel wiesen auf eine schon länger zurückliegende Aufspaltung.

Von neueren Vogelordnungen bearbeitete GEORGE GAYLORD SIMPSON die fossilen Pinguine, von denen er selbst mit seinem Team 1933 in Patagonien auf einer 1930 begonnenen Patagonien-Expedition an einem einzigen Ort eine reiche Kollektion zusammenbrachte und konnte auch mit rezenten Pinguinen bekannt werden (H. B. WHITTINGTON 1986, S. 536). .

Säugetiere sind älter als die Vögel, jedoch Säugetiere stellten im **Mesozoikum** nur kleine Vertreter, deren große Zukunft noch nicht zu ahnen war. Die Reste dieser kleinen Säugetiere, wenige bekannt in England, mehr in Nordamerika und weitere gebracht 1925 durch eine Expedition des American Museum in die Mongolei, fanden ihren speziellen Bearbeiter in SIMPSON (H. B. WHITTINGTON 1986, S. 531 Da sie Körperwärme bilden konnten, also wie die Vögel die Fähigkeit der Endothermie besaßen, konnten sie kühlere Orte, engere und dunklere Räume bewohnen und konnten auch nachtaktiv sein, also in Nischen sich entwickeln, wo ein gewisser Schutz vor der teilweise fraßgierigen Oberwelt bestand und also überhaupt überleben konnten (A, CLARKE et al. 2010). Die **kleinen Säugetiere des Mesozoikum** waren bis 1878 nur von **Europa**, namentlich von England, bekannt. **Nordamerikas** Säugetierpaläontologie kam 1878 als in Wyoming ein Unterkiefer eines Säugers von der Größe eines Wiesels gefunden und von MARSH *Dryolestes priscus* genannt wurde. Dieser wie die europäischen Vertreter schienen MARSH nicht in eine schon bestehende Säugetier-Ordnung eingliederbar und er begründete die Ordnung **Pantotheria**, dann die spätere Unterklasse der Allotheria (CH. SCHUCHERT 1938, S. 50). Im Juli 1880 beschrieb MARSH 12 Gattungen und

18 Spezies der Säuretiere der Kreide-Zeit. G. G. SIMPSON unterschied 1928 44 Säugetier-Arten des Jura, eingestellt in 23 Gattungen (S. 50). Wieder geht die Forschung in Nordamerika voran, wenn **im Tertiär Säugetiere** in reicher Fülle bekannt wurden, und ganze Gruppen, unter ihnen besonders große, starben schon tief im Tertiär wieder aus. In Eozän-Schichten von Wyoming fanden sich Skelett-Teile von großen **Säugetieren**, welche COPE für Elefanten hielt und MARSH als eine neue Säugetier-Ordnung aufstellte. die Dinocerata, mit dem zuerst von LEIDY 1872 publizierten *Uintatherium robustum* und dem dann üblichen Namen für diese Tiere als **Uintatheres**. MARSH lieferte 1884 eine Monographie unter dem Namen Dinocerata. Es gab also also ganze größere ausgestorbene Säugetier-Gruppen im frühen Tertiär. COPE und MARSH gerieten noch in einen auch in der Presse ausgetragenen Prioritätsstreit, wobei man sich gegenseitig sogar Funde zerstörte. Große Säuger waren auch die **Brontotheria**, die bei LEIDY Titanotherien hießen (CH. SCHUCHERT 1938, S. 54). Das erste hierher gehörende Exemplar war 1872 gefunden worden, von MARSH *Brontotherium gigas*, übersetzt das 'große Donner-Biest', genannt, Die Brontotherien lebten in Nord-Amerika vom Eozän bis ins Oligozän, In großen Herden grasten sie in den großen Ebenen, den 'Great Plains', Nordamerikas. Entdeckt wurden solche Brontotherien später auch in der Mongolei. OSBORN unterschied 8 Linien, mit 23 Gattungen. 8 davon gehen auf MARSH zurück. In Nordamerika verschwanden die Titanotherien trotz hoher Blüte recht plötzlich, was O. ABEL 1926, S. 340/341) auf "degenerative Prozesse ... analog wie bei den Höhlenbären" zurückführt.

1871 gelang der erste Fund eines ausgestorbenen und von MARSH beschriebenen Pferdes, der mit weiteren Funden zu dem **Pferde-Stammbaum** führte. In Amerika waren die Pferde restlos ausgestorben gewesen und wurden erst durch die Europäer wieder eingeführt und erst dadurch wurde etwa der berittene Sioux-Indianer möglich.

Als Leitfossilien waren größere Tiere, oft nur an einer oder wenigen Fundstellen erschlossen, in der weiträumigen geologischen Erschließung einer Region nur bedingt zu gebrauchen. Gut erhaltungsfähige **Einzelteile von größeren Tieren** können da schon weiterhelfen, waren in manchen Fällen das einzige, was sich erhalten hatte. Der "Zahn der Zeit" ließ gerade **Zähne** oft zurück. **Von Fischen** waren aus dem Tertiär im nördlichen Deutschland, namentlich im Oligozän, vor allem auf die 'Gehörsteine', die '**Otolithen**', erhalten geblieben, und diese besitzen artspezifische Merkmale. ERNST KOKEN (1884; F. v. HUENE 1912) untersuchte zum Vergleich die Gehörsteine von etwa 60 rezenten Fisch-Gattungen, vor allem in der Zoologischen Station Neapel und fand die fossilen Otolithen als Leitfossilien nutzbar zu machen.

HERMANN CREDNER (F. RINNE 1913) barg und beschrieb 1881-1893 zahlrei-

che **Stegocephalen** aus dem Rotliegenden des Plauenschen Grundes bei Dresden, wobei er eine besonders ergiebige Kalksteinbank aufkaufte und so genau untersuchen konnte, unterstützt von seiner Gattin. Die schon entfaltete Gruppe vereinte Merkmale von Amphibien und Reptilien. Vor allem erregten **fossile kiementragende Larven** Aufsehen.

JAEKEL (O. ABEL 1928) untersuchte in den 90er Jahren des 19. Jh. etwa die fossilen **Haie** (Selachier) im Muschelkalk und die im Eozän von Monte Bolca, seit 1903 die paläozoischen **Panzerfische** bei Wildungen und grub die **Saurier aus der Trias von Halberstadt** aus. Hier fand er auch eine **primitive Schildkröte**, die *Triassocheilus dux*. Manche Konstruktion wurde ihm als fehlerhaft gerügt, aber immerhin wurden bedeutsame Funde getätigt.

Von den immer wieder interessierenden **Flugsauriern** fanden sich 25 Millimeter lange Formen, bekannt geworden in Nord-England im späten 19. Jh., bis hin zum im 20. Jahrhundert bekannt gewordenen *Quetzalcoatlus* in Nordamerika mit einer Flügelspannweite von 11 bis 12 Metern. Damit wurde das Gewicht eines menschlichen Hanggleiters erreicht (W. LANGSTON Jr. 1981).

In den Jahren 1909 bis 1912 leitete BRANCA die deutsche **Tendaguru-Expedition**, nach Ostafrika (heute Tansania) zur Untersuchung des dortigen oberen Jura mit seinen bedeutendsten Skelette von Dinosauriern. Es war die größte bis damals ausgeführte Expedition zur Ausgrabung fossiler Wirbeltiere. In den Jahren 1912 bis 1913 folgte ihm HANS RECK (H. TOBIEN 1975), damals Assistent am geologischen und paläontologischen Institut der Universität Berlin. RECK unternahm 1913-1914 auch die ersten systematischen Ausgrabungen in der Oldoway-Schlucht (Oldovai Gorge) und begleitete hier hin 1931-1932 LOUIS LEAKEY. Diese Oldoway-Schlucht lieferte mit die bedeutendsten ältesten fossilen Menschenreste.

Von **Dinosauriern** waren zahlreiche Arten in zahlreichen Gattungen aufzustellen (s. z. B. T. HARDT et al. 2011), von Resten in aller Welt, kamen pro Jahr wenigstens ab Ende des 20. Jh. etwa 50 neue Arten hinzu (Philosophische Sternstunde im Schweizer Rundfunk, Debatte mit STEVE BRUSATT, YouTube). Nicht alle waren groß. 1996/97 fanden sich Dinosaurierfossilien die Federn trugen und möglicherweise war das weit verbreitet. Aus den Wachstumsringen an den Knochen ging hervor, daß auch die großen Dinosaurier nicht älter als 40 - 50 Jahre alt wurden, also schnell gewachsen sein müssen, aus relativ kleinen Eiern. Es wird geschätzt, daß sie etwa 200 kg pro Tag fraßen. Angiospermen erscheinen erst in der Oberkreide, Gras gab es nicht. Die Popularität der Dinosaurier stieg mit dem Roman 'Jurassic Park' von MICHAEL CRICHTON, der zum gleichnamigen Film von STEVEN SPIELBERG führte.



Abbildung 589: Saurier Ulan-Bator 1963.

Aus bestimmten Dinosaurierarten, die auf Hinterbeinen liefen, gingen **die Vögel hervor**. Vögel und Reptilien werden vereinigt zu den **Sauropsida**.

Auch das nördliche **Zentral-Asien** holte an Funden gewaltig auf.

Ein Eldorado von Dinosaurier-Funden war und blieb bis ins 21. Jh. die **Pampa** im Süden von **Argentinien**, wo bei der spärlichen Vegetation vor allem im Süden die Funde leicht zu Tage treten (T. HARDT et al. 2011, S. 25). Am Hals ausgestattet mit 1 m langen Stacheln war der *Bajadasaurus pronuspinax* (Spiegel-online 10. 2. 2019). Im November 2018 war gefunden worden *Lavicatisaurus agrioensis*, das größte der gefundenen Tiere 12 m lang mit kleinem Kopf, langem Hals, langem Schwanz, lebte vor etwa 110 Millionen Jahren und die Tiere, gefunden auch kleinere, zogen wohl in Herden über das Land (Die Zeit online 2019). Im USA-Staat Uta wurden Beinknochen und Zähne eines etwa menschengroßen, 28 kg schweren Raubsauriers, *Moros intrepidus*, vom Anfang der Kreidezeit gefunden, die als Vorläufer des Tyrannosaurus rex sehen kann (so auch LVZ 24. 2. 2019).

Eine besondere Rolle in der Paläontologie spielte stets das **Mammut**/*Mammuthus primigenius* BLUMENBACH (W. E. GARUTT 1964). Es mußte als ausgestorben gelten, aber wohl noch nicht so lange und war nahezu auch wie die Moas auf Neuseeland **subfossil** und vor allem waren von ihm auch Weichteile auffindbar. Wäheres vom Mammut wurde bekannt, als 1799 ein Kadaver in der Lena-Mündung gefunden wurde (W. E. GARUTT 1964, S. 12 ff.). Bei der Auffindung war viel von dem **rötlichen Haarkleid** vorhanden. Der sich 1806 in Jakutsk aufhaltende Botaniker M. I. ADAMS erhielt Erlaubnis und Auftrag die erhaltenen Teile zu bergen. Bis Jakutsk zu Schiff und dann auf dem Landweg wurden die Reste nach St. Petersburg gebracht und dort 1808 als "das erste montierte Mammuskelett in der Welt" (S. 13) aufgestellt. Vom Mammut wurden nach den Knochen durch FI-

SCHER VON WALDHEIM, Moskau, verschiedene Arten unterschieden (S. 110). Angeregt durch den Lena-Fund wünschte man mehr, Belohnungen für Funde wurden von der Petersburger Akademie ausgesetzt. Jäger fanden 1900 ein Mammut am linken Ufer der **Beresowka**, einem linken Nebenfluß der Kolyma (S. 35). Hierhin wurde nun 1901 eine Expedition ausgesandt. Der dazu gehörende Oberpräparator E. W. PFIZENMAYER machte 1926 auch das deutsche Publikum mit dem Verlauf der Expedition bekannt. Mit der Eisenbahn bis 14. Mai nach Irkutsk war einfach. Zuletzt mußte mit aller Ausrüstung zu Pferde zu der Fundstelle geritten werden (W. E. GARUTT 1964, S. 36). Dort war man Anfang der September. Da der Boden völlig gefroren war, wurde über dem Mammut-Kadaver ab 18. September ein Blockhaus gebaut und ab 30. September "mit Spezialkaminen" (S. 37) beheizt. Wie Garutt berichtet (S. 37): "Für den Transport nach Petersburg wurde der Kadaver zerteilt, die einzelnen Teile in Leinwand gewickelt und dann in Pferdehäute eingekleidet. Nach dem Verpacken wurden die Stücke erneut gefroren." Am 15. Oktober begann der Rückweg, Nach dem Transport auf Pferden wurde auf Rentierschlitten umgeladen und das Fundmaterial kam ab 6. Februar 1902 in einem Kühlwagen der Eisenbahn und nach 13 Tagen in Petersburg an. 1903 wurde das Mammut in der Stellung seines Auffindens ausgestopft präpariert für die Öffentlichkeit zugänglich. In der Mundhöhle war auch noch Nahrung enthalten gewesen. Um zu ergänzen: 1949 konnte ein auf der Taimyr-Halbinsel gefundenes Mammut in Teilen in Kisten verpackt mit dem Flugzeug angeholt werden (S. 52).

So einen Fund konnte es **in Deutschland** selbstverständliche nicht geben, denn hier waren nur Knochen erhalten geblieben. Jedoch einiges Aufsehen erregten auch die aus ihren Knochenresten zusammensetzbaren 'Mammute' oder ihnen verwandte Großelefanten (Internet): 1908/1909 bei Borna in W-Sachsen und im Zweiten Weltkrieg zerstört, 1910 in Steinheim an der Murr, Juni **1910** in einer Tongrube in Ahlen/Westfalen und dann aufgestellt in Münster mit einem Alter von etwa 18.000 Jahren und zusammengesetzt aus 220 von demselben Tier stammenden Knochen. Weitere Altelefanten gab es später, so für Sangerhausen.

Auch ansonsten gab es immer wieder auch interessante Säugetierfunde, **Fossil** wurde 1971 in New South Wales in Lightning Ridge ein Vertreter der **Monotremata** gefunden, *Steropodon galmani* genannt, das vor 100 Millionen Jahren, also in der Kreidezeit, lebte (P. RISMILLER 1995, S. 556).

Auch zarte Quallen gefunden im Cambrium: im Hochgebirge von Westkanada: WALCOTT

Hoffnung auf Funde von weichen präkambrischen oder auch kambrischen Lebewesen schien nicht erfüllbar zu sein und die Plötzlichkeit des Auftretens von Lebewesen, und zwar hartschaligen, somit kaum deutbar. Woher stammten sie?



Abbildung 590: Mammut Münster. Verf. Foto.

Bald weites Aufsehen (G. STEINMANN 1912) erregte der führende US-amerikanische Paläontologe CHARLES DOOLITTLE WALCOTT (E. L. YOCHELSON 1967, 1976, 1996), der ab 1909 eine mittel-**kambrische Fauna** fand in British Columbia in den kanadischen Rocky Mountains nahe dem **Burgess-Paß**, in einer Höhe von 1300 Meter über der nächstgelegenen Stadt Field. WALCOTT hat seine Lebensarbeit an diesem einen Fundplatz ausgerichtet. Am 31. März 1850 war WALCOTT in New York geboren. Zuerst sammelte er Fossilien für sich persönlich und arbeitete zu diesem Zweck sogar auf einer Farm im Staate New York. Schon damals wollte er sich vor allem den ältesten, von SEDGWICK in Wales in England erschlossenen Faunen zuwenden. WALCOTT verkaufte seine Sammlung an die Harvard-Universität. AGASSIZ starb, bevor WALCOTT bei ihm studieren konnte. Im November 1876 wurde WALCOTT Assistent bei JAMES HALL, Staatsgeologen von New York. Als 1879 der USA Geological Survey gegründet wurde, trat auch WALCOTT in dessen Dienste. 15 Jahre später, 1894, wurde WALCOTT dessen Direktor. Er bekannt durch seine zahlreichen Arbeiten über altpaläozoische Tiere, so über fossile Medusen, kambrische Brachiopoden. WALCOTT setzte sich auch für Nationalparks ein. Im Jahre 1907 wurde er Direktor der Smithsonian Institution.

Mit dem Kambrium der kanadischen Rocky Mountains war WALCOTT 1900 und 1907 auf Reisen nach British Columbia bekannt geworden. Als 1910, WALCOTT stand im 60. Lebensjahr, auf seinem Weg zum Burgess-Paß ein Brocken von Schiefer ton lag, zerschlug WALCOTT das Stück und sah zu seiner Überraschung fossile Abdrücke von Tieren, die einen weichen Körper und nicht eine harte Schale besessen hatten. Mit seinen Begleitern suchte WALCOTT erfolgreich die Herkunftsstelle des Gesteinsbrockens und legte dort einen Steinbruch an, in dem er bis 1925, besonders in den Jahren 1912, 1913, 1917, eine reiche Fossilausbeute heraushol-

te. WALCOTT fand Reste von Tieren mit weichem Körper, von mehr als 130 Spezies, die zu über 70 Gattungen gestellt wurden, erhalten in einer vorher unerwarteten Deutlichkeit, von WALCOTT in vorzüglicher fotografischer Abbildung veröffentlicht. Die kambrischen Fossilien vom Burgesspaß zeigten, **wie unvollkommen** die bisher **ausgewertete Fossilüberlieferung** (fossil record) war, wenn plötzlich so viele neue wichtige Formen gefunden wurden und sie demonstrierten, welch ein reiches Leben es schon im Kambrium gab. Im Juli 1911 war WALCOTTs zweite Ehefrau bei einem Eisenbahnunfall getötet worden. WALCOTT war noch in hohen Ämtern tätig, gründete 1915 das National Advisory Committee for Aeronautics, erwirkte neben einigen anderen ANDREW CARNEGIEs Unterstützung der Grundlagenforschung, war 1917 bis 1932 Präsident der National Academy of Sciences. WALCOTT starb am 9. Februar 1927 an einem Schlaganfall.

Fossilien sogar vor dem Kambrium

Präkambrische Fossilien wurden kurz vor dem Ersten Weltkrieg in Deutsch-Südwest-Afrika gefunden.

Im Jahre 1928 berichtete POMPECKJ über den Fund eines nicht genau bestimm- baren, aber in manchen Zügen an einen Meereswurm erinnernden Tieres in einem Geschiebe, das dem Paläontologischen Museum Berlin aus der Sammlung des Adligen Damenstiftes zum Heiligen Grabe in der Prignitz von dessen Stifts- dame Fräulein von AUERSWALD übermittelt wurde. Nach der Spenderin wurde das Stück ***Xenusion Auerswaldae*** genannt. Der das Fossil enthaltende Teil des Geschiebestückes befand sich in einem heller gebänderten roten bis violetten Sand- stein, der kambrisch oder präkambrisch war, auf jeden Fall an den algonkischen Dala-Sandstein Skandinaviens erinnerte. Es wurde angenommen: "Ein "Neues" ist uns in die Hände gespielt worden" (S. 309), wobei vor allem das vermutete frühe Alter wichtig schien.

Ganz wichtiger Fundplatz für präkambrische Fossilien wurden die **Ediacara Hills**, etwa 300 Meilen nördlich der Stadt Adelaide in Süd-Australien. Der australische Geologe REGINALD CLAUDE SPRIGG tätigte hier bei Erschließungsarbeiten **1947** die ersten Funde, wobei die Sandsteine zunächst zum niedersten Cambri- um gerechnet wurden. SPRIGGs erste Mitteilungen wurden bezweifelt, ja abge- lehnt (Wikipedia 2018). Die Fundstätte wurde weiter erschlossen unter Sir DOU- GLAS MAWSON und erwies sich als präkambrisch. Unter den bis 1961 etwa 600 Fundstücken, die MARTIN F. GLAESSNER 1961 beschrieb. Der 1989 gestore- bene GLAESSNER war 1906 in Aussig/Usti an der Elbe geboren worden, arbei- tete später in Wien und emigrierte wegen väterlicher jüdischer Vorfahren. Unter den Funden der Ediacara-Fauna befanden sich Quallen, Seefedern, Wurmspuren

segmentierte Würmer, also wohl Ringelwürmer: *Spriggina floundersi*, am meisten **Dickinsonia**. Diese war benannt nach dem damaligen Direktor der Minen von South Australia. *Dickinsonia* ist ein segmentierter Körper, millimeter-dünn und bis 1,40 m lang (spiegel-online 21. 9. 2018). Seine zoologische Zugehörigkeit ist noch umstritten. Zugehörigkeit zu den Protozoen wird meistens abgelehnt, es soll sich um einen Vielzeller handeln. Kein Fossil der Ediacara-Fauna besaß harte Schalen. An harten Stücken gab es nur Nadeln aus Calciumcarbonat. Die Fazies war offensichtlich Schlamm in niederem Wasser gewesen. Aber es wurde auch diskutiert, ob die Ediacara-Fauna schon auf einer Art Boden, und die Debatten weisen aus, wie schwierig es sein kann, eine Fossilplatz richtig zu deuten (G. J. RETALLACK 2013 S. 85 ff, und Einwände anderer S. 28/29). Das rätselhafte vermeintlich plötzliche Erscheinen von höheren Lebewesen im Kambrium hat sich durch die Entdeckung der präkambrischen Faunen, zuerst in den Ediacara-Hills, beträchtlich relativiert.

Wirbellose in den Formationen nach dem Kambrium

Weichtiere, Muscheln, Schnecken und vor allem Ammoniten, waren wichtige Leitfossilien, wenigstens vor dem Aufkommen der Einzeller-Paläontologie.

Manche Anfangsformen waren auch bei den Wirbellosen auffallend groß. So gab es im Cambrium und hier nicht nur in den Burgess-Schiefern, sondern etwa auch im Emu Bay Shale von Süd-Australien, und reichend bis zum Ordovizium die **Anomalocardidae**, an der Stammeswurzel der Arthropoda, mit dem großen räuberischen *Anomalocaris*, mit wohl für das Beutemachen nötigen großen Komplexaugen (J. R. PETERSON et al. 2011). Der 'arms race' zwischen Räuber und Beute war also in vollem Gange (S. 237). Eine chinesische Form wird mit 2 m angegeben (Wikipedia 2018).

Auch über **Insekten** wurde manches bekannt, und der Wiener Entomologe ANTON HANDLIRSCH wurde mit seinem für sein Fachgebiet epochemachenden Werk "Die fossilen Insekten und die Phylogenie der rezenten Formen" zu einem führenden Begründer der **Paläoentomologie**. Als Spezialist bestimmt hat HANDLIRSCH etwa die vielen **Insekten** in dem von EUGEN GEINITZ (1922, II, S. 83 ff.) gefundenen und erforschten **Lias**-Ton von Dobbertin. Viele waren Hemimetabole, aber es gab auch zahlreiche Holometabole, so Käfer/Coleoptera, Zweiflügler/Diptera, Skorpionfliegen/Panorpata, Köcherfliegen/'Phryganoidea'. Nicht genannt werden Schmetterlinge.



Abbildung 591: Stromatolithen Buntsandstein Huy.

Pflanzen in der Erdgeschichte: Paläobotanik

Niederste Organismen in der Erdgeschichte

Mikroben und niedere Pflanzen hinterlassen ihre Spuren, etwa mit Pigmenten

In Gewässern lebende pflanzliche Mikroben, wie natürlich auch Pflanzen überhaupt, besitzen Pigmente. Solche **Pigmente** (S. NÄHER et al. 2017) werden von niederen Organismen gebildet, verschiedene in Seen verschiedenen Typs, abhängig etwa vom Sauerstoffgehalt. Solche Pigmente werden heute gebildet, aber Pigmente bleiben in auch Sedimenten ferner Vergangenheit erhalten. In Sedimenten gibt es etwa Bakterienchlorophylle und deren Derivate, von grünen Schwefel- und Schwefelpurpurbakterien. Solche Pigmente gibt es in Gewässer-Ablagerungen und in Böden, Gesteinen, Erdöl. "Pigmente löst man mit organischen Lösungsmitteln und aus Sedimenten und isoliert diese mit Hochleistungsflüssigchromatographen" (S. NÄHER et al. 2017, S. 17). Daraus läßt sich eine Gewässer-Geschichte rekonstruieren. Es läßt sich ablesen, daß die großen Ereignisse von Massenaussterben in den letzten 500 Millionen Jahren von Sauerstoff-Mangel begleitet und das bei dem Massenaussterben zumindestens mitwirkte (S. 18).

Blaubakterien, die einst Blau(grün)algen/**Cyanophyta** hießen, bilden die **Stromatolithen**, mattenartige Gebilde, die es schon Präkambrium gab, wohl im Gezeitenbereich, und die so ähnlich auch in der Gegenwart auftreten (H. FÜCHTEBAUER et al. 1988, S. 262 ff.), sich auch etwa im Buntsandstein finden. Der Name 'Stromatolithen' wird zurückgeführt auf KALKOWSKY, 1908 (so b. H.-G. RÖHLING et al. 2010, S. 275).



Abbildung 592: Kieselgur-Lager b. Coswig.

Auch **neue Formen unter den Einzellern** treten in der **Erdgeschichte** auf, nämlich die **Diatomeen** (H. FÜCHTEBAUER et al. 1988, S. 505 ff.), die Kieselalgen, gekennzeichnet durch ihr Kieselskelett/ SiO_2 , zuerst die mit zentraler Form, die **Centrales**, mit den ersten Formen **im Jura** und mit großem Artenreichtum in der oberen **Kreide**. Etwa 15.000 Arten Diatomeen sind nunmehr bekannt, im Meer wie im Süßwasser, unter ihnen fanden sich auch zeitgebundene Leitfossilien wie an bestimmte Fazies gebundene Formen. Ihre Fähigkeit der Bindung von CO_2 , das bei ihrem Absinken in die Tiefe gebunden bleibt, habe des Weltklima in Richtung auf geringeren CO_2 -Gehalt in der Atmosphäre und so in Richtung Abkühlung nachhaltig verändert (M. GROß 2013, S. 370). Mit den Kieselalgen wurden **Kieselgur-Lager** etwa im Tertiär möglich.

Niedere Pflanzen - teilweise gebirgsbildend und in größeren Lagerstätten

Der Österreicher JULIUS PIA (1940) untersuchte die **Algen** der Vergangenheit, die wohl im Devon besonders hervortretenden **Charophyta**/Armlauchteralgen, die einst Riffe bildenden und dann bis zum Quartär immer mehr schwindende **Kalkalgen**/Dasycladaceen. PIA sieht einen Zusammenhang zwischen großen Zeiten mancher Algen und der Atmosphären-Temperatur. 'Kalkalgen' (H. FÜCHTBAUER et al. 1988, S. 258) ansonsten sind keine taxonomisch einheitliche Gruppe, manche sind Blaubakterien,

Höhere Landpflanzen

Bei den Landpflanzen kann man unterscheiden die **Makropaläobotanik**, welche **Blätter** oder, die **Karpologie**, **Früchte** nutzt und die **Palynologie**, welche in früheren Erdzeitaltern, wie dem Tertiär, sich auf **Sporen** stützt, Sporenstratigraphie, beim Vorhandensein von Blütenpflanzen auf **Pollen**, die Pollenanalyse besonders für die Nacheiszeit (s. o.) (W. KRUTZSCH 2011).

Die Geschichte der Landpflanzen gelang zunehmend **von** ihrem möglicherweise ersten Erscheinen im **Silur an** zu verfolgen.

Die schon 1859 von dem kanadischen Geologen JOHN WILLIAM DAWSON beschriebene, aber in ihrer Natur auch bestrittene devonische Landpflanze ***Psilophyton*** von Gaspé, Kanada, fand allgemeine Anerkennung als frühe Landpflanze als KIDSTON und LANG (1917) solche 'Psilophyten' auch von Schottland beschrieben (T. H. CLARK 1971). Entdeckt hatte sie dort 1912 der Physiker und Amateurgeologe WILLIAM MACKIE aus dem westschottischen Elgin. Da sich diese Gewächse in keine rezente Klasse der Gefäßkryptogamen einordnen ließen ungeachtet der äußeren Ähnlichkeit mit *Psilotum*, wurde für die neue, nur fossil vertretene Klasse der Name **Psilophytales** vorgeschlagen. Sie stehen in ihren Merkmalen an der Basis der Gefäßpflanzen und aus ihrer 'Telomen' genannten Organen, flächigen Gebilden unterschiedlicher Breite, wurden Sproßachse und Blätter abgeleitet. KIDSTON und LANG klärten als Lebensraum der schottischen Psilophyten die Küstenregion.

Zur Bäreninsel mit ihren ober-devonischen Landpflanzen begaben sich nach dem Funden von 1868 in den Jahren 898 und 1899 erneut schwedische geologische Expeditionen (A. G. NATHORST 1902).

Im Ober-Carbon und Rotliegendem etwa im Bereich des Varistischen Gebirges gibt es dann die **großen Gefäßkryptogamen**, etwa im Erzgebirgischen Becken.

Nur wenig von dem Reichtum des oberen Paläozoikum tritt verändert in das Mesozoikum, in den Buntsandstein, der nur teilweise mehr Vegetation trägt.

Nach vorangegangenen Arbeiten von SOLMS-LAUBACH 1899 und POTONIÉ hat K. MÄGDEFRAU die Buntsandsteinpflanze ***Pleuromeia*** 1931 eingehend monographisch bearbeitet (s. a. W. GOTHAN 1948). Von diesem vor allem im Chirotheriensandstein des Buntsandstein vorkommenden Gewächs, das namentlich in Gestalt von Steinkernen der Stengelausfüllung erhalten blieb, waren, von E. WÜST und von botanischer Seite bestätigt durch HANS FITTING (1907) die Mega- und auch Mikrosporen gefunden worden. Zusammen mit Resten der *Pleuromeia* wurden oft "kleine, runde, verkohlte Gebilde gefunden...", "die bei näherer Untersuchung als



Abbildung 593: Steinerwald Chemnitz.

Sporen eines Archegoniaten angesprochen werden konnten” (H. FITTING 1907, S. 434). Bei Bernburg (Saale) konnte im Buntsandstein das häufige Zusammenkommen von *Pleuromeia* und denselben Sporen in großer Menge bestätigt werden. POTONIÉ ordnete die Pflanze bei den Lycopodiales ein, verwies auf die Ähnlichkeiten mit *Isoëtes* und stellte auch die selbständige Familie der *Pleuromoiaceae* innerhalb der Bärlappgewächse auf. Ihrem Vorkommen und ihrer Gestalt nach wurde *Pleuromeia* als Halophyt gedeutet und konnte so die Auffassung von der Wüstenentstehung des Buntsandsteins stützen.

Namentlich HUGH HAMSHAW THOMAS erschloß (1925) die mesozoischen **Caytoniales**, die zwar den Angiospermen zuzurechnen sind, jedoch nicht in die direkte Linie zu ihren modernen Formen eingeordnet werden konnten, also eine eigene zumindestens Klasse bilden. Aber Carpelle der Caytoniales schließen die Eier ein und sie besitzen ein Stigma, entwickeln eine wirkliche Frucht. Die ersten Funde dieser Gruppe wurden im April **1911** in einem kleinen Areal am Südende der Cayton Bay an der Küste von Yorkshire getätigt, wo auch in der Folgezeit Vertreter dieser Pflanzengruppe im wesentlichen aufgefunden wurden. Die männlichen Organe der Caytoniales wurden 1922 gefunden.

Mit NATHORST und THORE GUSTAV HALLE untersuchte und nutzte THOMAS (D. M. SIMPKINS 1976) die **Epidermis** der Pflanzen, um Gruppenzugehörigkeiten zu bestimmen.

Mit zahlreichen Arten erscheinen die **Gräser** erst im Tertiär, aber in der Oberkreide gab es etliche Gräser, die auch in Dinosaurier-Kot gefunden wurden (Internet).

Unterschiede in der Evolution der Tierwelt und der Pflanzenwelt

Die Abgrenzung der Formationen geschah vor allem nach der Tierwelt. Deswegen spricht man vom **”-zoikum”**. Es gab auch Pflanzen, welche in bestimmten Sedimenten häufiger auftreten, etwa im Carbon. In der Pflanzenwelt geschahen größere Umbildungen oft vor dem Beginn einer durch neue Tierformen charakterisierten Epoche, einer **’Formation’**. Die **Pflanzen** eilten in der Entstehung neuer großer Gruppen, neuer Formen, **den Tieren voraus**. Den nach Tierfossilien benannten großen Epochen, also **’Paläozoikum’**, **’Mesozoikum’**, **’Känozoikum’**, wurde auch eine durch die Pflanzenwelt bestimmte Epocheneinteilung zur Seite gestellt. Aber die Stratigraphie hat ihre Unterteilung deshalb nicht umgeworfen. Selbst der einmal führende deutsche Paläobotaniker POTONIÉ fand die Pflanzenwelt für eine Periodeneinteilung weniger geeignet. Für das Paläozoikum sah POTONIÉ (1896) keine Möglichkeit, dessen Gliederung etwa allein nach Pflanzen vorzunehmen. Die Gymnospermen beginnen vor allem im Zechstein sich stärker zu entfalten und stellen eine Neuheit in der Pflanzenwelt dar, wenn von den Cordaiten abgesehen wird, trennen also das Paläozoikum nicht vom folgenden Mesozoikum. Trias und Jura erwiesen sich insgesamt als durch unterschiedliche Gruppen ausgezeichnet, aber Rhät und Lias waren wiederum mittels Pflanzen schwer zu trennen (H. POTONIÉ 1899). Eine große Wandlung fand sich vom Jura zur Kreide, denn in der unteren Kreide beginnen die Angiospermen zu erscheinen. Einen großen Wandel bei den Wirbeltieren brachte erst die Wende von der Kreide zum Tertiär mit dem Erscheinen der Säugetiere im Tertiär.

Vollständigkeit und Unvollständigkeit der Fossil-Überlieferung

Auch im 20. Jahrhundert wurde die **Vollständigkeit der Fossilüberlieferung** noch erörtert. Daß die Fossilüberlieferung das einstige reale Vorkommen einigermaßen richtig widergespiegelt meinten ABEL, DACQUÉ, HENNIG. **Mit** beträchtlichen **Lücken** rechnete weiterhin POMPECKJ (1924), der gegen ein Wiederaufleben einer Katastrophentheorie sprach. Aber Faunensprünge gab es offensichtlich doch. Wieweit die Sprünge auf Katastrophen beruhten - schwer zu sagen und das trotz Hypothesen.

Vorwiegend biologische Sicht auf die fossil überlieferten Organismen

Erdweite Verbreitung wichtiger Fossilien und Biogeographie in der Vergangenheit in Faunen- und Floren-Provinzen

Die Hoffnung der Stratigraphen für die Schaffung einer erdweit gültigen Formationstabelle lag in der möglichst erdweiten Verbreitung wenigstens der Leitfossilien. Das hoffte man etwa für die Ammoniten. Ihr Variantenreichtum machte es oft schwierig, klar Arten von verwandten Arten zu unterscheiden und KOSSMAT (1894, S. 477) stand also sehr kritisch zu dem, was er von J. WALTHER zitierte, daß "Trias, Jura und Kreideformation meist durch eine einzige Ammonitenart bestimmt und auf der ganzen Erde leicht wieder erkannt werden" und "dass die Ammonitenspecies gleichzeitig über die ganzen Meeresgründe eines geologischen Zeitalters verbreitet war, nach kurzer, blühender Lebensdauer gleichzeitig überall abstarb und überall gleichzeitig durch eine andere Species ersetzt wurde." Wie war solche erdweite Verbreitung möglich, wenn man bedachte, daß in der Gegenwart nur wenige Lebewesen auch in den Ozeanen erdweite Verbreitung haben? Etwa wurde gemeint, bei J. WALTHER, daß bei Ammoniten die Schalen gefunden werden und diese ohne Inhalt des lebenden Tieres luftgefüllt auf den Ozeanen getrieben haben können (s. F. KOSSMAT 1894, S. 476). Zahlreiche Meerestiere vermehren sich über Larven, die man ebenfalls in weiter Verbreitung annehmen konnte. Es gab also Denkmöglichkeiten, wie Ähnlichkeiten "jurassischer Faunen" von Europa und den Molukken "überraschend ähnlich" werden konnten (W. SORDEL 1916, S. 227). Aber weite Verbreitung mancher fossiler Arten war denkbar. KOSSMAT (1894, S. 478) gab zu bedenken, daß auch unter heutigen Verhältnissen es "ganz schöne Beispiele" gibt "für die grosse geographische Verbreitung mancher mariner Conchylien."

Durch eine unterschiedliche Organismenwelt unterscheidbare '**Tier- oder pflanzengeographischen Provinzen**' auch in der erdgeschichtlichen **Vergangenheit** nachzuweisen wurde ebenfalls versucht und war zur Beurteilung für die Fossilgeologie durchaus nötig. Für Jura und Kreide hat MELCHIOR NEUMAYR (1883, 1890) in Europa und Asien von Süd nach Nord ab etwa der Alpen 3 'homoiozoische Gürtel' ausgegliedert, die er den alpinen, den mitteleuropäischen und den borealen Gürtel nannte. Im letzteren gliederte er eine besondere 'russische' Provinz heraus und es zeichnete sich auch eine himalajische Provinz ab. Auch eine 'caspsche' Provinz innerhalb des mitteleuropäischen Gürtels deutete sich an. Dieser erste Versuch einer solchen eingehenden Gliederung konnte allerdings vieler Kritik nicht voll standhalten. Die ältere fossile Flora der Südhalbkugel

hatte ihre Besonderheiten, welche POTONIÉ zur Bezeichnung einer besonderen **'Glossopteris-Flora'** veranlaßte (W. GOTHAN 1915). Aus den floristischen Besonderheiten sowie geologischen Gemeinsamkeiten war schon vorher das Konzept eines ehemaligen großen **Südkontinents 'Gondwana'** entwickelt worden (A. S. ROMER 1968). Die mit Biogeographie befaßten Naturforscher der Mitte des 19. Jahrhunderts und auch vorher hatten aber auch erkannt, daß Faunen- und Floren-Unterschiede verschiedener Territorien nicht allein durch das Klima bedingt sein konnten. So verwies L. AGASSIZ (1855, S. 151 / 152) darauf, daß zwar Europa und Nordamerika ('Neu - England') viele ähnliche Arten hatten und das mit dem gemeinsamen gemäßigten Klima zusammenhängen mochte, aber in den Tropen mit ihrer so großen Gleichmäßigkeit erschienen große Unterschiede, wenn man Südamerika, das tropische Afrika und Australien miteinander vergleicht.

Die **verschiedenen Territorien** wiesen oft eine **sehr unterschiedlich reiche Organismenwelt** auf. Die Gebiete der Tethys, der viel spätere Alpenraum, hatten in der Trias jedenfalls eine sehr viel reichere Fauna als die germanische Trias. Das mitteleuropäische Devon als Geosynklinale der kommenden variscischen Gebirgsbildung war viel artenreicher als das eintönige Devon der Tafelgebiete Nord - und Osteuropas (G. STEINMANN 1910). Wenn die Rhätfaua besonders artenarm erschien, dann wohl nicht wegen einer Entwicklungsunterbrechung, sondern weil sie sich anderswo weiterentwickelte. Auch das plötzliche Auftreten der Fauna im Kambrium war nach Ansicht etwa von G. STEINMANN (1910) darauf zurückzuführen, daß damalige Geosynklinalgebiete dem heutigen Geologen nicht zugänglich sind, also Lücken der Forschungsmöglichkeiten bestehen. Auch Organismen-Ausbreitung in der Erdgeschichte ist nachgewiesen, so die der frühen Angiospermen in der Kreidzeit polwärts (D. I. AXELROD 1959).

Die Evolutionstheorie in der Paläontologie - Grundfragen der Evolution in der Beurteilung von Paläontologen

Evolution und Paläontologie

Viele Paläontologen wurden generell Anhänger der Evolutionstheorie. Manche unterstützten die Evolutionstheorie in der von DARWIN gegebenen Form. Andere hielten andere Auffassungen über die Evolution für besser oder boten eigene Versionen, bei grundsätzlicher Anerkennung der realen Umbildung der Organismen (R. HOERNES 1884). Die Anerkennung oder Ablehnung der Evolutionstheorie beeinflusste auch paläontologische Aussagen, indem die Anhänger von vornherein viel mehr Mittelformen und Variationen erwarteten als Forscher, die eher feste Arten vermuteten (E. KAYSER 1871).

So wie die Anhänger der Progections - Auffassung beachteten die mit der Evolutionstheorie verbundenen Paläontologen **Entwicklung in bestimmter Richtung**, einstmals vor allem "Höherentwicklung" oder Entwicklung zum 'Fortschritt' bezeichnet. Diese Termini werden nur noch ungern verwendet, da auch sogenannte 'niedere' Formen oft bestimmten Bedingungen spezifisch hochangepaßt sind. Bei der Feststellung von '**Trends**' der Entwicklung besteht die Gefahr des Irrtums, wenn die übereinanderliegenden Schichten verschiedenen Fazies angehören und dann nicht eine zeitliche Weiterentwicklung, sondern ein Einwandern schon anderswo vorhandener Formen stattfindet.

Das plötzliche Erscheinen von Lebewesen im **Cambrium** blieb der Geologie ein gewisses Rätsel, auf das schon DARWIN hingewiesen hatte und das von Hypothesen umrankt blieb. Konnte dieses plötzliche Erscheinen von Organismen mit der schrittweisen, allmählichen Evolution im Sinne der Theorie DARWINs erklärt werden. Es wurde auch darauf zurückgeführt, daß jetzt erst Lebewesen mit harten Schalen oder anderen Exoskeletten auftraten und somit bisherige Lebensformen nur schwer als Fossilien erhalten blieben.

Als beachtlicher Entwicklungssprung erschien die Ausbildung von harten Schalen und anderem Skelettmaterial. Die präkambrische Litoral - Fauna der Ediacara Hills in Süd - Australien besaß solche Schutz Einrichtungen nicht, abgesehen von im Körper befindlichen Kalknadeln. Um Kalkschalen auszubilden, mußte der Calcium - Stoffwechsel der Organismen verändert werden, mußte also ein Schritt vorwärts in der biochemischen Evolution erfolgen (M. F. GLAESSNER 1961). Das zu erklären, wäre Angelegenheit des Biochemikers und Physiologen. Eine Trübung im Bilde der Entwicklungstrends mußte zustandekommen, wenn nur die Vertreter bestimmter Fazies bekannt wurden. Wenn man blinde Trilobiten aus den Anfängen dieser Gruppe als deren Ausgangsformen darstellte, dann hatte man eben offensichtlich nur die Seichtwasserformen gefunden (R. HOERNES 1884).

Aber es erfolgt in der Evolution wohl eine Besiedlung neuer Lebensräume mit dem Auftreten neuer Formen etwa bei Pflanzen und viele niedere Pflanzen, die beispielsweise im Waldesdickicht wachsen, konnten erst nach der Herausbildung von Wäldern erscheinen. Auch gibt es zunehmende Differenzierung in den Organen. Bei den Pflanzen ändern sich die Wasserleitungssysteme zu höherer Leistungsfähigkeit (H. POTONIE 18).

In der Pflanzenwelt wurde eher eine Verkleinerung festgestellt. Den riesenhaften Gefäßkryptogamen der Carbonzeit und auch den noch großen mesozoischen Equisetaceen stehen doch recht bescheidenere Bärlappe, Schachtelhalme und Farne in den späteren Zeiten und auch der Gegenwart gegenüber (H. POTONIE 1899), trotz der noch existierenden Baumfarne.

Stammesgeschichte und Entwicklungsschritte in der Sicht der Paläontologie

Manche Paläontologen lieferten **stammesgeschichtliche Aussagen**. Die Fossilien mußten jene Organismenwelt repräsentieren, zu denen die Vorfahren der rezenten Lebewesen gehörten. Paläontologen mit Kenntnissen über Tier- oder Pflanzengruppen sprachen daher bei stammesgeschichtlichen Fragen mit. Die frühesten **Säuger** leitete STEINMANN von fliegenden Reptilien her, eine Hypothese, der BRANCA widersprach (POMPECKJ 1928). Das Fliegen von Wirbeltieren sollte nach NOPCSA aus schnellem Lauf entstanden sein, nach BRANCA aus Fallschirmtieren (ebenda). Diskussionen gab es über die Entstehungsgebiete der großen Organismen-Gruppen. Nach T. C. CHAMBERLIN sollten die Wirbeltiere nicht aus dem Ozean stammen, sondern aus fließenden Gewässern auf dem Festland. Von Botanikern wurde in dem Buntsandstein-Bärlappgewächs *Pleuromeia* (K. MÄGDEFRAU 1931) eine Übergangsform von den Sigillarien des Paläozoikum zu der in der Kreide-Zeit erscheinenden Gattung Isoëtes gesehen.

Paläontologen aber wiesen beispielsweise auch nach, daß die Entwicklungsgeschwindigkeit in den verschiedenen Gruppen sehr unterschiedlich war. Die Funde aus dem Kambrium der Burgess-Schiefer brachten auch den heutigen noch ähnliche Formen zutage, was von der 'Persistenz' mancher Formen seit ungeheuer langen Zeiträumen zeugte (G. STEINMANN 1912). Schon in der Fossilien des Kambrium lassen sich die Formen Klassen, Ordnungen, Familien und Gattungen zuordnen.

Neben Versuchen, die Herkunft einzelner Taxa zu klären, wurden allgemein bedeutende Schritte in der Evolution aufzuhellen versucht.

Floren- und Faunen-Wandel erfolgt meistens allmählich

Da DARWIN mit allmählichen schrittweisen Umbildungen rechnete, wurde auch bei den Fossilien ein allmählicher Wechsel erwartet und bei zunehmender Formenkenntnis nachgewiesen, nachdem schon vorher festgestellt wurde, daß viele Fossilien die Formationsgrenzen überschreiten.. Die scharfen Sprünge bei CUVIER sollten dann Täuschung sein. Obwohl es sie an einigen Stellen doch gab. Auch das 'Flözgebirge' sollte sich schließlich stetig entwickeln (H. POTONIE 1896, 1899). "Es ist also zu beachten", meinte H. POTONIE (1899, S. 612), "dass in der Natur selbst scharfe Grenzen zwischen den fossilen Floren gar nicht vorhanden sind, dass die Vorführung der Vegetationsdecke der Erde zu verschiedenen Zeiten in der Form aufeinanderfolgender Floren nur ein praktisches Hilfsmittel ist, das sich dadurch empfiehlt, als ja nicht zu allen Zeiten genügend Sedimentär-Gestein mit Fossili-

en gebildet wurde, sodass bei den Lücken das thatsächlich Vorhandene oft mehr minder scharf gegeneinandertritt." Auch sollte das Verschwinden von Organismen, auch von ganzen Floren, in den verschiedenen Teilen der Erde zu sehr unterschiedlichen Zeiten erfolgen können. Noch gäbe es in Florida und anderen Gebieten im südlichen Teil der östlichen USA Baumbestände, welche an die Braunkohlenwälder erinnern und wo noch jene Sumpfyzyphen / *Taxodium* wachsen, die in Europa seit der Braunkohlenbildung im Tertiär verschwanden.

Aussagen über den allgemeinen Ablauf der Evolution

Gerade aus der Abfolge der Fossilien (dem 'fossil record') wurde versucht, die Stammesgeschichte aufzuhellen und die Stammbäume aufzustellen. Aus der so ermittelten Abfolge wurden gerade auch durch Paläontologen allgemeine Prinzipien, ja 'Gesetze' des Ablaufes der Evolution zu erschließen gesucht.

Die Abfolge der Lebewesen in den verschiedenen Gruppen schien dafür zu sprechen, daß eine einmal eingeschlagene Entwicklung lange oder bis zum Ende einer Gruppe beibehalten wurde. EIMER hatte dafür den Ausdruck "**Orthogenesis**" geprägt und sie wurde von zahlreichen weiteren Paläontologen bestätigt (J. F. POMPECKJ 1925). Der aus Lille in Frankreich stammende und dann in Brüssel wirkende Paläontologe DOLLO erschloß aus Studien namentlich bei Schildkröten, daß es keine Umkehr in der Evolution gibt, formulierte das "**Gesetz der Irreversibilität**".

Wichtige Beweise für die Evolutionstheorie sollten '**Zwischenformen**' sein, welche zwischen älteren und jüngeren Formen vermitteln sollten oder allgemein Formen, welche in ihrem Aussehen den zu vermutenden Formen an der Wurzel einer Stammeslinie wenigstens nahestanden. Als solche Zwischenform wurde immer wieder der 'Urvogel', die Archaeopteryx diskutiert, welche Merkmale sowohl von Reptilien als auch schon von Vögeln enthalten sollte. Allerdings gab es an solcher Aussage auch Kritik, da die Archaeopteryx nun nicht nur Mittelmerkmale aufwies. Es mußte sowieso zweifelhaft sein, ob nun ausgerechnet reine 'Zwischenformen' aufgefunden wurden oder nur solche, die einer Übergangsgruppe nahestehen. Daß Archaeopteryx den möglichen Vorfahren der Vögel nahesteht, darf wohl weiterhin angenommen werden, auch, wenn nunmehr gefundene chinesische Fossilien solchen Übergang noch besser repräsentieren. GREGORY lenkte 1913 die Aufmerksamkeit auf den eozänen Lemuren *Notharctus*, welcher der rezenten und taxonomisch einst umstrittenen *Tupaia* ähnelte und damit an der Wurzel der Primaten anzusiedeln war.

Da es keine Umkehr in der Entwicklung geben sollte, mußte angenommen werden,



Abbildung 594: Riesenammonit, bei Senckenberg.

daß **neue Stammeslinien nur von Formen** ausgehen konnten, die **kaum spezialisierte Merkmale besitzen**, bei denen alles nach allen Seiten offen ist, was auch als 'Copes Gesetz', nach dem führenden US-amerikanischen Paläontologen COPE, bezeichnet wurde (R. HOERNES 1911). Spezialisierung, vor allem übermäßige, konnte als Hemmnis für künftige Entwicklung gar als 'Degeneration' gelten. Aber es mußte auch bezweifelt werden, ob solche 'Nullformen', solche 'indifferenten' Formen (E. KOKEN 1893) existenzfähig waren, da jede reale Form in einer bestimmten Umwelt leben mußte und niemals völlig ohne alle Anpassungsmerkmale bestehen konnte. Damit mußte eine gewisse Umkehr zu neuer Entwicklung, eine gewisse 'Zickzacklinie' denkbar sein, wie ERNST KOKEN 1893 debattierte. Auch in 'alten Zeiten' gab es schließlich keinen allgemein gehaltenen Echinodermen-Typus, sondern hoch spezialisierte Formen, die Cystideen, von denen aber dennoch die Evolution zu den anderen Typen erfolgt sein muß.

Die Paläontologie bestätigte auch das schon GEORG HEINRICH BRONN im 19. Jh. bekannte "Gesetz", daß mit dem Verlauf der Evolution die **Zahl gleichartiger Teile der Lebewesen zurückgeht** und die Teile sich differenzieren, was wiederum GREGORY (E. H. COLBERT 1975) als das Prinzip von 'Polyisomerismus' und 'Anisomerismus' hervorhob, das aber auch "Willistons Gesetz" genannt wurde.

Wohl einen Endpunkt der Entwicklung der **Ammoniten** sind die **Riesenformen** am Ende der Kreidezeit wie die die Museen in Münster und in Frankfurt a. M die Sammlung von Senckenberg zeigen.

Schlußfolgerungen von Paläontologen über die Kausalität der Evolution

Paläontologen zogen aus der Fossilabfolge recht unterschiedliche Schlußfolgerungen über die Ursachen der Evolution. Die Geradlinigkeit in der Entwicklung vieler Reihen, die 'Orthogenese', schien nach manchen Paläontologen geradezu für einen "Vervollkommnungstrieb", also für einen von innen kommendes zielgerichtetes Entwicklungsprinzip zu sprechen.

Vor allem waren etliche Paläontologen Anhänger der Auffassung von der 'Vererbung erworbener Eigenschaften', wonach also die Umwelt die Lebewesen veränderte und im individuellen Leben erworbene Abänderungen an die Nachkommen weitergegeben werden. Verwiesen wurde auf die 'Entwicklungsreihen', das heißt durch zahlreiche fossile Funde über längere Zeiträume gut belegte Gruppen, die eine schrittweise Umbildung in bestimmter Richtung in der Erdgeschichte aufweisen. Solche Entwicklungsreihen wurden festgestellt und immer wieder erforscht für die Pferde, Elefanten, Titanotherien und auch für schalentragende Weichtiere. So verlief in der viel erörterten Reihe der Pferde die Umbildung von kleinen vier- und dreizehigen Formen über "Zwischenformen" zum einhufigen größeren Pferd. Ein Hin- und herschwanken der Merkmale, wie es nach der Theorie von den Zufallsvariationen und den auch nicht gleichbleibenden Selektionsbedingungen zu erwarten war, ließ sich nicht feststellen. Die in eine bestimmte Richtung verlaufende Umbildung über lange Zeiträume hatte der Tübinger Zoologe THEODOR EIMER "Orthogenese" genannt. Diese war ihm wie anderen Paläontologen Zeugnis für Durch die Wirkung äußerer Einflüsse sollte diese Orthogenese zustandgekommen sein. EIMER meinte 1887 (S. 73): "Man stelle sich einmal vor, daß alle die tausend und tausend verschiedenen, zweckmäßig bis ins Kleinste hinein arbeitenden Gelenke, welche in der Thierreihe vorkommen, zufällig im Keimplasma durch Abändern bzw. durch "in-trabiontische" Selektion entstanden..." Aber "Vorstellungsvermögen" wird in den Wissenschaften manchmal überfordert, ohne, daß die Aussagen falsch sind. Daß die allmähliche Umbildung der Schalen bestimmter Süßwasserschnecken (Paludinen) auf Außeneinflüssen beruht, meinte etwa von M. NEUMAYR (s. a. V. UHLIG 1891). Auch DARWIN stimmte dem zu, etwa in einem Brief an NEUMAYR vom 9. März 1877. Selbst dann, als durch die aufkommende Vererbungsforschung die 'Vererbung erworbener Eigenschaften' sehr zweifelhaft geworden war, haben gerade Paläontologen an der Hypothese festgehalten, so die US-amerikanischen Wirbeltierpaläontologen E. D. COPE und HENRY FAIRFIELD OSBORN, in Deutschland GUSTAV STEINMANN, OTTO JAEKEL, E. KOKEN (1893), J. F. POMPECKJ (1925).

Für den deutschen Paläontologen E. KOKEN waren die "Convergenzerscheinungen" eine Stütze für die "somatogene Vererbung". Bei verschiedensten Steppentieren gab es in der Evolution die Verwachsung der Metatarsalia, was für in der Steppe sich rasch fortbewegende Formen offenbar zweckmäßig war. Das zeigte

nach KOKEN, "wie unendlich viel für die Ausgestaltung des thierischen Körpers vom Gebrauch der Organe und von den äusseren Lebensbedingungen abhängt", was für Vererbung erworbener Eigenschaften sprechen sollte. KOKEN rechnete es zu DARWINs verdiensten, daß er die Auffassung ablehnte, „im organisierten Körper ein rückhaltlos dem Drucke des äusseren Lebens preisgegebenes Etwas zu erblicken, welches nach allen Seiten beliebig wie Wachs umgeformt werden kann“. Die durch viele Erdzeitalter hindurch gleichartig gebliebene Lingula reagiere eben anders auf Umwelteinwirkungen als Säugetiere. Auf der 73. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Hamburg 1901 meinte KOKEN auch, daß sich die von der Abstammungslehre „überrumpelte“ Paläontologie berechtigterweise wieder von DARWINs Auffassung von Deszendenz entfernt und nunmehr stärker an den „Lamarckismus“ anknüpft. KOKEN sprach von einem aktiven Sich-Anpassen durch Wollen und Gewöhnen bei Tieren, was eine zumindest begrenzte Herrschaft der Tiere über ihre Körper voraussetzt. Daß es bei Laborversuchen nicht gelang, „Vererbung erworbener Eigenschaften“ nachzuweisen, wurde von den Paläontologen zur Kenntnis genommen und auf die kurzen für Laboratoriumsexperimente verfügbaren Zeitspannen zurückgeführt. Der Zoologe W. HAACKE meinte 1893 (S. 108): "Wozu die Natur wahrscheinlich Jahrtausende gebraucht hat, das glaubt man im Zoologischen Institut zu Freiburg i. Br. während des Direktorates eines einzigen präformistischen Professors fertig bringen zu können". Mit diesen Worten wurde an WEISMANNs Experiment erinnert, Mäusen nach der Geburt die Schwänze abzuschneiden, um festzustellen, ob nach etlichen Generationen schwanzlose Mäuse geboren werden. Das trat nicht ein. Ähnlich wie HAACKE argumentierte 1925 JOSEF FELIX POMPECKY von der Universität Berlin, der von "Vererbung auf natürlichem Wege erworbener Eigenschaften" sprach, "(an welchem die Paläontologie trotz aller Zwangsexperimente nicht rütteln lassen kann)" (Klammer im Original). Aber einen Beweis für "Vererbung erworbener Eigenschaften" konnten gerade die Paläontologen nicht erbringen, wie sie überhaupt eben namentlich auf Interpretation von Funden, mit denen ja nicht experimentieren kann, angewiesen sind. OSBORN schrieb 1926 über die fossil in zahlreichen Exemplaren überlieferten Titanotherien, daß sie "pass continuously from the most rudimentary and inefficient into the most efficient and high developed stage." Auch ihm zeugte diese ‚Orthogenesis‘ für „Vererbung erworbener Eigenschaften“.

Mit der Mutationstheorie vereinbar war die Annahme einer Mosaik-Evolution ('mosaic evolution'), der weitgehend unabhängigen Veränderung der einzelnen Merkmale, wie es eben auch bei der plötzlichen Entstehung neuer Merkmale bei rezenten Lebewesen geschieht (E. H. COLBERT 1975) und sich bei der Umbildung von Merkmalen fossiler Arten fand.

Lebensvorgänge bei fossilen Tieren, so Fortpflanzung, Nahrungsaufnah-

me, Bewegung

Immer wieder waren Paläontologen bemüht, außer der Form auch Angaben über das Leben, die Lebensweise von fossil überlieferten Organismen zu erhalten.

Es wurde versucht, auch die **ontogenetischen Stadien** der fossilen Tiere und auch Pflanzen aufzufinden, namentlich einiges aus ihrer **Embryologie** in Erfahrung zu bringen. Von den seinerzeit frühesten Amphibien, den Labyrinthodonten oder **Stegocephalen**, hat H. CREDNER aus dem Rotliegenden des Plauenschen Grundes südwestlich von Dresden 1882 über mehr als 500 5 bis 7 Zentimeter große Individuen von *Branchiosaurus gracilis* berichtet, deren in "zierlichster Erhaltung" überlieferte Kiemenbogen auf den **Jugendzustand** eines größeren Branchiosaurus weisen. Diese kleinen Tiere müssen in der Permzeit die Wasserlachen "in Schwärmen bevölkert haben", denn die Skelettreste liegen stellenweise dicht neben und quer über einander gepackt. WILHELM BRANCA (POMPECKJ 1928) untersuchte die frühesten Jugendzustände der **fossilen Cephalopoden**. Gewisses Aufsehen erregte, als zwischen Skeletten von **Ichthyosauriern** kleine Ichthyosaurier gefunden wurden und diese als Embryonen im Mutterleib gedeutet, damit den Ichthyosauriern Viviparie zuerkannt wurde. Bei höheren Meerestieren war fast zu erwarten, daß sie schwimmfähige, also ziemlich fertige Junge hervorbringen, wenn sie nicht zum Gebären zur Küste gehen würden (W. LIEPMANN 1926). W. BRANCA (1908) und später auch andere Paläozoologen gaben zu bedenken, daß die kleinen Ichthyosaurier auch als Beute der großen gedeutet werden könnten, die kleinen also massenweise eigenen Artgenossen zum Opfer gefallen wären. BRANCA verwies auf rezente gefräßige Wale. In der ersten Magenabteilung eines Schwertwales waren 13 Exemplare von Phocaena und 15 Seehunde unzerbissen, also hinuntergeschluckt, gefunden worden. Bei den Ichthyosauriern wurde aber darauf verwiesen (W. LIEPMANN 1926), daß in deren Leib immer nur Junge der gleichen Art gefunden wurden, daß die Jungtiere kaum jemals eine Länge von 55 Zentimetern überschreiten und dies auf einen bestimmten Geburtstermin verweist, daß im Mageninhalt der Ichthyosaurier ansonsten nur Tintenfische ermittelt wurden. Der Gynäkologe W. LIEPMANN nahm an (1926), daß die in schwarzen Liasschiefern eingebetteten Saurier mit ziemlich reifen Embryonen durch Wellen über eine Küstenbarriere in ein lebensfeindliches Milieu geschleudert wurden und die Geburt kurz nach dem Tod stattfand, so wie es durch den Geburtshelfer LIEPMANN auch bei kürzlich verstorbenen Menschenfrauen beobachtet worden war.

Biologische Probleme der Lebewesen der Vergangenheit

Fossile Lebewesen konnten Anlaß bieten, über Problematisches in der Welt des Lebens nachzudenken. Mit der immer besseren Erforschung verstärkte sich das.

Wie schwierig es war und umstritten blieb, wie die einstigen Großwirbeltiere lebten verdeutlicht die **Pterosaurier**, Flugsaurier, die manchmal als nur auf dem Wasser gleitende Wesen betrachtet wurden. Es wurde gefragt, wie etliche große, mit Flügelspannweiten bei dem zu Anfang der 70er Jahre des 20. Jh. gefundenen Quetzalcoatlus bis 11 und 12 Metern sich in die Luft erhoben. Vielleicht mußten sie, wie W. LANGSTON Jr. 1981 erörtert, am Morgen warten, bis die Sonne die zum Aufstieg nötige Thermik hervorbrachte. Bei den **Großsauriern** wurde neuerdings nachgedacht über den kleinen Kopf und den ebenso kleinen Mund, durch den alle Nahrung für den vergleichsweise riesigen Körper gehen mußte, und das offensichtlich vor allem mit Pflanzen, die nicht Bedecksamer waren.

Ökologie von fossilen Organismen - Fossilien mit Aussagen über die Umwelt der Zeit ihres Daseins und ihrer Fossilierung

Immer mehr wurden nicht nur die einzelnen Formen beachtet, sondern auch die Umwelt, in welcher sie lebten und die sie mitbestimmten. Mit der Erforschung der Anpassungsmerkmale von Pflanzen und Tieren im einzelnen wurden auch die ökologischen Auswertungen fossiler Organismen genauer und treffender. Botaniker wie KNY und STAHL sahen Beziehungen zwischen der Blattgestalt und Stärke der atmosphärischen Niederschläge. Eine große, umgeteilte Blattspreite wurde als relativ späte Errungenschaft im Pflanzenreich festgestellt. HENRY POTONIÉ (F. KAUNHOWEN 1914) sah in älteren Formationen ein allgemeines Überwiegen schmalerer beziehungsweise zerteilterer und kleinflüdriger Blattreste. Daraus schloß POTONIÉ, daß in älteren Zeiten die Regengüsse im allgemeinen stärker und heftiger gewesen sind. Auch niedere Organismen sind oft an die Existenz höherer Formen geknüpft und Moose oft an Wälder aus Blütenpflanzen gebunden, haben sich also nach ihrer Entstehung herausgebildet (W. DEECKE 1926). DEECKE verwies (1926) auch auf ökologisch vergleichbare Räume in verschiedenen Territorien, etwa an Meeresküsten und an Binnengewässer. In beiden Bereichen gibt es gleichermaßen Stellen mit höchst unruhigem Wasser, wo also der Faktor Wellenschlag zur Ausbildung bestimmter Anpassungen zwang. Schnecken an solchen Stellen, ob in der Brandung an Felsküsten oder im wirbelnden Wasser an Wasserfällen, haben abgeplattete Schalen und heften sich am Untergrund an. Das ist zu berücksichtigen, wenn aus ökologischen Merkmalen der Lebensraum eines Fossils, seine **Fazies**, erschlossen werden soll.

Wie rasch sich Material, etwa Kreide, an einem Meeresgrund absetzte, wurde etwa aus dem Bewuchs von Schalen mit anderen Organismen abgeleitet. Konnte sich der Bewuchs nicht voll ausbilden, muß, etwa bei Belemniten, das Tier nicht lange

frei gelegen haben.

Bei wohl in der Hochsee, also **pelagisch** lebenden Tieren war die **Beziehung zum Lebensraum offener**. Das gilt für die **Ammoniten**, die eventuelle nicht in jenem Bereich, jener Fazies direkt lebten, in denen ihre Schalen aufgesammelt werden, und JOHANNES WALTHER sprach von der "Verfrachtungstheorie" (A. KIESLINGER 1928). DIENER dachte aber, daß in der Mehrzahl der Fälle die Fundorte der fossilen Schalen mit dem Lebensbezirk weitgehend identisch sind, wobei ein Absinken der Schalen mit dem toten Tieren natürlich stattfand. Im älteren Tertiär verschwanden an der Süswestküste Afrikas einige typische Warmwasserformen und es wurde der Schluß gezogen, daß dies auf die Herstellung der **Meeresströmungen** wie heute verweise und damit auf die nunmehr größere Breite des Atlantischen Ozeans als vorher (G. KNETSCH 1939, S. 267). Das konnte als Argument für Annahmen WEGENERs die Atlantikerweiterung mit Kontinentabdriften dienen.

Bei Formen, die **keine** oder nur von ihnen stärker abweichende **Nachkommen** hinterließen, ist eine **Aussage über ihren Lebensraum problematisch**. War das Meer des Oberen Muschelkalkes tiefer als jenes des Unteren Muschelkalkes, weil sich im Oberen Muschelkalk mehr Ammoniten, Ceratites, finden? Gingen Ammoniten auch in die Flachsee? Vom überlebenden, aber auch nur randlich zugehörigen **Nautilus**, ein Ozeanbewohner, kann nur schwerlich auf die Bedingungen geschlossen werden, unter denen die einstigen Ammoniten lebten. Fraglich ist auch, unter welchen Bedingungen die Graptolithen gelebt haben mögen, die ja wohl Schwebetiere im Wasser waren?

Klarer ist, daß **Radiolarien-Skelette in Reinheit** und ohne auf Küstennähe deutende Kiesel-Sedimente von **einem tiefen Meer** "von oceanischer Ausdehnung" stammen müßten und solche Radiolarien-Lager auf Celebes und Ceram auf ein einst dort 'flutendes' solches Meer verweisen, Teil des einst erdumspannenden Tethys-Meeres, etwa der Jura-Zeit (M. WEBER 1902, S. 11).

Immer wieder gab es auch das Phänomen der **Erstbesiedlung** vorher lebensloser Räume. Höhere Landpflanzen traten erstmals im Silur auf, Landamphibien erstmals im späten Devon, luftbewohnende Tiere erschienen in Gestalt von Insekten im Carbon, fliegende Wirbeltiere sind in der Jurazeit vorhanden. Neue Räume konnten von den in ihnen erfolgreichen Arten zuerst massenweise besiedelt werden. Austern erscheinen in der Lias und zwar in vorher leeren Räumen, die sie nun in Massen besetzen (W. DEECKE 1926).

Auf Inseln wurde bei fossilen Tieren, gerade auch Säugetieren, **Verzweigung** oder auch **Gigantismus** festgestellt. So gab es auf Mittelmeer-Inseln Zwergflüßpferde. Fehlende Konkurrenz mag die Verkleinerung begünstigt haben. Die größte

lebende Echse gibt es auf der Insel Komodo und Nachbarinseln, den Komodo-Waran/ *Varanus komodensis*, bis 3 m lang und 70 kg schwer. Alle Riesen der Vorzeit, auch die größten Dinosaurier, werden übertroffen von den größten heutigen Walen, der in allen Ozeanen vertretene Blauwal/ *Balaenoptera musculus* mit einer Länge bis 33 m und einem Gewicht bis etwa 200 Tonnen (Wikipedia 2018).

Das Aussterben von Organismen in der Erdgeschichte

Das völlige Verschwinden von Arten und ganzen höheren Sippen bewegte die Paläontologen und auch die Biologen immer wieder. Etwa der Grazer Paläontologe und hauptsächlich Paläozoologe RUDOLF HOERNES (E. SPENGLER 1912) hat das Aussterben der Lebewesen zu einem Hauptgegenstand seiner Forschungen gemacht. **Aussterben**, so betonte W. DEECKE (1826), geschah für manche Gruppen in **langen Zeiträumen**, aber es gab auch Gruppen, ganze Lebewelten, welche nach den paläontologischen Befunden nach geologischen Zeitmaßen **rasch** verschwanden. Einen raschen Wechsel in der Organismenwelt war zuerst bekannt an der **Perm-Trias-Grenze** und an der Grenze von der **Kreide zum Teriär**. Für das Aussterben wurden etliche Hypothesen vorgelegt. Erklärt werden sollte der langsame Wechsel und andererseits der zu einigen Zeiten erfolgte nach erdgeschichtlichen Dimensionen rasche Wechsel. **Dem Aktualismus** mochte das langsame **allmähliche Verschwinden**, wenn es das schon gab, genehmer, erklärbarer sein als plötzlicher und zunächst unerklärter Wechsel. **Katastrophale Ereignisse** wurden **unterschätzt** und wohl in aktualistischer Sicht ungern gesehen, und für den Aktualismus erträgliche Hypothesen wohl nicht ungern diskutiert. Immerhin ist das Leben immer weitergegangen!

Es wurden manchmal **kosmische**, aber gerade unter dem Einfluß des Aktualismus meistens **terrestrische** Ereignisse als die Ursachen des Aussterbens angeführt. Zu den terrestrischen Ursachen des Aussterbens von "Arten und Gattungen sowie größeren Gruppen des Tier- und Pflanzenreiches" (R. HOERNES 1911) wurden debattiert innerorganismische Vorgänge sowie Außeneinflüsse. Beide konnten auch eine gewisse Verbindung eingehen, zusammenwirken. Innerorganismisch war, wenn Biologen wie BROCCI, meinten, daß die **Arten** ebenso wie die Individuen eine **begrenzte Lebensdauer** besitzen (R. HOERNES 1911). Nach einer gewissen Zeit würden sie eben entarten, auch bei intakter Umwelt. Es gab aber keine einleuchtenden Ursachen für eine Minderung der Lebensfähigkeit einer Art und die Hypothese fand wenig Anhänger. An Vorgänge **innerhalb** der verschwindenden Gruppen war allerdings zu denken, wenn etwa DÉPERET darauf verwies daß innerhalb der Formenreihen die größten Formen vor dem Erlöschen einer solchen Gruppe erscheinen, also im Artgefüge augenscheinlich etwas geschieht. Schon Größenzunahme, oft wohl

positiv ausgelesen, mußte als eine einseitige Ausdifferenzierung gelten. Große Formen konnten auch Außenseiter sein, deren Verschwinden andere verwandte Arten nicht berührt, ja nicht einmal alle Artgenossen. Das kann beim irischen Riesenhirsch, als letzter der *Megaloceros giganteus*, festgestellt werden. Aber deshalb verschwanden andere Hirsche nicht. Aber der Riesenhirsch besaß solche starken Geweihe, daß der Körper enorm belastet sein mußte, Und das wegen eines Gebildes, welches in dieser Form kaum notwendig war, denn wo und wie sollte der Riesenhirsch sein eigenwilliges Riesengeweih einsetzen? Wo Konkurrenz fehlt, ist eben **Exzessivbildung** bis zu einem gewissen Grad möglich, aber belastet auch. So besitzen die auf Sulawesi/Celebes heimischen Hirscheber/*Babyrousa celebensis* gewaltige Hauer. F. FRECH (1908) erkannte einseitige Differenzierung, also hochgradige Anpassung an eine bestimmte Umwelt, als einzige mögliche 'innere' Ursache des Aussterbens an. Aber auch die Umwelt spielte wohl immer irgendwie mit. Welche Exzessivbildungen von der Genetik her möglich sind zeigen manche Haustiere, ob exzessive Goldfische oder nur noch zum langsamen Trippeln befähigte Schoßhündchen. Das Überleben in der Natur ist da kaum möglich.

Mehr an Aussterben sahen viele in der **Änderung der Außenbedingungen**, was die Lebensumstände der Arten beeinträchtigte, und auch den Tieren mit Exzessivbildungen das endgültige Ende brachte. Viel debattiert wurde das **Verschwinden des Mammuts** Die Mammute fielen keiner plötzlichen Katastrophe zum Opfer, zeigen also das interessante mehr allmähliche und erdgeschichtlich gesehen doch relativ kurzdauernde Verschwinden einer Art. So hatten möglicherweise **Mammute** nach R. HOERNES (1911) mit ihren gebogenen Stoßzähnen Probleme bei der Nahrungssuche, Probleme trotz der ihnen möglichen Anwendung der Stoßzähne beim Schneeschaukeln zum Freilegen von Nahrung. Das Mammut verschwand (W. E. GARUTT 1964, S. 126 ff.) mit dem Ende der letzten Eiszeit. Der Permafrostboden Sibiriens konservierte zahlreiche Reste. Mammute verschwanden **nicht in kurzer Zeit** und auch **nicht** überall in ihrem Verbreitungsgebiet **gleichzeitig**. Gedacht wurde an die Ausbreitung des Nadelwaldes in Sibirien nach Norden hin und damit verbunden der Rückgang der Kältesteppe, der Wohngebiete der Mammute. Umstritten ist, in wie weit die eiszeitlichen jagenden Menschen vielen Mammuten den Garaus bereiten könnten. Verschwunden sind auch die ebenfalls in Kadaverresten und Höhlenmalereien bekannten Wollhaar-Nashörner/*Coelodonta antiquitatis*. Man spricht am Ende der Eiszeit von einer quartären Aussterbewelle, vor etwa 12.000 Jahren (Wikipedia 2018). Von den kältetrotzenden Zotteltieren überlebte der Moschusochse/*Ovibos moschatus*.

STEINMANN hatte als ein rezentes Beispiel für das zeitweilige Verschwinden einer Art in einem Gebiet den Fisch *Lopholatilus chamaeleonticeps* an der Ostküste Nordamerikas angeführt. Die einmal dort häufige Art verschwand im März 1882

fast völlig und das wohl wegen der Zufuhr von kaltem Wasser infolge von Stürmen. Später erschien die Art wieder.

Außer der anorganischen Umwelt haben wohl stets auch **andere Arten oder Gruppen** an der Vernichtung von Formen mitgewirkt, also die nicht überwindbare Konkurrenz. Als Raubtiere vom Norden nach Südamerika einströmen konnten, haben sie dort als Vernichter der isolierten einheimischen Fauna gewirkt.

Eine Vermischung von **inneren und äußeren Ursachen** für das Überleben liegt vor, wenn festgestellt wurde, daß 'unspezialisierte' und kleinere Formen Umweltveränderungen mehr überlebten als größere oder ebenso an ganz bestimmte Lebensräume, 'Nischen', angepaßten Formen (R. HOERNES 1911). Es könne, wie FRECH 1908 ausführte, auch sein, daß die veränderte Umwelt die Individuenzahl von Arten mindert und dann die relativ wenigen Individuen durch Inzucht und Krankheit ausgemerzt werden. Feuchtigkeit könne auch über Parasiten wirken. Der italienische Evolutionsbiologe ROSA nahm an, daß **mit der Höherentwicklung die Variabilität der Formen nachläßt** und auch das erschwert, unter neuen Bedingungen zu überleben.

Interessante Gesichtspunkte brachte die Eiszeitforschung. Einfluß auf das Überleben hatte offensichtlich schon eine Temperaturabnahme im endenden Tertiär (F. FRECH 1906). Die Besonderheiten der **Vergletscherung in Europa** sollten dann dazu geführt haben, daß hier viel mehr Arten verschwanden als in Nord - Amerika und in Ost - Asien. In Mitteleuropa wurde Pflanzen wie Tiere durch die von Norden und von Süden her kommenden Eismassen in die Zange genommen. Sie konnten nur weit nach dem Südwesten und dem Südosten ausweichen. In Nord - Amerika wie in Ost - Asien ziehen die Gebirgszüge in Nord - Süd - Richtung und war ein Ausweichen in große Räume möglich. Nach dem Rückzug der Gletscher nach Norden konnten die nach dem Süden abgedrängten Organismen wieder nachrücken. In Ost-Asien gab es ohnehin wohl keine Vergletscherung.

Große Aussterbe-Ereignisse in der Erdgeschichte - näher betrachtet

Neben dem allmählichen kontinuierlichen Verschwinden von Formen gab es, was besonders beeindruckte, offensichtlich **rasches Aussterben ganzer Faunen** und auch Teile der Floren zu einigen Zeiten in der Erdgeschichte. Und das auch in den Meeren. Exogene Faktoren, wie Temperaturerhöhung und damit verbundener Sauerstoffmangel wurden diskutiert Und dennoch gibt es noch Leben, der Ersatz durch neue Formen war immer möglich gewesen. Man rechnet unmehr (Wikipedia 2018) mit 5 Massenaussterben in der Erdgeschichte. Es verschwanden dabei zahl-

reiche Arten, aber manchmal waren ganze Gruppen mit ihren Arten und Gattungen beträchtlich ausgedünnt. Und manche auch größeren Gruppen verschwanden schließlich ganz, so die Graptolithen, die Trilobiten, viele Ammoniten, viele der gewaltigen Steinkohlenpflanzen, so die Samenfarne. Um das Massenaussterben im Paläozoikum festzustellen, war auch eine große **quantitative Kenntnis** der fossilen Arten in den verschiedenen Formationen erforderlich. Kein reiches Sammeln war also umsonst gewesen.

Als ein kosmisches Ereignis, daß zum Massenaussterben hätte führen können, wurde sogar, ein kurzer, vielleicht 10 Sekunden dauernder Gammablitz aus dem Weltall diskutiert, der die Ozonschicht zerstörte (Wikipedia 2018). Aber wer konnte so etwas dann überhaupt überleben?

Massenaussterben im Paläozoikum

Zu den schon länger bekannten Massenaussterben trat als eine weitere der größten biologischen Krisen in der Erdgeschichte das **Ordovizische Massenaussterben** im Spätordovizium, verschwanden gar 85% aller Arten, 60% aller Gattungen, 26% der Familien (Wikipedia, Internet 2018, hier auch Wissenschaftsjournalist ULF V. RAUCHHAUPT), darunter 2/3 der Armfüßer und Moostierchen. Eine Vereisung habe zur Abkühlung geführt, zum Absinken des Meeresspiegels und damit zum Verlust der Flachwasserbereiche. Es gibt noch immer Brachiopoden, Trilobiten, Cephalopoden, Graptolithen, aber in verminderter Artenzahl.

Eine Ereignis aus den Kosmos wird für weniger wahrscheinlich gehalten. Auch die Auswirkung von Vulkanausbrüchen stand zur Debatte.

Es folgt dann mit anderen Formen das Silur.

Ein weiteres Massenaussterben folgte im **späten Devon**. Es betraf 70% oder gar 80-90% aller Meeresorganismen und besonders die Riffe. Verschwunden sind die Graptolithen. Auch hierfür sollte eine Vereisung die Ursache gewesen sein.

Faunenwechsel vom Perm zur Trias - das erste deutlich bekannt gewordene Massenaussterben

In der gut überschaubaren Erdgeschichte war schon bei der frühen Untersuchung der Sedimente der **abrupt erscheinende Faunenwechsel vom Perm zur frühen Trias** aufgefallen. Während bei den Sedimenten, vor allem wenn frühe Trias auf Rotliegendem lag, keine scharfe Grenze erschien, wurde ein gewaltiger Unterschied

in den **Meeresfossilien** deutlich. Schon MURCHISON wußte 1845, (S. 82) zu dem Fossilunterschied : "In the whole geological series, therefore, no two systems are more completely separated than the Permian and the Trias,..." Es gilt auch nunmehr (D. J. BOTTJER 2012, S. 336)) als "perhaps the most severe biotic crisis in Earth history", und nach dem Aussterben im spätern Perm erschien erst fast 5 Millionen Jahre eine neue Fauna. Nachgewiesen wurde etwa das Verschwinden der Foraminiferen am Ende des Perm. Als Ursache wird angenommen eine starke Erhöhung des CO₂-Gehalts der Atmosphäre und damit des die Temperatur der Atmosphäre aufheizenden 'greenhouse'-Gases. Das aber sollte zurückgehen auf die Eruption des Sibirischen Traps, der Kohlelager und andere mit organischen Resten angefüllte Lager verbrennen ließ. Die Temperatur **im tropischen Ozean** habe anstatt der heutigen etwa 25 bis 30° C **etwa 40°C** erreicht, und das verbunden mit einem Sauerstoff-Minimum, also einem 'anoxischen Zustand', und Schwefel-Bakterien verweisen auf Sulfid-Vergiftung, auf Versäuerung. Es zeigt sich ein Mangel an Korallen. Mit dem Perm verschwinden die Trilobiten. Wenige häufige und kosmopolitisch verbreitete Taxa im Benthos dominierten. Auch **auf dem Land** hatte das Folgen, ein vermindertes Pflanzenleben und ein erhöhtes Einbringen von Landsedimenten in den verflachenden Ozean.

Viel eingehender, mit Einbeziehung vieler Fossilfundorte auf verschiedenen Kontinenten und vor allem differenzierter Betrachtung der aufeinanderfolgenden **verschiedenen Perm-Trias-Schichten** hat ein an der chinesischen Universität in Wuhan, sowie an den Universitäten Leeds und Erlangen angesiedeltes Forschungsprogramm der Perm-Trias-Aussterben verfolgt (Y. SUN et al. 2012). Noch gab es nicht die um die ganze Erde ziehende Tethys. Viele Organismen sind an einen begrenzten Bereich für das Leben tauglicher Umweltfaktoren gebunden und eine solche Studie wie die über den Frühen Trias haben darauf manches Licht geworfen. Die lebensfeindlichen Temperaturen durchzogen nicht die ganze Epoche, und im 'Late Smithian Thermal Maximum' in der Frühen Trias, vor 251 Millionen Jahren, als die Temperaturen im Meerwasser wohl an die 40° C erreichten. war das Verschwinden von Tieren und Pflanzen auch auf dem Lande, am größten (S.368). Gelöster Sauerstoff im Wasser nimmt ab, es kommt zu 'hypoxaemia'. Cephalopoden haben hohe Sauerstoff-Anforderung (S. 369), und bei ihnen gibt es bemerkenswerten Wechsel. Andere Mollusken besitzen eine bessere Anpassung an die Bedingungen. Reiche Funde von Fisch-Fossilien verweisen auf die guten Bedingungen zur Erhaltung von in den Boden eingebetteten Fischen. Frühtrias-Meeresreptilien, Ichthyosaurier, fehlen zunächst im Äquatorbereich. Es fehlen in den hitzegeprägten Schichten Kalkalgen, finden sich aber in höheren Breiten, wie in Spitzbergen (S. 369). Auch Kohlenlager fehlen. Fehlende Inkohlung erhöhte den atmosphärischen CO₂-Gehalt stark weiter. Selten sind Tetrapoden auch im europäischen Buntsandstein der Frühen Trias. Hing das alles zusammen mit weiterem Vulkanismus

in Sibirien?

Es verschwand nicht alles Leben. Von den schließlich Überlebenden kam eine weitere Evolution, die endlich auch zu Säugetieren führte und den Weg auch zu den Menschen, viel, viel später, öffnete. Es gab neue Ökosysteme.

Aussterben während der Kreidezeit

Inmitten der Kreidezeit, am Anfang des Cenoman, verschwanden ziemlich abrupt der **Ichthyosaurier**, welche bisher am Ende der Nahrungskette stehend das Geschehen in den Meeren stark beherrschten, auch noch am Beginn der Kreidezeit reichlich existierten, so erforscht von VALENTIN FISCHER, Universität Oxford (Internet: wissenschaft, de 2018). Die ebenfalls großen, auch im Meer lebenden **Mosasaurier**, erschienen erst etwa 3 Millionen Jahre nach dem Verschwinden der Ichthyosaurier, konnten also nicht Konkurrenten der Ichthyosaurier gewesen sein und die Mosasaurier überlebten bis zum Ende der Kreideformation. Aufgestiegen sind damals auch die räuberischen Knochenfische.

Das Aussterben am Ende der Kreidezeit

Schon FRECH (1902) verwies auf die gewaltigen **vulkanischen Eruptionen im Dekkan** in Indien am Ende der Kreide, welche die Erde weithin beeinflusst haben könnten. Für die mittlere Kreidezeit wird am Ende des 20. Jh. „starker **untermeerischer Vulkanismus** festgestellt. Schon vorher war angenommen worden (s. D. M. McLEAN 1978), daß am Ende der Kreidezeit die Temperatur stark gestiegen war, um im Mittelwert um 10° (R. L. LARSON 1995), durch hohen CO₂-Gehalt der Atmosphäre, also eine Art Glashaus-Effekt bestand, der 'late Mesozoic 'greenhouse' effect' und das Aussterben so vieler Organismen auch im Meere zustandebrachte, den großen Hiatus in der Fossilabfolge vom Ende der Kreidezeit zum Teriär. Der Meeresspiegel sei um 250 m gestiegen (R. L. LARSON 1995), Die erhöhten Temperaturen (D. M. McLEAN 1978) konnten viele Lebewesen nicht ertragen. Das viele CO₂ im Meer hätte die Auflösung der Kalkschalen kleiner Meereslebewesen bewirkt. Aber es verschwanden auch größere Muscheln, die Rudisten wie die Gattung *Inoceramus*. Immer schon auffällig war, daß manche Gruppen, die Ammoniten und die Rudisten im Laufe der Kreidezeit große Formen hervorgebracht hatten, irgendwie fast entarteteten.

Mit ALVAREZ kam die neue Erklärung des Aussterbens durch die Annahme vom Einfall eines **großen Meteoriten** (s. u.). Aber das war möglicherweise nur ein Faktor, neben den vulkanischen Ereignissen. Gab es ja die Flutbasalte im Dekkan.

Und deren Bildung war mit dem Meteoriteneinfall nicht beendet (Neue Zürcher Zeitung 3. 4. 2019). Oder es gab noch andere das Aussterben verursachende oder wenigstens mitbegünstigende Ereignisse? Diskutiert wurden eine neue und für die großen Reptilien nicht mehr recht bekömmliche Pflanzenwelt, zu hartblättrig oder mit toxischen Inhaltsstoffen, gar kleine Eiergelege fressende Säugetiere. Eine endgültige, voll überzeugende Theorie ohne Einwände und Bedenken, die das Aussterben am Ende der Kreidzeit erklärt, gibt es nicht (T. HARDT et al. 2011, S. 32). Wird es für immer offen bleiben? Wenn auch mit mehr oder weniger großer Wahrscheinlichkeit für bestimmte Faktoren.

Man kann es als Ironie der Erdgeschichte sehen, daß die wegen des erhöhten CO₂-Gehalts gestorbenen Kleinlebewesen auch jenes Erdöl mit bildeten, mit dem die Menschheit heute einen neuen 'greenhouse-effect' zustandebringt ((R. L. LARSON 1995, S. 52) - hoffentlich nicht mit einem um 250 m höheren Meeresspiegel, der aber wohl auch andere Gründe hatte, im Fehlen von Meerestiefen.

Das **Verschwinden der Welt der großen Dinosaurier**, wie rasch auch immer, **ließ eine der merkwürdigsten Landtier-Welten verschwinden**, welche aus Fossilien rekonstruiert die Phantasie bis in die Kinderstuben von heute belebt. Aus der Phantasie hätten diese Wesen nie konstruiert werden können. Eine Welt, mit zahlreichen Anpassungen, Räuber wie Beutetiere und auch flugbefähigten Formen, hörte auf zu sein und ihre Komplexität widerspricht einer allgemeinen Zunahme von Komplexität und selbst Homothermie bestand wohl bei etlichen Formen.

Aber die Evolution des Lebens setzte sich auch nach dem Ende der Kreidezeit fort, Es gab kein alles umfassendes Ende, Zumindestens ein Teil der wie alle Chlorophyll führenden, auf die Photosynthese angewiesenen **grünen** Pflanzen, jetzt auch Blütenpflanzen, **überlebte**, denn schon am Anfang der Oberkreide gab es solche wie die *Credneria*. Und **Dinosaurier-Nachkommen** sind **die Vögel**, und etliche Vorfahren der heutigen Vogelwelt überlebten also. Und kleine, wohl vor allem **unterirdisch lebende Säugetiere** blieben für die rasante Entwicklung der tertiären Säugetier-Welt. Im Meer blieben die seit dem Silur nachgewiesenen **Pfeilschwanzkrebse**/*Limulus*, heute noch in 5 Arten vorhanden (Google u.a. 2019). Manche anderen auch niederen Meerestiergruppen verschwanden aber.

Mit dem Aussterben herrschender Tiergruppen, wie der Dinosaurier, kamen danach neue Formen in der weitergehenden Evolution zu einer großen Entfaltung. **Ohne** das **Verschwinden** vieler Formen hätte das Leben wohl in den bestehenden Formen stagniert und hätte sich nicht in dem Ausmaß verändert. "Eine Katastrophe folgte immer eine Phase der Expansion" und "Radiation" neuer großer Gruppen (s. a. T. HARDT et al. 2011, S. 31). Dem **Verschwinden der großen Reptilien** folgte im Tertiär die Welt der **Säugetiere** und auch die der heutigen

Vögel. Bei weiteren kleineren Aussterbe-Ereignissen verschwanden wieder viele eigenwilligen tertiären Säuger. Auch noch vor menschlichen Einflüssen gab es im Mittelpleistozän Aussterben, zum Beispiel des bis 600 kg schwere Riesenaffen *Gigantopithecus*, gefunden in Nord-Indien und China (Wikipedia 2018).

Man wird an CUVIER erinnert, der mit Katastrophen eine weite Vernichtung der Tierwelt sah und ein Neuentstehen einer neuen Tierwelt danach. Natürlich hatte er lange nicht jene Fossilkenntnis wie nun besteht. LYELLs **nur** allmählicher Wechsel ist von der neueren Forschung also nicht bestätigt worden.

Am unberührtesten von den Aussterbe-Ereignissen blieb die **Pflanzenwelt**. Bisher erst im Erdmittelalter bekannte Pflanzengruppen erschienen nach neueren Forschungen im Perm Jordaniens, überlebten also das Perm-Trias-Aussterben (Biologie in unserer Zeit on-line 2018). Die Blattformen von Laubbäumen der **oberen Kreidezeit** kehren im Tertiär wieder. Bäume mit hartem Laub mochten am ehesten überleben.

Frühe Menschen lassen große Tiere verschwinden?

Für die nähere und wenigstens in Australien und Amerika wohl auch für die fernere Gegenwart erschien der **Mensch als ein Vernichter von Arten**, vor allem von gejagten Großtieren, und zwar in viel größerem Ausmaß als noch vor etlicher Zeit angenommen wurde (Y. N. HARARI 2015, S. 514). Wenn es in Australien vor etwa 50.000-45.000 Jahren das Aussterben von großen Beuteltieren und anderen großen Tieren gab, so sollen in dieser Zeit in Australien erscheinende Menschen daran schuld sein, auch wenn sie immer nur einzelne Stück erbeuten konnten. Sie veränderten aber dennoch die Umwelt. Feuer konnte Sreppenbrände bringen. Das Quartär verlor also manchen von seinen großen Tieren. Mit zuerst entwickelte diese Auffassung in den 1960-er-Jahren der USA-Paläontologe ALFRED S. MARTIN (A. W. CROSBY 1991, S. 220/221, Wikipedia 2018). Von 24 australischen Tieren mit einem Gewicht von über 50 kg verschwanden 23 (Y. N. HARARI 2015, S. 87 ff.). Nashorn groß war das Beuteltier *Diprotodon optatum*, waren Känguruhs von 200 kg, Beutel'löwen'/*Thylacoleo carnifex* von Tigergröße, flugunfähige Riesenvögel, und, 2,5 Tonnen schwer. Es verschwand auch der bis 7 m lange und bis 1000 kg schwere Riesenwaran/*Megalanis priscus*, dessen fossile Knochen OWEN beschrieb, und ebenso das große Landkrokodil aus der Gattung *Quinana* (Internet 2018). Willentlich erzeugte Steppenbrände waren wohl möglich. Die durch auch menschengemachte Brände veränderte Vegetation ließ auch große Tiere nicht unberührt. Jetzt erst kam es zur Ausbreitung von Eukalyptus - und damit auch für auf diese Bäume angewiesenen Koalas. An dieser Auffassung gibt es auch Zweifel oder es werden den Menschen nur Verstärkung von klimabedingten Vegetations-

veränderungen zugeschrieben (s. a. Wikipedia 2018). In **Südamerika** lebte bis vor etwa 8000 Jahren das am Boden und nicht wie rezente Faultieren in Bäumen sich aufhaltende Riesenfaultier/*Megatherium americanum*. An in Argentinien gefundenen Knochenreste beschrieb die Art 1796 schon CUVIER (Wikipedia 2018). Weitere Reste sammelte in den Pampas 1832 DARWIN. Bis vor 12.000 Jahren lebte in Südamerika das zu den Xenarthra gehörende *Glypodon*, bis 3 m hoch, 1839 von OWEN beschrieben (Wikipedia 2018).

Ökologisch vergleichbare Formen in ökologisch vergleichbaren Räumen (Nischen) verschiedener Zeitalter

Wenn auf das völlige Verschwinden von Gruppe verwiesen wird, auf das Aussterben etwa das Mammut oder der Irsische Riesenhirsch, so gibt es bei Betrachtung der ganzen Evolution neben dem völligen Verschwinden auch den **Ersatz verschwundener Formen durch neuartige Formen** im Naturhaushalt. Wenn auch die Formen in der Erdgeschichte einander ablösten, so blieben doch die verfügbaren Lebensräume viel mehr konstant. In ihnen gab es mit dem Ablauf der Erdgeschichte Formen unterschiedlicher taxonomischer Stellung, aber **ähnlicher ökologischer Anpassung**. W. DEECKE schrieb 1926 von dem **Vikariieren der Organismen** in der geologischen Vergangenheit. In der Biologie wird der Terminus 'Vikariieren' jedoch etwas anders verwendet, nämlich für nahe verwandte Organismenformen in benachbarten Räumen. Für ähnliche Räume wird in der Ökologie nunmehr der Terminus '**Nische**' verwendet, und um die mit der Zeit wechselnde Besiedlung gleicher Nischen durch taxonomisch unterschiedliche Formen geht es. Die Besiedlung ähnlicher Räume durch taxonomisch recht unterschiedliche Formen erläuterte DEECKE etwa am Beispiel der Riffbauer, die rasenbildende Algen, aber auch Bryozoen (Moostiere), Korallen oder auch Schwämme sein konnten. Auch haben sich die Gruppen der Ammoniten oder der fischartigen Tiere im Laufe der Zeit geändert, aber alle das offene Meer bewohnt, und die aufeinanderfolgenden Ammoniten besaßen wie andererseits die Fischartigen in der äußeren Form stets Ähnlichkeiten. W. DEECKE brachte etwa als Beispiel auch (1926, S. 239): "Die großen Labyrinthodonten des Permokarbons und der Trias lagen am Rande der Sümpfe und am Meeresufer wie heute die Krokodile, von denen sie direkt in der Zeitfolge abgelöst wurden." Waren beispielsweise die Fischartigen zunächst Ganoiden, so waren es später, ab dem späten Mesozoikum, viele Teleostier. Die Ichthyosaurier verkörpern den Delphinhabitus, sogar bis zur Viviparie. Die Ablösung mochte im **Konkurrenzkampf** durch die "bessere Physiologie" der jüngeren Gruppen gegenüber den analogen älteren geschehen sein. Muscheln leben teilweise im Boden, Brachiopoden können nicht eingegraben leben. Rascher wachsende Algen vermögen andere

bodenständige Lebewesen, auch Crinoiden, zu erdrücken.

Abseitig: des bewunderten STEINMANN Unsterblichkeits-Hypothese

Als abseitig galt die '**Unsterblichkeitshypothese**' GUSTAV STEINMANNs und einiger anderer Paläontologen. Ein **echtes Aussterben** hätte es **nicht** gegeben, sondern nur Umbildung von Formen in andere. Aus der großen Ähnlichkeit der einander in gleichen Territorien sich ablösenden Gruppen leitete STEINMANN sogar deren Abstammung voneinander ab. STEINMANN (J. WANNER 1930, O. WILCKENS 1930) galt trotz dieser viel zurückgewiesenen, ja ins Lächerliche gezogenen Auffassung anderen Forschern dennoch als eine überragende Persönlichkeit in der Paläontologie und Geologie,. Eben ein 'Forscher von Format', mit fabelhaftem Gedächtnis und Schlagfertigkeit (O. WILCKENS 1930). Dem Genialen müssen eben auch anderen als verrückt geltende Ideen zugebilligt werden. Sonst wäre Wissenschaft vielleicht auch langweilig. Geboren als Beamtensohn am 9. April 1856 in Braunschweig, studierte STEINMANN an der Technischen Hochschule in Braunschweig und etwa bei ZITTEL und GÜMBEL an der Universität München. Er wurde Assistent am geognostisch - paläontologischen Institut der Universität Straßburg bei BENEKE. Er bearbeitete Material aus Südamerika und reiste dann für etwa zwei Jahre selbst dorthin, in die Anden nach Patagonien und Bolivien, 1884 kehrte STEINMANN zurück. In Beurteilungen hoch eingeschätzt wurde STEINMANN am 1. September 1885 ao. Professor an der Universität Jena. Bereits am 1. April 1886 folgte er einem Ruf als Professor für Mineralogie und Geologie nach Freiburg i. Br., wo er ab 1895 Professor für Geologie und Paläontologie war, um 1909 einem Ruf nach Bonn zu folgen. Er hatte 1890 etwa die USA bereist, war 1907 und 1908 wieder in Südamerika und reiste mit 73 Jahren noch nach Sumatra, den Molukken und Japan. ZURück kehrte er allerdings krank. Er starb bald in Bonn, in der Nacht vom 6. zum 7. Oktober 1929.

Nach STEINMANNs Auffassung sollten durch das allmähliche Hervorbringen andersartiger Nachkommen aus den Rudisten die Ascidien, aus den Ichthyosauriern die Delphine hervorgegangen sein, die Oberkreide-Ammoniten führten ohne selbst zu verschwinden zu den gegenwärtigen schalenlosen Cephalopoden, der Ceratosaurus wurde zu dem zu den Straußenvögeln zu zählendem Helmkasuar. Die verschiedenen Gruppen der Knochenfische (1928) sollten sich aus einer Mehrzahl von Gruppen der Ganoidfische entwickelt haben, sie waren damit, wie STEINMANN es nannte, 'panphyl', vielstämmig. Bei den Pflanzen sollten die Calamiten zu Gräsern und zu Casuarina geworden sein, die Lepidodendren wurden zu den Koniferen, die Sigillarien zu den Kakteen. Tiere und Pflanzen vernichtet habe damit nur der

Mensch. Nun gibt es gewiß Umwandlung der Formen und damit eben Evolution. Aber es blieben, wie die meisten Paläontologen weiterhin annahmen, eben viele Gruppen schließlich nachkommenlos liegen, 'starben' also 'aus', wurden so etwa wie Gruppenleichen. Aus einigen Sauriern gingen einmal die Vögel hervor, aber viele Saurier-Gruppen wurden tote Äste am Stammbaum und sie haben sich nicht in allen oder auch nur großen Teilen zu Vögeln umgebildet. Die Meeressäuger wie die Delphine kommen von Landsäugetieren her. Die Gräser hatten andere Vorfahren als die Calamiten.

A. GAUDRY allerdings nahm gar an, daß die altpaläozoischen Trilobiten sich in die devonischen Panzerfische umwandelten (s. F. FRECH 1908).

Fossilien in der Kultur

Bis zur Gegenwart blieben Fossilien, besonders die großen und kurios aussehenden Vertreter, Gegenstand der Neugier und der Lernbereitschaft auch der Laienwelt. Zahlreiche Museen bieten umfangreiche paläontologische Sammlungen, auch Ausstellungen mit Lebensbildern. Die teilweise bizzaren Formen erfreuen, sind Gegenstand von bildnerischem Kunstschaffen. Dabei gehen die verschiedenen Künstler und wohl sogar Nationen auch unterschiedlich mit dieser Vergangenheit um. Im US-amerikanischen Saurierfilm, im "Jurassic Parc", darf die bis zum Ekel gehende Grausamkeit nicht fehlen, frißt der Tyrannosaurus den auf der Toilette sitzenden zitternden Menschen. Aus Frankreich stammt das liebenswerte, wundervolle Buch, in dem die Saurier, auch die großen, als Freunde der Menschen und Spielgefährten der Kinder dargestellt werden. Dabei sollte man sicherlich die Raubsaurier nicht vergessen. Fand man schon vor Jahrhunderten Knochen ausgestorbener Großtiere, konnte sie zeitlich natürlich nicht einordnen und sah in ihnen verschwundene 'Lindwürmer'? Wie es der Lindwurmbrunnen im Zentrum von Klagenfurt von 1593 festhält?

16. Zeitmaße der Erdgeschichte

Absolute Zeitmaße als Wunsch der Erdgeschichtsforschung

Daß die Erdgeschichte offenbar Millionen von Jahren gedauert hatte, war im 19. Jh. namentlich mit der Anerkennung des Aktualismus allgemein akzeptiert. Aber es war nicht möglich, die absolute Dauer der Erdperioden zu bestimmen. "Die räumliche Entfernung vieler Gestirne von der Erde ist ermittelt", schrieb SUESS



Abbildung 595: Lindwurm Klagenfurt 1593.

1888 (S. 703), aber: "Wir halten die organischen Reste der entfernten Vorzeit in unserer Hand und betrachten ihren physischen Bau, aber wir kennen nicht den Zeitraum, welcher ihre Lebenszeit von der unsrigen trennt, ..." Der schwedisch Geologe GERARD DE GEER meinte 1912 (S. 457): "Die Geologie ist die Geschichte der Erde, aber bis jetzt war sie eine Geschichte ohne Jahreszahlen."

In den meisten Fällen ließ weder die Dicke einer Ablagerung noch die mehr oder rasche Folge bei den Leitfossilien auf die Dauer von Zeiten schließen.

Überlegungen zur Altersbestimmung einzelner Vorgänge

Schon im 19. Jh. gab es sinnvolle Überlegungen, wenn schon die Gesamtdauer der Erdgeschichte und der Formationen im Dunkeln zu bleiben schien, dann wenigstens für **einzelne periodische Ablagerungsvorgänge** die Dauer zu ermitteln. So gab es in jedem Jahre ein Flut des Nils. Damit gab es in jedem Jahre eine neue dünne Ablagerungsdecke von Nilschlamm, auch in dem ins Mittelmeer vorrückenden Delta. Für die Zeitmaße der Sedimentablagerung der Reuß bei ihrer Mündung in den Vierwaldstätter See stellten RÜTIMEYER und HEIM Überlegungen an (A. HETTNER 1928). Ähnlich war auch die **Bänderton - Methode** DE GEERs (1912) in Schweden, aus **spätglazialen und postglazialen Sedimenten**, bei denen der Absatz jedes einzelnen Jahres unterschieden werden kann, eine Jahreszählung durchzuführen. Diese Sedimente waren glazimariner Ton, dessen periodische dünne Schichten als "Warwen" bezeichnet wurden. Im Jahre 1878 fiel DE GEER die Regelmäßigkeit dieser Schichtung auf, die ihn an **Jahresringe von Bäumen** erinnerte. Etwa 4 Jahre später, 1882, wagte er auszusprechen, daß ein Zusammenhang zwischen der periodischen Schichtung des Tons und dem jährlichen Rückgang des Landeises besteht. Ab 1889 untersuchte DE GEER bisher übersehene niedere Endmoränenstaffeln und Oser, in denen die

Rückzugsablagerungen jahresweise festgestellt werden konnten.

Die **feingliedrigen Sedimente am Grunde von Gewässern**, auch Mooren, mit ihren feinen organischen Resten, wurde eine der Grundlagen für manche erdgeschichtlichen Erkenntnisse, mit der **Pollenanalyse** etwa zuerst für die Waldgeschichte und dann darüber hinaus für Vegetationsgeschichte überhaupt und damit auch über Klimageschichte.

In **Japan** sollen am See Suigetsu die jährlich gebildeten Sediment-Schichten Auskunft über die Umgebungsveränderungen über etwa 50.000 Jahre geben und so den auf Grönland erbohrten Eisprofilen zumindestens gleichkommen (P. J. REIMER 2012, S. 337).

So etwas wie Warven sind auch die jährlich auf dem Eis von Grönland und in der Antarktis abgelagerten Eisschichten, die sich in **Eisbohrkernen** feststellen lassen. In kalten Räumen lassen sich die Eisbohrkern auch archivieren.

Lord KELVINs Einwände gegen aktualistische Altersvorstellungen. Abkühlungstheorie und Erdalter

Die Dauer der Erdgeschichte schien noch einmal gewaltig zu schrumpfen, als der berühmte Physiker WILLIAM THOMSON, Baron KELVIN physikalische Gründe gegen ein sehr hohes Alter der Erde anführte (J. L. 1908). Seine Argumente fielen ihm um 1844 ein. Nach einem 18 - jährigen Schweigen meldete er sich in dieser Frage erstmals 1862 zu Wort und veröffentlichte dann dazu 1865, 1868 und in weiteren Jahren. Im Jahre 1897 hielt Baron KELVIN seinen berühmten Vortrag "The Age of the Earth as an Abode Fitted for Life" vor dem Victoria Institute (R. T. CHAMBERLIN 1932). Das war immer im Jahr nach der Entdeckung der Radioaktivität. Er hatte, auch in Anlehnung an HELMHOLTZ, bezweifelt, daß die Sonne so lange ihre viele Wärme abgeben konnte, wie die Vertreter der aktualistischen Geologie erwarteten. Fernerhin hätte nach den physikalischen Gesetzen die Erde gegenüber dem Weltraum auch unter Beachtung der täglichen Sonneneinstrahlung viel rascher abkühlen müssen, zumal auch die anzunehmende Hitze im Erdinneren nicht so lange bestehen konnte. Die Gezeiten hätten bei längerer Geschichte die Erde auch in ihrer Rotation mehr abbremsen müssen. Zunächst diskutierte Lord KELVIN ein Erdalter von weniger als 20 Millionen bis mehr als 400 Millionen Jahre. Später schränkte KELVIN die Dauer auf zwischen 20 und 40 Millionen Jahre ein. Anhänger von KELVINs Abkühlungstheorie waren in den USA der Geologe CLARENCE RIVERS KING (M. L. ALDRICH 1973), der mit 24 Millionen Jahren Erdgeschichte rechnete. Der Ire JOHN JOLY (V. A. EYLES 1973) suchte das Alter der Erde wie einst HALLEY nach der zunehmenden Salz-

konzentration in den Ozeanen zu bestimmen, wenn man davon ausging, daß der Salzgehalt erst auftreten konnte, als sich auf der Erde Feuchtigkeit niederschlug. JOLY gelangte zu einem Alter von 80 bis 90 Millionen Jahre, was also immerhin noch höher war als manche Schätzungen von KELVIN.

Durch Baron KELVIN waren die Geologen und die Evolutionsbiologen in eine kritische Lage gebracht worden, nämlich zu **entscheiden zwischen** "the dictum of exact science...and the faith in their own method and criteria..." und der als weniger exakt geltenden Geologie. **Physik gegen Geologie** - angesichts des Ansehens der Physik als einer exakten, messenden Wissenschaft stand die Lage für die Geologie nicht zum besten (L. BADASH 1989).

Radioaktiver Zerfall von Elementen als lange andauernde Wärmequelle in der Erdkruste und als Mittel für die geologische Altersbestimmung

Die Entdeckung der Radioaktivität durch HENRI BECQUEREL 1896 und die Auffindung der verschiedenen radioaktiv zerfallenden Elemente in den Jahren danach brachte eine Lösung für eine absolute Altersbestimmung für die Bildungszeit von Mineralien in verschiedenen Schichten der Erdkruste und eine bisher nicht erkannte Wärmequelle. Die Einwände von Lord KELVIN waren zu ihrer Zeit deshalb nicht unberechtigt, weil die Geologen eher aus allgemeinen Überlegungen als aus exakten Beweisen mit großen Zeiträumen für die Erdgeschichte rechneten. Lord KELVIN ging andererseits von einer unzureichenden Prämisse aus, der vermeintlich relativ raschen Erdabkühlung, weil er eben die Radioaktivität nicht kannte und nicht voraussehen konnte.

Die Radioaktivität gegen die ständige Erdabkühlung

Mit der Radioaktivität wurde, erstens, eine Quelle ständiger Wärme-Nachlieferung für die Erdkruste gefunden und erschien die fortdauernde **Erdabkühlung** während der Erdgeschichte völlig **fraglich**, jedenfalls sofern nicht die Menge der radioaktiven Elemente sich kontinuierlich sehr verminderte. Aber es gab auf jeden Fall nicht nur die kontinuierliche Abkühlung, sondern hatte immer auch Wärmebildung gegeben, Der US-amerikanische Geologe CHAMBERLIN hatte schon 1899 aber davor gewarnt, die Hitze der Sonne etwa auf einfache mechanische Vorgänge wie ihre Kontraktion zurückzuführen. Noch bevor die Herkunft der Energie aus dem Atomkern erörtert wurde, hatte CHAMBERLIN 1899 (S.12) gemeint: "What the internal constitution of the atoms may be is yet an open question. It is not improbable

that they are complex organizations and the seats of enormous energies". Riesig mußte auch die in der Gravitation ruhende Energie sein, worunter man sich aber schwierig eine Vorstellung machen konnte, aber die Sonne wirkte mit ihrer Gravitation bis zu Neptun und Pluto. Was aber war nun alle diese Energie und wohl ihre Verschiedenheit? Auf die Herkunft von Wärme aus radioaktiven Zerfallsprozesse verwies etwa als einer der ersten JOHN JOLY 1903. Die **weite Verbreitung der radioaktiven Elemente** der Uran-Familie in den Gesteinen der Erdkruste wies, publiziert 1906, Lord RAYLEIGH nach, und dann wurde auch gefunden die verbreitete Vorkommen der Elemente der Thorium-Familie (J. JOLY 1924, S. 897). Uran hat eine lange Zerfallszeit, von Uran 238 ist sie etwa so lang wie das Alter der Erde anzunehmen ist (P. McL. D. DUFF et al. 1993, S. 263). In der Zerfallsreihe des Uran hin zum Blei befindet sich das Radium, mit einer Halbwertszeit von 1620 Jahren. und an ihm ist schon mit einem normalen Thermometer die Wärmeabgabe festzustellen. Wenn seit der Bildung der Erdkruste die Hälfte des damals vorhandenen Uran zerfiel, dann ist auch der Gehalt an dem vor allem Wärme abgebenden Radium etwa nur noch halb so groß und die Wärmeerzeugung durch radioaktive Elemente in der Erdkruste hat sich halbiert. Also gsb es in älteren Zeiten, so auch dem Präkambrium, mehr radioaktiv bedingte Wärmeabgabe in der Erdkruste und mögen sich Vorgänge wie Orogenesen und Metamorphosierung mit der Zeit vermindert haben, hat also der Aktualismus mit Einschränkungen auszukommen. Die Erde besitzt aber eine innere Wärmequelle von erheblicher Bedeutung und kühlt sich nicht einlinear ab. Schon in sehr fernen Zeiten, 'Eoarchaicum', war jedoch offenbar der Gehalt an radioaktiven Elementen nicht um so viel höher, daß die Gesteinsbildung anaktualistische Wege gegangen wäre. Auch wenn am Boden der Ozeane nicht jene Menge radioaktiver Elemente wie in der oberen Kruste vorhanden zu sein schien, sich also in der oberen Kruste der Vorrat radioaktiver Elemente angereichert hatte, so sollten die vorliegenden Zahlen dennoch nahelegen, "daß eine äußere, weniger als 60 km mächtige Erdkruste genügend Wärme hervorbringt, um den Verlust an der Oberfläche auszugleichen" (A. HOLMES 1931, S. 74). Ja es mußte Wärme abgegeben werden, am Ozeanboden wie mit den plutonischen Gesteinen.

Mit der Erkenntnis, daß es keine irreversible zunehmende Abkühlung der Erdkruste gab, konnten **grundlegende Vorgänge anders gesehen** werden. Der Kontraktions-Theorie (s.d.) war der Boden jedenfalls von der Abkühlung her entzogen. Man kann wohl sagen: es entstand ein **neues**, jedenfalls neu gesichertes **Bild von der Erdgeschichte**, eine neue "thermische Geschichte der Erde", wie es ARTHUR HOLMES formulierte (1931, S. 73). Der 1890 in Newcastle upon Tyne geborene HOLMES wurde gefördert von STRUTT/3.BARON OF RAYLEIGH, wirkte 1920 in Burma, mußte sich dann aber etwa mit einem Ladengeschäft durchschlagen, bis er auf die 1924 wiedererrichtete Universität von Durham berufen wurde,

zunächst in dem dortigen Ein-Mann-Department für Geologie. HOLMES konnte mit der ausgezeichneten Geologin DORIS LIVESEY REYNOLDS in Verbindung treten und heiratete sie 1938 nach dem Krebstod seiner bisherigen Ehefrau. 1943 übernahm HOLMES den Regius-Chair für Geologie an der Universität Edinburgh, geschätzt als einer der tiefsinnigsten, auch philosophischen Denker in der Geologie, namentlich auch als Verfasser des Werkes "**Principles of physical geology**". Durch P. McL. D. DUNN wurde das Werk nach dem 1965 erfolgte Tod von HOLMES 1993 unter Mitarbeit von 21 weiteren Autoren in 4. Auflage neu bearbeitet als ein reich bebildertes Werk über den seinerzeitigen Stand des geologischen Wissens neu herausgegeben.

Es wurde ein in vielem völlig **neues Erdbild** möglich, das auf **gesicherten** und nicht nur eher spekulativen Hunderten Jahrmilionen, ja **Jahrmilliarden** aufbauen konnte. Das mußte Oberwasser für den Aktualismus bedeuten. Dem Aktualismus standen nun, etwas übertrieben, jene 'Ewigkeiten' zur Verfügung, mit denen HUTTON für seine uniformitaristisch gesehene Erdgeschichte ohne Katastrophen gerechnet hatte. Es gab keine einst grundsätzlich anderen, sich irreversibel verändernden Temperaturverhältnisse. Es folgte mit der Annahme von Jahrmilliarden vor allem mit dem das als erster vortragenden NIEUWENKAM (1966, 1968) eine neue Vorstellung vom immerwährenden **Kreislauf aller Gesteine** (s.ob.). Die mit langen Zeiträumen rechnende **Evolutionstheorie** im Sinne DARWINs mit dem **in kleinen Schritten** vor sich gehenden **Wandel der Organismenwelt** erschien nunmehr ebenfalls als mehr vorstellbar. Es wurde auch die Vorstellung möglich, daß die **heutige**, für den kleinen Erdbewohner gewaltig erscheinende **Atmosphäre** der Erde mit ihrem Sauerstoff-Gehalt von etwa 21% und dem niedrigen Kohlendioxid-Gehalt von 0,03 - 0,04 % sich **in langen Zeiträumen** durch die Photosynthese der mit Chlorophyll ausgestatteten Organismen, also den Blau"-Algen und den grünen Pflanzen, aus einer andersartigen Uratmosphäre **entwickeln** konnte. Frühere Behauptungen über eine etwa in der Steinkohlenzeit anders zusammengesetzte Erdatmosphäre konnten neu gewichtet werden. Wärmebedingte subkrustale Strömungen machten auch die Kontinentendrift (s. d.) denkbar (A. HOLMES 1931, S. 76).

Die Geologie, **die Erdgeschichtsforschung**, das ist **eine 'getragende Wissenschaft'** wie die Physiologie (K. E. ROTHSCHUH), in vielem, nicht allem, getragen von Physik und Chemie - hier wurde es wieder 'Ereignis'. Ohne Physik und Chemie - die Vorgänge in der Erdkruste bleiben unverstanden. Aber mit Physik und Chemie kam auch erneut manches Hypothetische, Spekulative, Umstrittene, mehr als in der faktengebundenen Stratigraphie, in die Erdgeschichte. Wiederum erhielten auch die 'tragenden' Wissenschaftsdisziplinen manche Anregung.

Im einzelnen wurden auf Wärmebildung und Wärmeabgabe etwa auch zyklische

Vorgänge in der Erdgeschichte zurückgeführt, von JOLY, mit seiner '**Theorie der thermischen Zyklen**', mit der "Annahme einer abwechselnden Anhäufung und Entladung des Wärmeüberschusses (A. HOLMES 1931, zit., S. 75): Wärmeanhäufung führte zum Schmelzen des als basaltisch angesehenen 'subkrustalen' Materials. Auf die folgende Ausdehnung des subkrustalen Materials folgten "vulkanische Tätigkeit und ozeanische Überflutungen". Westliche Gezeitendrift ziehe Kruste an den Ozeanböden über das Magma und das Dünnerwerden der so weggezogenen Kruste bringt Wärmeabgabe. Auf die "Entladung der Wärme" folge erneute "fortschreitende Verfestigung durch Kristallisation und Absinken von Blöcken" und "hierdurch wird die Kruste zusammengedrückt und das Meer tritt zurück." Die von JOLY angenommenen Prämissen wurden bald zurückgewiesen, etwa von JEFFREYS wegen der nicht anzunehmenden Gezeitendrift am Ozeanboden und die subkrustale Schicht immer flüssig bleibe, und von LOTZE "weil" diese Zyklusvorstellung "mit dem verwickelten Verlauf der Erdgeschichte nicht in Einklang zu bringen seien" (A. HOLMES 1931, S. 75).

Die Radioaktivität ermöglicht absolute Altersangaben für die Erdgeschichte

Als ein zweiter, für die Erdgeschichtsforschung ebenso bedetender Gesichtspunkt kam, daß man mit der Erforschung der radioaktiven Elemente und ihrer Zerfallsprodukte **zu absoluten Altersangaben** zur Erdgeschichte kommen konnte. Radioaktiver Zerfall erwies sich wenigstens unter irdischen Bedingungen als völlig **unabhängig von** chemische Prozesse beeinflussenden Faktoren wie **Druck und Temperatur** (G. VON HEVESY 1929), blieb über alle Zeiten gleich. Es wurde noch um 1900 die Idee geboren, aus dem Verhältnis der radioaktiven Ausgangsstoffe zu ihren Zerfallsprodukten das Alter von Mineralien zu ermitteln. Man konnte damit die Zeit bestimmen, die seit der Kristallisation eines Gesteins vergangen war (G. R. TILTON et al. 1963). Voraussetzung für diese Altersbestimmung war, daß ein radioaktive Elemente enthaltendes Mineral zur Zeit seiner Entstehung noch keine Zerfallsprodukte enthielt, sondern diese alle erst nach der Mineralbildung aus dem Uran oder anderen radioaktiven Elementen im Mineral entstanden oder daß aufgeklärt werden konnte, in welcher Menge sich Zerfallsprodukte in einem Mineral von Anfang an befanden. Nicht das richtige Alter eines Minerals kann erhalten werden, wenn Zerfallsprodukte im Laufe der Zeit verloren gingen oder von anderswoher hinzutraten. Wurde ein Gestein mit seinen Mineralien einer Metamorphose unterworfen, dann konnten alle Zerfallsprodukte freigesetzt werden. Dann konnte, wenn man sich des Verlustes aller Zerfallsprodukte zur Zeit der Metamorphose sicher war, der Zeitpunkt bestimmt werden, an dem ein Mineral mit erneuter ra-

dioaktiver Ausgangssubstanz erneut kristallisierte.

Als Begleitelemente befinden sich die radioaktiven Elemente in dem unverwüstlichen Mineral Zirkon und es läßt sich so sein Alter bestimmen, Proben aus West-Australien 4,404 Milliarden Jahre, damit eine der frühesten Mineralbildungen (Internet 2018).

Es wurden als für die **Geochronologie** geeignet 6 beziehungsweise 5 Zerfallsreihen gefunden:

Uran 238 mit Endprodukt Blei 206, also U 238 Pb 206

Uran 235 Blei 207, U 235 Pb 207

Thorium 232 Blei 208 U 232 Pb 208

Rubidium 87 Strontium 87 Rb 87 Sr 87

Kalium 40 Argon 40 K 40 Ar 40

Kalium 40 Calcium 40 - kaum benutzbar

Die Radioaktivität des Rubidium war schon kurz nach 1900 bekannt geworden. Erst 1937 aber wurde nachgewiesen, daß der Beta - Zerfall auf dem Rubidium - Isotop 87 beruht und dieses in Strontium 87 (^{87}Sr) übergeht (H. HINTENBERGER 1960). In Deutschland wurde das durch O. HAHN, F. STRASSMANN, E. WALLING mit MATTAUCH untersucht. Sie isolierten Strontium aus einem Rubidium - haltigen Glimmer und wiesen das entstandene Strontium 87 massenspektroskopisch nach. Erst um 1955 war das Verfahren so weit entwickelt, daß es in größerem Ausmaß angewandt werden konnte. Im normalen Strontium ist das radioaktive Isotop Rubidium 87 zu etwa 7 Prozent enthalten und aus dieser Kenntnis läßt sich die Herkunft von höheren Werten aus radioaktiver Entstehung ableiten. Besonders reich an Rubidium ist das Mineral Lepidolith, mit einem Maximalgehalt bis 3 Prozent.

Bei dem Alkalimetall Kalium gibt es das radioaktive Isotop Kalium 40, das nur in geringem Maß, zu 0, 118 Prozent (J. ZÄHRINGER 1960) im natürlichen Kalium enthalten ist. Schon 1906 wurde erkannt, daß Kalium unter Beta - Strahlung in Calcium 40 zerfällt, allerdings war zunächst das Kaliumisotop wegen seiner geringen Menge im natürlichen Kalium nicht nachgewiesen worden und galt etwa das Isotop 41 als radioaktiv (G. HEVESY 1927). Erst um 1950 kam die Entdeckung hinzu, daß Kalium 40 auch durch Elektroneneinfang in Argon 40 übergeht. C. F. von WEIZSÄCKER hatte schon 1937 aus dem hohen Gehalt von Argon 40 in der Atmosphäre abgeleitet, daß dieses aus kaliumhaltige Gesteinen stammt. Bei Kalium ist die relativ große Häufigkeit vorteilhaft. Die zu untersuchenden Proben werden bei eventuell sehr hoher Temperatur aufgeschmolzen, bis die völlige Ent-

gasung vermutet werden kann. Das Argon wird nach dem Abfangen der übrigen Gase an Aktivkohle gebunden.

Die Ergebnisse mußten dann als besonders sicher gelten, wenn in gleichen Gesteinen Übereinstimmung in den aus den verschiedenen Zerfallsreihen gewonnenen Werten erzielt wurde. Das gelang. Zum Alter der Appalachen - Metamorphose war wichtig etwa der Wert von Biotit und betrug etwa 150 Millionen Jahre oder mehr.

Weiterhin gab es Hinweise auf das Alter eines Gesteine durch Verfärbungen in Gesteinen, mikroskopisch sichtbar rings um radioaktive Mineralien, etwa rings um radioaktive Atome einschließendem Zirkon. Diese Verfärbungen waren sogar auf einen organischen Ursprung zurückgeführt worden (J. JOLY 1924, S. 899). JOLY (s. 1924) hatte diese **'haloes'** oder **'pleochroitischen Höfe'** als Ergebnis der Einwirkung von radioaktiven Emanationen auf das umgebende Gestein gedeutet. Die verschiedenen Arten radioaktiver Strahlung wurden, bedingt durch ihre verschiedene Energie, unterschiedlich weit in die Umgebung ausgesandt (J. JOLY 1924, S. 900). Die haloes zeigten also an ihren unterschiedlich weit voneinander angeordneten, geschwärzten Ringen, von welcher Strahlenart die Färbungen herkommen. Es wurde deutlich, daß der radioaktive Zerfall der verschiedenen radioaktiven Elemente sich über die Zeiten hin gleich blieb und die ausgesandten spezifischen Strahlen die gleiche Reichweite aufwiesen, nur mußte eben das jeweils spezifische radioaktive Element schon in gewisser Menge in dem Gestein vorhanden sein. Erst, wenn genügend radioaktive Strahlung ausgesandt war, wurden die pleochroitischen Höfe entdeckbar, sind also in älterem Gestein mehr und deutlicher vorhanden als in jüngeren, in denen sie sich noch bis zur Erkennbarkeit bilden müssen, so wie auf der photographischen Platte erst nach langer Belichtung/exposure Sterne sichtbar werden, die für das menschliche Auge immer unsichtbar geblieben wären (J. JOLY 1924, S. 902). Nachfolgende Strahlen konnten vorangegangene schwächen, 'leaching', aber das betraf archaische Gesteine, nur 1-mal von JOLY bis 1924 (S. 904) gefunden auch im Silur. Die 'haloes' sind Zeugnis der "immense antiquity" der Radioaktivität und durch ihre Auffindung in uralten Gesteinen Zeugnis für die damals schon vorhandenen radioaktiven Elemente (J. JOLY 1924, S. 906). Durch die 'haloes' sind wir also "more than ever impressed with the immense age of the elements and yet we know that some of them are to-day perishing off the earth..." (J. JOLY 1924, S. 907). Das alles geht weit über die aktualistische Geologie hinaus!

Nicht radioaktiver Art war es, wenn Silber-Ionen Elektronen abgaben, die rings um ein solches Molekül ein für Monate oder Jahre beibehaltenes negatives elektrisches Feld aufbauen können, bei zurückbleibender elektrisch positiver Ausgangsstelle (J. JOLY 1924, S. 903), aber es konnte also Analogon zu den haloes gesehen

werden.

Für die radioaktive Altersbestimmung konnten vor allem Mineralien in plutonischen Gesteinen genutzt werden. War die relative Altersbestimmung an die Einordnung der fossilführenden Sedimente geknüpft, so wurden für die absolute Altersbestimmung die Produkte aus dem Schmelzfluß wichtig (R. T. CHAMBERLIN 1935). Auch für das Alter fossilloser alter plutonischer Gesteine war die neue Methode anwendbar.

Für die jüngere Zeit, vor allem für das Postglazial bis hin in historische Zeiten, wurde die C14 - Methode wichtig (K. O. MÜNNICH 1960). Dieses radioaktive Kohlenstoff-Isotop C14 entsteht in der Atmosphäre ständig neu und erreicht hier einen bestimmten kleinen Prozentgehalt, nämlich 1 : 1012. Lebende Pflanzen nehmen ständig CO₂ aus der Atmosphäre und haben lebend dasselbe Verhältnis von C12 : C14. Nach dem Absterben einer Pflanze, etwa eines Baumes, nimmt der C14 - Gehalt ab, wobei dieses Isotop eine Halbwertszeit von 5570 Jahre besitzt. Aus Holz kann dann dessen Alter erschlossen werden. Die unbedingte Voraussetzung für einigermaßen sichere Altersbestimmungen ist, daß der C14 - Gehalt der Atmosphäre in der Vergangenheit derselbe wie in der Gegenwart war. Das setzt eine Konstanz etwa der kosmischen Strahlung voraus.

Neben irdischen Mineralien wurden auch Meteorite auf ihre Zerfallsprodukte untersucht und somit auf ihr Alter geschlossen. Ihr Alter, so etwa 4, 5 Milliarden Jahre, übertrifft die auf der Erde bestimmten Mineralalter (J. ZÄHRINGER 1960) und gibt eine Vorstellung vom Alter anderer Himmelskörper.

17. Das Bild von der Erdgeschichte ab etwa 1860

Auf dem Wege zur erdweit verbundenen Stratigraphie

Endogene und exogene Vorgänge der Erdkrustengestaltung, Gesteins- und Mineralbildung, Kenntnis der ökologischen Besonderheiten der Organismen und eine gewisse absolute Angabe von Zeiten in der Erdgeschichte machten es möglich, ein neues, genaueres Bild erdgeschichtlicher Entwicklung zu bieten, als es die Schöpfer der großen "Systeme" in den ersten Jahrzehnten des 19. Jh. vermochten.

Trotzdem muß beachtet werden, daß gerade für die ganz großen Zusammenhänge Kenntislücken bestehen, die vielleicht niemals restlos beseitigt werden können und

immer nur der mehr oder weniger großen Wahrscheinlichkeit, ja der Spekulation zugänglich sind (F. STRAUCH 2004).

In zunehmendem Maße wurden Fossilien in verschiedenen Regionen gefunden und gesammelt und konnten mit den von Europa her bekannten Formen verbunden werden. Das war natürlich Spezialarbeit.

NEUMAYR hatte einen schon recht tiefgründigen Blick auf die "marinen Reiche" von Jura und Unter-Kreide geworfen. CARL DIENER, 1897 in Wien a.o. Professor für Geologie, 1903 für Paläontologie, 1909 Ordinarius für Paläontologie, konnte als Fabrikantensohn auch eigene finanzielle Mittel einsetzen. Er bereiste weite Gebiete auch in fernen Regionen und es heißt von ihm, daß er "die wichtigsten Triasvorkommen der Erde an Ort und Stelle gesehen" (A. KIESLINGER 1928, S. 1202), "der Klassiker der Triasformation geworden ist" (S. 1209) und so eine erdweite **Trias-Stratigraphie** aufstellte. DIENER hatte Formen aus den Alpen und dem von ihm auf einer eigenen Expedition besuchten Himalaja als zusammengehörende erkennen können. Was OPPEL einst für den west- und mitteleuropäischen Jura geleistet hatte, dehnte DIENER für die Trias auf weite Teile der Erde aus.

Paläogeographie

Die Paläogeographie hat aus der Verbreitung der verschieden alten Ablagerungen die Land-Meer-Verteilung in den verschiedenen Perioden festzustellen und auch kartographisch zu erfassen gesucht und die Wandlungen in der Verteilung von Land und Ozean ermittelt. Zerstörung und Aufstieg von Festländern und damit Änderung in der Verteilung von Kontinent und Ozeanen sind zumindestens seit HUTTON eine Grundannahme der Geologie.

Mit einer anderen Verteilung der Kontinente mußte auch eine andere Zirkulation in den Meeren angenommen werden, zumal, wenn auch die Klimaverhältnisse andere waren, also **etwa die polaren Eiskalotten** fehlten. W. DEECKE (1923) fragte nach **Meeresströmungen** in der Vorzeit, damals nach solchen in Mitteleuropa. Im Tethysmeer habe eine Ost-West - Strömung geherrscht und die Verbreitung der verschiedenen damaligen Organismen über die gesamte Tethys zustandegebracht, auch über planktische Larven mancher Meerestiere. Mit der tertiären Gebirgsbildung, mit der ziemlichen Angliederung der afrikanischen Masse an Eurasien, mit der Entstehung der mitelamerikanischen Landbrücke, entstanden Pazifik und Atlantik als in sich abgeschlossene Meeresräume mit ihren eigenen Meeresströmungen. Auch erhielt das kalte Wasser der Pole in den Ozeantiefen Zutritt zu niederen Breiten. Nur durch Meeresströmungen sind nach W. DEECKE (1923) die gewaltigen Se-

dimentmassen von Jura, Oberkreide und auch Teilen des Tertiär nach West - und Mitteleuropa gekommen. Die wenigen Festlandsgebiete in Zentraleuropa hätten diese Massen von feinstem Detritus nicht liefern können. Auf dem nordatlantischen Kontinent war ihre Herkunft zu suchen.

Klima der Vorzeit - erschlossen durch die Paläoklimatologie

Erschließung vergangenen Klimas - organische und anorganische Zeugen

Das Klima der Vorzeit kann prinzipiell aus allen Dingen, also **aus allen Vorgängen und Phänomenen** erschlossen werden, **die klimaabhängig** zustandekamen, aus **Gesteinen** oder **Boden-Überbleibseln**, aus Erscheinungen der Verwitterung, welche möglicherweise **nur unter bestimmten Klimabedingungen zustande** kamen und aus dem Vorkommen von **Lebewesen, die nach Analogie mit der Verbreitung heutiger verwandter Arten auf bestimmte Klimagebiete beschränkt** sind (M. SCHWARZBACH 1961). Die **Temperatur** vergangener Zeiten im Meer wird in der neuesten Zeit auch durch ein sehr **geringfügig anderes Verhältnis der Isotope** bei **Sauerstoff**, $O_{16} : O_{18}$, in Kalkschalen/ $CaCO_3$ der Muscheln verschiedener Zeitalter ermittelt. ein Verhältnis, das über die Zeiten konserviert bleibt, wobei die winzigen geringfügigen Abänderungen gemessen werden müssen (S. NÄHER et al. 2017, S. 18) und können. Die Kalkschalen der Muscheln werden dazu aufgelöst (mdl. Prof. MÜLLER Leipzig).

Hinsichtlich der Lebewesen mußte aber auch daran erinnert werden, daß selbst nahe verwandte Arten teilweise in sehr verschiedenen Klimagebieten auftreten (M. NEUMAYR 1883). So gibt es große Bären mit einem recht ähnlichen Skelett gegenwärtig im Eise der Arktis wie in weit südlicheren Gefilden. Heutige Elefanten und Nashörner bewohnen klimatisch ganz andere Regionen als es bei Mammut und Wollhaarnashorn der Fall war. Aus dem heutigen Vorkommen der riffbauenden Korallen wurde abgeleitet, daß sie wohl ebenso in der Vergangenheit Bewohner wärmerer Meere gewesen sind, also bei Temperaturen nicht unter 20 Grad Celsius gediehen (M. NEUMAYR 1883 u. a.). Im Jura gab es Korallen auch in England, gegenwärtig befinden sich die nördlichsten Riffe bei etwa 32 Grad nördlicher Breite auf den Bermudas -Inseln. Müssen die Jura-Korallen Englands in warmen Klima gewachsen sein? Von hoher Temperatur sollte die Üppigkeit der Steinkohlenflora sprechen. Zudem sollte auch der Kohlendioxidgehalt damals viel höher gewesen sein, also der Treibhauseffekt konnte hohe Temperatur ermöglichen. Es wurde jedoch auch eingewandt, daß sich Torflager in der Gegenwart namentlich in den kühleren Klimagebieten bilden, da nur hier die Zersetzung von Pflanzensubstanz

gebremst ist.

Fast sicherer als die organismischen Klimazeugen sind teilweise die anorganischen. Hierzu gehören die Zeugnisse von Vergletscherungen und diejenigen von Wüsten. Zu den Wüstenzeugnissen gehören die Ablagerungen von Produkten aus Verdunstungsvorgängen ("evaporites"), so Salz, Gips, oft verbunden mit rotgefärbten Schichten (P. M. S. BLACKETT 1961). Die Gestalt **fossiler Dünen** kann Aussagen über die **Windrichtung vergangener Zeiten** erlauben.

Daß sich die verschiedenen **Salzminerale bei bestimmten Temperaturen** bilden, legte 1905 der niederländische Chemiker F. H. VAN'T HOFF dar, der daraus ein "Geologisches Thermometer" entwickelte. Glauberit mußte nach den Erfahrungen von VAN'T HOFF über 80 Grad C entstanden sein.

Klima in der Erdgeschichte: Entwicklung oder Wechsel?

Mit der Annahme einer irreversiblen Entwicklung auf der Erde wurde auch an eine irreversible Klima-Entwicklung gedacht, also Verlauf in einer Richtung, und zwar vom vielleicht einst schmelzflüssigen Zustand der Erdoberfläche zu allmählicher Abkühlung. Diese Abkühlung gab es gegenüber dem kalten Weltraum, trotzdem von dort auch ständig Wärme von der Sonne kam. BUFFON um 1780 hatte für den von ihm angenommenen Abkühlungsprozeß kurze Zeiträume angenommen, sollten ja die Reste von Mammut und Wollnashorn in Sibirien von Tropenklima zeugen. Gab es allmähliche Abkühlung, dann durfte erwartet werden, daß sich **Klimazonen** erst im Verlaufe der Erdgeschichte herausbildeten. Als man mehr über die Erdzeitalter wußte, wurde sogar an eine **Herausbildung** der Klimazonen erst ab dem Tertiär gedacht.

Eine einsinnige, in einer Richtung verlaufende Klima-Entwicklung wurde aber **auch bezweifelt**. Klima sollte, und vieles sprach dafür, grundsätzlich einem **Wechsel, also auch der Wiederkehr einmal gewesener Zustände** unterworfen gewesen sein. **Mit Gebirgen**, ihrer Höhe und Anordnung, ihrer Stellung zu den Ozeanen, mußte das Klima größerer Regionen stark beeinflußt werden. Hervorgehoben wurde der Einfluß von Zeiten mit Gebirgen und solcher mit großen Einbnungen etwa von dem in Finnland wirkenden Geologen RAMSAY (s. W. VON SEIDLITZ 1920, S. 37). Der in Finnland wirkende RAMSAY sollte nicht verwechselt werden mit dem A. C. RAMSAY des 19. Jh. Am Anfang des 20. Jahrhunderts kam noch hinzu, daß mit der Auffindung des **radioaktiven Zerfalls** von chemischen Elementen in der Erdrinde eine neue Wärmequelle gefunden worden war, die eine fortgehende Abkühlung wenigstens verzögern konnte. Ja, es wurde die ständig weitergehende Abkühlung sogar bezweifelt (W. NIEUWENKAMP 1965).

Frage mochte sein, wie viel radioaktives Material war einst auf der Erde Vorhanden und wie viel davon noch nicht zerfallenes gab es in den verschiedenen Zeiten. Nicht mehr nachweisbar sind Wechsel in der Sonnenaktivität in vergangenen Zeiten.

Viele frühe Überlegungen über fern-vergangenes Klima gehen auf NEUMAYR (1883 u. a.), auch auf E. PHILLIPI (1910) zurück. Mancher Geologe und Paläontologe hat dann mitgewirkt, um durch die Ermittlung von tier- oder pflanzengeographischen Provinzen **Klimazonen** und durch unterschiedliches Klima ausgezeichnete Territorien in erdgeschichtlicher Vergangenheit festzustellen (M. NEUMAYR 1883). Zu den verschiedenen Zeiten der Erdgeschichte waren die klimatischen Unterschiede auf der Erde wohl unterschiedlich, jedoch sprach vieles für **Perioden, in denen erdweit ein ziemlich gleichartiges Klima** herrschte, und zwar ein **mildes**. Da kann die Zusammensetzung der Atmosphäre durchaus ziemlich gleich geblieben sein. Es **fehlten gar alle Eiskappen** an den Polen auch an den gegenüber heute vielleicht ganz woanders liegenden Polen. Es gab deshalb wohl weniger Druckunterschiede in der Atmosphäre. Dann waren Stürme seltener, Meeresströmungen schwächer (E. KUMMEROW 1932), kein kaltes Wasser polarer Herkunft konnte am Boden der Weltmeere in niedere Breiten strömen (F. KERNER-MARILAUN 1934, S. 55). Dann gab es also keine großartig erfaßbaren Klimazonen. Die Festländer hatten in den verschiedenen Zeiten eine verschiedene Ausdehnung und auch andere Lage, und der Gegenwart geläufige klimatischen Unterschiede auf der Erde gab es deshalb nicht. Die Verteilung von Land und Meer bestimmte stark das Klima, wie es schon LYELL annahm. Mit anderer Verteilung von Land, Meer und vor allem Gebirgen wechselten die Klimabedingungen.

Es gibt, heute jedenfalls, **ganze Erdregionen**, die ein **besonderes Klima** aufweisen. So ist es an der Westküste Südamerikas mit ihren wenig hinter dem Ozean gelegenen Trockenwüsten, mit der nordchilenischen Atacama-Wüste als der trockensten Wüste der Erde. Und hier entstanden ganz besonderes Ressourcen, der aus Vogelexkrementen stammende Guano. Und in der Atacama-Wüste mit dem Wüstenklima zusammenhängend die Salpeterlager?

Mögliches Klima in den verschiedenen Erdperioden - und darunter anzunehmende Erdperioden ohne irgendwelche Gletscher irgendwo

Erörterungen über den Klimablauf gab es immer wieder, wobei das Klima nie in allen Erdregionen ganz gleich gewesen sein muß. Vieles dazu wurde aus den Fossilien abgeleitet und bei deren Behandlung in dieser Arbeit schon viel auch

zum Klima gesagt. Einige Diskussionen sollen hier zusammengefaßt werden:

Da es **im Kambrium** schon höheres Leben gab, konnte die Temperatur so hoch nicht gewesen sein. M. NEUMAYR (1883, S. 277) rechnete mit bis 60 Grad C, jedoch angesichts der den Krebsen ähnlichen Trilobiten war das zweifellos zu hoch gegriffen. Das **Devon** erscheint vielfach als eine warme Zeit. Das Festland muß Saisonregen erlebt haben, weil es viele rote und damit auf warme Trockenheit deutende Ablagerungen gibt, mit Trockenrissen und andererseits nur wenig Salz (P. M. S. BLACKETT 1961). Für **Kambrium und Silur** hatte BARRANDE auf unterschiedliche Fossilien im südlichen und im nördlichen Europa verwiesen. Das **Carbon** galt für NEUMAYR (1883, S. 507) sehr einheitlich, da der Kohlenkalk, wo immer er auf der Erde untersucht wurde, eine große Zahl identischer Formen besitzt und auch die Flora zahlreiche gemeinsame Züge zeigt. Aber im Carbon beginnt auch die Vereisung auf der Süd-Halbkugel.

Im **Mesozoikum** gab es auf der gesamten Erde möglicherweise gar **keine Gletscher**, also keine vereisten Polkappen, keine Festlandsgletscher. Es muß dann auf der Erde vieles anders als etwa in der Gegenwart gewesen sein, anders in Meeresströmungen und im Wettergeschehen. Jedenfalls gibt es in dem antarktischen Graham-Land unter 60 bis 70 Grad südlicher Breite eine reiche, auf warmes oder gar tropisches Klima verweisende jurassische Flora. Korallen sind häufig. Konnte ohne irgendwelche Gletscher irgendwo **noch** von **Aktualismus** gesprochen werden? Wenigstens können nur heutige tropische und subtropische Regionen als Vorbild für die gletscherlosen Zeiten dienen. Für NEUMAYR schienen, "während der Jura- und Kreidezeit" "Klimatische Zonen", also Klimaunterschiede, zu existieren, wobei NEUMAYRs über die ganze Erde sich erstreckende Erfassung der Sedimente vor allem der fossilreichen Juraformation als Beispiel einer erdweiten Formationserfassung die nötige Grundlage lieferte. Er hatte gefunden, daß gewisse Ammonitengattungen, besonders *Phylloceras*, *Lytoceras*, *Simoceras*, längs der heutigen Nordgrenze der Alpen und Karpathen eine Nordgrenze haben. Mitteleuropa erwies sich als ausgezeichnet namentlich durch *Oppelia*, *Harpoceras*, *Aspidoceras* und die großen Riffkorallen. Von ihnen setzte sich ab eine besonders deutliche boreale Zone mit Innerrußland, Spitzbergen, Grönland. In der Richtung der Breitenkreise hat NEUMAYR in Europa also 3 Zonen, "homiozoische Gürtel", unterschieden. Immer war aber zu bedenken, daß auch andere als klimatische Faktoren die Verbreitung bestimmt haben können, etwa die mehr oder weniger vollständige Abschließung bestimmter Meeresteile oder Tiefenverhältnisse. Jedenfalls fand E. v. MOJSISOVICS das Vorkommen bestimmter Ammoniten in den Alpen vorwiegend gebunden an tonige Gesteine und andere an Kalk. Die Ammoniten der Alpen werden sowieso vor allem in Kalksedimenten gefunden, sodaß dann gegenüber anderen Gebieten mit anderen Gesteinen eine Abhängigkeit vom Klima vorgetäuscht wer-

den kann. In Mähren fand NEUMAYR eine so scharfe, sich auf etwa 6 Meilen reduzierende Grenze zwischen alpinen und außeralpinen Formen, daß hier ein besonderer begrenzender Faktor zu vermuten war. Das konnte nur eine ansonsten nicht mehr nachweisbare Barre oder ein warmer Meeresstrom sein. E. PHILLIPI (1910) gab die ihm "ungeheure Masse" (S. 115) des im Mesozoikum ausgeschiedenem Kalk oder Magnesia zu bedenken, welche viel Kohlendioxid gebunden haben müssen und damit den Kohlendioxid-Gehalt der Atmosphäre vermindert hätten. Wie viel Kohlendioxid wurde damals vielleicht durch Vulkantätigkeit nachgeliefert? Niedrigere Gebirge haben auch die klimatischen Unterschiede gemildert und bedingen sie mit den gegenwärtigen fast 9000 m erreichenden Hochgebirgen (B. WILLIS 1910, S. 250). Mount Everest 8848 m.

Für die **obere Kreide** hatte FERDINAND ROEMER zuerst von klimatischen Zonen innerhalb noch des Mesozoikum gesprochen (M. NEUMAYR 1883, S. 302). Die Rudisten sind beispielsweise vorzugsweise auf die alpine Zone begrenzt. Die Fossilien in der Schreibkreide sollten für ein mehr warmes Wasser zeugen (E. PHILLIPI 1910).

Auch das **Tertiär** war möglicherweise weithin mild, gletscherfrei. Unterschied gab es auch in den Zeiten milderer Gesamttemperatur aber in der Tageslänge, in ihrem Wechsel mit der Saison, Sommer oder Winter. Damals ist eventuell der Baum *Metasequoia* im Norden entstanden, der rezent nur noch in Resten in Zentralasien nach dem Zweiten Weltkrieg gefunden wurde, aber in zahlreiche Parks und Gartenanlagen, ja auch Forsten Einzug hielt und dessen nun zahlreiche herangezogene Exemplare sich durch Schnellwüchsigkeit und auch relative Widerstandsfähigkeit sich auszeichnen. Wieso konnte ein so angepaßter Baum in der Natur so selten werden? Im Herbst wirft der Baum seine weichen "Nadeln" ab. Dem entspräche ein Baum, der dort sich entwickelte, wo nur in der Sommerzeit die Tage lang sind, aber andererseits die dunklen Tage der sonnenarmen Saison noch mild genug, um ein Überleben zu erlauben. Das schräg stehende Sonnenlicht der Sommermonate müßte gut ausgenutzt werden, so eben durch rasches Wachstum, während im "Winter" nicht so sehr wegen Kälte als wegen mangelndem Licht die Assimilation kaum weitergeht. Konnte die *Metasequoia* in anderen Umwelten nicht mehr der Konkurrenz widerstehen? Fast so eigenartig wie beim *Ginkgo*, der recht umweltresistent dennoch nur in Japan in Kultur bekannt wurde und in der Erdgeschichte einmal eine reichlich vorkommende Gattung war.

Wie schnell, "ziemlich plötzlich" (FRECH, zit. b. E. PHILLIP 1910) soll dann die Abkühlung zur "Eiszeit" geschehen sein? Soll dabei Vulkanismus mitgespielt haben?

Statt einer gleichsinnigen Entwicklung der Erdklimas nahm etwa CROLL wegen

früherer Gletscherspuren einen Wechsel von glazialen und interglazialen Klimaverhältnissen an (s. a. M. NEUMAYR 1883). Auf jeden Fall hat die Existenz früherer Eiszeit die Theorie von der kontinuierlichen Abkühlung der Erde jedenfalls für deren Oberfläche in Frage gestellt (R. BRINKMANN 1948). Es stimmt wohl nicht, was VON WOLFF (zit. bei W. VON SEIDLITZ 1920, S. 39) 1908 annahm, daß "im Lauf der Erdgeschichte die zyklisch wiederkehrenden Vereisungen an Intensität zugenommen, aber Gebirgsfaltungen an Intensität abgenommen haben, ebenso sind Zeiten erhöhter Vulkantätigkeit kürzer geworden sind."

Mögliche Veränderungen und Entwicklungen in der Atmosphäre während der Erdgeschichte

Für die Gesteinsbildung wie die Organismenwelt besaß die Atmosphäre stets eine so große Bedeutung, daß die Erdgeschichtsforschung sie in ihre Überlegungen voll einbeziehen mußte. Auch hierzu gab es wohl Beziehungen zum Klima. Erstaunen erregte die Menge von Kohlendioxid, welche in den Kalklagern und in den Kautobiolithen festgelegt wurde. Eine Wiederfreisetzung dieser Kohlendioxidmenge, so wußte schon M. NEUMAYR (1883), würde jedes tierisches Leben unmöglich machen. Es wurde schon etwa 1930 erörtert, ob etwa nur der Wärmehaushalt der Erde in verschiedenen Perioden anders als heute war oder ob nicht auch andere Teile des elektromagnetischen Spektrums, also Lichtstrahlung einschließlich Ultraviolett, Änderungen unterlagen. So hätte sich, wie J. L. WILSER 1930 (S. 639) diskutierte, auch der Anteil der blauen und der ultravioletten Strahlung manchmal ändern können und hätte jene 'Umgruppierungen' in der Organismenwelt hervorgerufen, welche etwa an der Wende von der Jura zur Kreide oder noch mehr an der Kreide-Tertiär - Wende so auffällig sind. Aussterben und Aufblühen, Riesenzustand, Störungen beziehungsweise Änderungen im Kalkstoffwechsel, besonders auch Neuerungen im Integument, so Ganoide und Teleostier, Federn und Haare fallen auf. Der Genetiker HERMANN JOSEPH MULLER hatte erörtert, ob stärkere ultraviolette Strahlung nicht die Mutationsrate erhöht haben könnte und so die Veränderungen bei den Lebewesen beschleunigte. Klimawechsel, das bedeutet nicht unbedingt nur Wärmewechsel, sondern gegebenenfalls auch Wechsel in der kurzwelligen Strahlung.

Grundfragen in der Geologie am Ende des 19. und in der ersten Hälfte des 20. Jahrhundert

Weiterführung der Aktualismus - Debatte

Die Erörterungen über die Berechtigung der aktualistischen Betrachtung der Erdgeschichte wurde immer wieder aufgenommen, auch nachdem sie von allen Geologen im wesentlichen Grundlage ihrer Aussagen geworden war. Namentlich nach 1930 wurden immer wieder auch die Grenzen der aktualistischen Geologie überdacht. Auf Grund der verschiedenen Überlegungen wurde daher beispielsweise von KAISER abgelehnt, von einem 'Gesetz des Aktualismus' zu sprechen. Für eine genauere Formulierung und Grenzabsteckung der aktualistischen Auffassung trat namentlich WILHELM SALOMON (später Zunamen CALVI (1918) (M. PFANNENSTIEL 1948) neben E. KAISER (1931) und etwa E. KUMMEROW (1932) ein.

SALOMON-CALVI, dieser vielseitige und auch kulturell gebildete Geologe war am 15. Februar 1868 in Berlin geboren worden, verbrachte seine "Lehr- und Wanderjahre in Italien" und wurde Ordinarius in Heidelberg. Als Jude mußte er sich 1934 eine neue Wirkungsstätte suchen und fand sie in der Türkei, wo er an der Landwirtschaftlichen Hochschule in Ankara das Geologische Institut gründete. Er hielt seine Vorlesungen in deutscher Sprache und ein Assistent übersetzte ins Türkische. Er starb am 15. Juli 1941 in Ankara an einem dritten Schlaganfall. Sein Wunsch, in der Zeit nach Deutschlands ihm unvermeidlich erscheinenden Niederlage die deutschen Alpen noch einmal wiederzusehen, blieb unerfüllt. MAX PFANNENSTIEL konnte 1941 seinen ersten Lehrer in Geologie noch einmal besuchen, aber mußte 1948 schreiben: "Er ruht auf dem neuen Friedhof in Ankara. Seine letzte Ruhestätte ist durch die stille Feierlichkeit der Steppe geadelt. Der Sommerwind bewegt die schimmernde Tamariskentallee und die großen Margerithen ..."

SALOMON (1918, auch 1924 a) verwies auf die gegenüber dem Normalverlauf des Geschehens auf der Erdoberfläche **größere Wirksamkeit von einschneidenden Lokalkatastrophen**. So zerstörten Sturmfluten an der Nordsee und manchmal auch an der Ostsee an einem Tage mehr Küstenland als die normale Meeresbrandung in einem ganzen Jahre beseitigt. Nach einem Wolkenbruch oder einer raschen Schneeschmelze kann die Abtragungsleistung normaler Jahre beträchtlich übertroffen werden. Solche "weitgreifenden, aber doch immerhin nicht universalen Katstrophen" nannte SALOMON (S. 8) "Paroxysmen", zur Abgrenzung "von den alten D'ORBIGNYschen Kataklysmen oder Katastrophen". Ein "paroxysmatisches Anschwellen geologischer Ereignisse" schien ihm "im großen wie im kleinen die Regel zu sein." SALOMON nannte seine Auffassung "**Paroxysmentheorie**",

wollte sie zumindestens als eine besondere Form der Aktualismusauffassung sehen. Aktualismus dürfe nicht mit Kontinuität in den Erscheinungen gleichgesetzt werden, entspräche nicht nur dem steten, den Stein höhrenden Tropfen. Paroxysmen könnten auch erklären, warum "manche Formationsgrenzen in verblüffender Schärfe über riesige Strecken der heutigen Kontinente verfolgbar sind" die Transgression des Cenoman. Die "Erdgeschichte", schlußfolgerte SALOMON (S. 9), beruht nicht auf einem gleichmäßigen Gang, sondern setzt sich aus "großen und kleinen Paroxysmen mit dazwischenliegenden Perioden verhältnismäßig ruhiger Entwicklung zusammensetzt." "Den Grundsatz des Aktualismus können wir nicht entbehren", endete SALOMON 1918 (S. 10), "aber es wird gut sein bei der Erklärung der Landschaftsformen sich klar zu machen, daß die irgendwie beobachteten Vorgänge der Gegenwart nicht ohne weiteres durch Multiplikation mit 10 000, 100 000 oder einigen Millionen das geologische Geschehen der Vergangenheit desselben Gebietes zu ergeben brauchen". Man könnte SALOMON-CALVI **ergänzen** mit dem Hinweis auf die Lavamassen-Ausbrüche in Sibirien und das auf diese zurückgeführte Massenaussterben an der Perm-Trias-Grenze, die Meteoriteneinfälle, die auf Kohlendioxid-Bindung zurückgeführte Massenvereisungen im Präkambrium (s.d.) und die nun erkannten Supervulkane wie der am Toba-See auf Sumatera..

Für die USA wird der 1919 gestorbene JOSEPH BARRELL als Geologe genannt, der meinte, daß "geological processes vary in intensity in a cyclical rather than a uniform fashion" (zit. b. L. BADASH 1989, S. 83).

Irreversibilität gab es zweifellos in der Umbildung der Organismen und alle an Organismen gebundenen Vorgänge mußten dann mit ihrer Evolution sich verändern und mit der biologischen **Evolutionstheorie** war ein neuer Gesichtspunkt in den Vergleich von erdgeschichtlicher Vergangenheit und Gegenwart gekommen. J. WALTHER, der darauf in besonderem Maße verwies, sprach statt von der "aktualistischen" von der "**ontologischen Methode**", wobei der neue Terminus so viel mehr Klarheit nicht brachte. WALTHER wies auf jene "Urwüste", die es unabhängig von Niederschlägen überall auf der Erde gegeben haben muß, bevor die Vegetation die Festländer besiedelte. Das baute KAISER aus, der fast 5 Jahre lang in Südwestafrika eine der gegenwärtig extremsten irdischen Wüsten kennengelernt hatte und von ihr zum Nachdenken angeregt worden war - in "aktualistischer Weise" zu abweichenden Vorstellungen. "**Urwüste**" wäre vor dem Erscheinen der Festlands-Vegetation unabhängig von der Niederschlagshöhe auf der ganzen Erde anzunehmen. Gewiß konnte auch daran gedacht werden, daß ohne Vegetation die Verdunstung anders verlief, daß bei fehlendem Polareis vielleicht weniger Luftdruckgegensätze auf der Erde bestanden und es weniger regnete, wobei das Ausmaß ehemaliger Niederschläge schwer abzuschätzen ist. KAISER meinte

(1931, S. 395): "Die aktualistische Arbeitsrichtung versagt zunächst für die damaligen feuchten Gebiete fast vollkommen. Sie ist zunächst rein vergleichend, induktiv eingestellt. Jene feuchten vegetationsfreien Gebiete der Urwüste sind nicht vergleichbar mit den vegetationsarmen Trockengebieten der heutigen Erdoberfläche." KAISER denkt für die "Urwüste" an viel gewaltigere Deflation, an viel stärkere Ausräumung durch ungebremsste Wasserfluten, an das Zurücktreten der chemischen Verwitterung, an die Entstehung von vielen Fanglomeraten. Grauwacken erscheinen ihm als Gemenge des durch Wasser mehrfach umgelagerten Felsschuttes der Urwüste. Es gab keine organischen Zerfallsprodukte, keinen Wurzelhorizont mit Kohlendioxidbildung, keinen Humus und damit keine Humuskolloide, nicht durch Humussäuren bewirkte Auswaschung und damit Bleichung der oberen Bodenschichten, sofern man ohne Vegetation überhaupt von Boden sprechen kann. Beim Vorherrschen der physikalischen Verwitterung war auch zu erwarten, daß der Verwitterungsrückstand wegen fehlender chemischer Umsetzungen die Farbe der ursprünglichen Gesteine beibehielt.

Es war zu diskutieren, ob nicht die verschiedenen Floren in der Erdgeschichte mit ihren verschiedenen großen Pflanzengruppen **unterschiedlich** auf die **Verwitterung und die Bodenbildung** einwirkten, also manche Vorgänge der Vergangenheit wegen des Wandels der Organismenwelt kein rezent Gegenstück haben, gemäß HARRASSOWITZ Auffassung: "Verwitterungsvorgänge lassen sich nicht als ein rein anorganisches Problem betrachten, sondern nur in ihrer Verbundenheit mit der Geschichte der Erde und des Lebens" (zitiert bei: E. KAISER 1931, S. 399). Pflanzen haben Trockengebiete sicherlich später besiedelt als feuchtere Lebensräume und für Trockenregionen war der Einfluß von Pflanzen noch später als für Feuchtgebiete anzunehmen. Einen gewissen Vergleich mit den vegetationslosen Urwüsten ließen nach E. KAISER die tropischen Vulkanriesen zu, auf denen sich trotz reichlichem Regen und Nebel keine Vegetation einstellt.

Irreversibilität der Umbildung bestand auch für die Erdkruste, wenn die **Kontraktionstheorie** als richtig galt.

Für die **Gesteinsbildung** waren namentlich bei deren Abhängigkeit von der Dicke der Erdkruste und bei der Abhängigkeit mancher Sedimente von Organismen Unterschiede in den verschiedenen Perioden zu erwarten, also entstand doch **nicht jedes Gestein zu jeder Zeit**. G. STEINMANN äußerte 1910 die Vermutung, daß wegen der ehemals höheren Temperatur der Erdkruste in älteren Zeiten die Metamorphose von Gesteinen in geringeren Tiefen stattfand und die ebenfalls wegen der höheren Temperatur möglicherweise intensivere Gebirgsbildung sich auf ausgedehntere Zonen der Erdkruste erstreckte als später. Das konnte dann eine Erklärung sein, warum gerade aus den alten Zeiten so viele kristalline Schiefer bekannt sind. W. SALOMON hatte zunächst (1924, S. 31) betont, daß sich nach

dem ältesten Archäikum jedes Gestein zu jeder Zeit der Erdgeschichte haben bilden können. Er gab Widersprüchen etwa 1926 gewisse Berechtigung. Er fragte dabei auch, ab welchen Besonderheiten ein Gestein als eine abweichende von der Normalität abweichende Erscheinung zu beschreiben ist. Wäre nicht der Kupferschiefer, fragte SALOMON (1926, S. 6), nicht nur ein mit etwas Kupfer und Bitumen imprägnierter 'Mergel', ein Juraton mit Barytknollen immer noch ein 'Ton' und Schreibkreide ein locker gebliebener 'toniger Kalkstein'? Der Löß, der als Besonderheit der Glazialzeit erscheint, wäre bei Entstehung in älterer Zeit längst verfestigt worden und so nicht mehr als Löß erkennbar. Manche Forscher hatten den Kupferreichtum mancher Schichten des Perms als ein spezifisches Kennzeichen besonderer Bedingungen gerade dieser und auch nur dieser Formation gesehen. V. M. GOLDSCHMIDT in Oslo stellte die Hypothese auf, daß die Saigerungsvorgänge der Erdmasse in bestimmten Zeiten der Erdgeschichte einzelne Elemente besonders stark in die höheren Regionen der Erdkruste befördert haben könnten. Jedoch SALOMON gab hierzu zu bedenken, daß solche Vorgänge die Zeitdauer einzelner Formationen hätten bedeutend überschreiten müssen. KAISER verwies (1931) darauf, daß eine Gegenüberstellung des Gesamteindrucks der Mehrzahl der Sedimente des Mesozoikum gegenüber den paläozoischen Sedimente einen Unterschied erkennen läßt. Man könne auch die alten sedimentären Goldlagerstätten nicht nach dem Prinzip der heutigen Goldseifen erklären und ebensowenig gäbe es eine von rezenten Erscheinungen ausgehende Erklärung der gewaltigen sedimentären Eisen- und Manganerzlagerstätten ältester Formationen, wie sie in Süd-Afrika anzutreffen sind. MARTIN WILFAHRT (1938), Halle, erschien die augenscheinlich in dem weiten Raum des Auftretens des Unteren Muschelkalks, des 'Wellenkalks', überall auftretende Küstenfazies rätselhaft und er rechnete mit Großzeiten, die dem ganzen Raum in kurzer Zeit das Gepräge von Küste gaben. Was sollte solche anormalen 'Großzeiten' hervorgerufen haben? Vorgänge im Kosmos? WALTHER war andererseits weiterhin der Überzeugung, daß für die Bildung der Sedimentgesteine die "Vorgänge der Gegenwart ... ein Schlüssel für die Räthsel der Vergangenheit sind" (1891, S. 347), wenn man die wechselnden Organismen in die Betrachtung einbezieht. Von anderen verwiesen wurde auf die Ähnlichkeit von Guano und Koproolithen. Als Beispiele für Gleichartigkeit der Bildungen in Vergangenheit und Gegenwart nannte VON FRITSCH junge und alte Eruptivgesteine,

Für **irreversible Entwicklung im Chemismus** der Erdkruste machte WOLF Freiherr VON ENGELHARDT etwa 1959 (bes. S. 98) aufmerksam. Irreversibilität gelte sowieso für die radioaktiven Elemente, die irgendwann zustandegekommen nur in Richtung auf Blei zerfallen. Was sich in der Tiefsee ablagerte wäre dem weiteren Kreislauf entzogen. Manche "Stoffe... , die wir in der Atmosphäre und im Meerwasser antreffen, wie z. B. Alkalien, die Erdalkalien, Kohlendioxid und Sauerstoff, wandern nicht in Kreisläufen, sondern in gerichteten Entwicklungsgängen."

(Hervorhebung im Original). Leider wäre wegen des einseitigen Aktualismus "Das Bild des Kreislaufs der Stoffe... auch heute noch in Geochemie und Petrographie das gebräuchliche und bevorzugte Gedankenschema. Wir sehen, daß die wirkliche Erdgeschichte eben weil sie wahre Geschichte ist, auch in stofflicher Hinsicht nicht allein aus diesem Schema verstanden werden kann." Viele Stoffe bewegten sich immer wiederkehrend in großen Zyklen, aber eben nicht alle. Immer wieder käme auch juveniles Magma in die Erdkruste (S. 95). Das wäre also wohl Magma, das seit den Zeiten der anzunehmenden glutflüssigen Erde glutflüssig geblieben wäre. Andere, s. W. NIEUWENKAMP, sahen das auch wieder anders, was eine über allem befindliche Irreversibilität nicht ausschloß.

Zusammenfassung: **Gleichheit und Unterschiedlichkeit der Gesteinsbildung in der Erdgeschichte**

A. G. WERNER, im 20. Jh. E. KAISER

Bestimmte Gesteine sind entwicklungs- und damit zeitgebunden

HUTTON, LYELL; im 20. Jh. W. SALOMON

Alle Gesteine konnten wenigstens prinzipiell zu jeder Periode der Erdgeschichte entstehen

Der **Aktualismus im engeren Sinne** fand augenscheinliche **Grenzen** in den Geschehnissen des erst im 20. Jh. näher bekanntgewordenen **Präkambrium**, in der **Evolution der Organismen** und in der **geochemischen Entwicklung** auf der Erde. Blicke für den Aktualismus vor allem die Ablehnung der Katastrophen?

Frage ist etwa, **inwieweit alles Heutige auch immer in der Vergangenheit** vorhanden war und **alles Vergangene unbedingt auch heute** vertreten wird, wenigstens irgendwo. Daß stets und immer die Vorgänge resp. Gesetze der Physik und Chemie galten ist unbedingt anzunehmen, also immer Wasser abwärts floß und Wasser wie Wind je nach Stärke Material hinwegtragen konnten. Manche Ereignisse in der Erdgeschichte mochten aber **nur selten** aufgetreten sein und mußten deshalb **nicht** unbedingt **auch** in den wenigen Jahrhunderten beobachtet werden, in denen bisher Geologen forschten. Es mußte als möglich gelten, daß in der fast ungeheuer lang erscheinenden Erdgeschichte manche Kombinationen von Faktoren, etwa im Verhältnis von Meeres- und Festlandsbecken oder in der Kombination von bestimmten Klimaverhältnissen vielleicht bisher einmalig sind. Nicht alles, was möglich und auch mit den Gesetzen der Physik und der Chemie vereinbar ist, muß jederzeit und eben auch nicht in der Gegenwart verwirklicht sein. Das zu ergänzen: Man könnte im Zeitalter der Raumfahrt auf die anderen Planeten und ihre Monde verweisen, wo es gewiß auch nach den Gesetzen der Physik und Chemie zugeht,

aber nicht die irdischen Kombinationen bestehen. Nach EGMONT KUMMEROW (1932), seit 1920 Mitarbeiter am Preußischen Geologischen Landesamt, entspräche die Überschätzung der aktualistischen Methode der einstigen Neigung in der Geologie, von einem kleinen Gebiet aus gewonnene Erkenntnisse über Gebühr zu verallgemeinern. Es wäre nicht einzusehen (S. 563), "weshalb z. B. alle Faktoren der äußeren und inneren Dynamik entweder dauernd tätig gewesen oder doch in den letzten 1 - 2 Jahrhunderten wenigstens einmal deutlich in Erscheinung getreten sein sollten." Es könne doch Vorgänge geben, die zwar so selten wie Regengüsse in der Wüste sind, aber dennoch große geologische Wirkung ausüben. Außerdem wären gerade die gegenwärtigen Klimaverhältnisse auf der Erde nicht unbedingt als die normalen anzusehen, da sich die Erde wohl immer noch in einer Nacheiszeit befindet. Dann, so meinte F. KERNER-MARILAUN (1934, S. 56), wären "die Verhältnisse von heute noch irdische Ausnahmestände", könnten wir, wie wiederum KUMMEROW (1932) meinte, an die Verhältnisse der Vergangenheit gar nicht die richtigen Maßstäbe anlegen, wird unser Blick in die Vergangenheit durch die Abnormität des heutigen Klimas getrübt (F. KERNER-MARILAUN 1934, S. 56). HANS CLOOS (s. 1959, S. 38) bezweifelte, ob die Geologen die auf die eiszeitlichen Vergletscherungen in Norddeutschland und Nordeuropa zurückzuführenden Landschaftsformen jemals als Gletscherhinterlassenschaft gedeutet hätten, wenn es nicht gegenwärtige Gletscher und von ihnen geprägte Landschaften auf der Erde gäbe und fragte: "Hätte irgendein Menschenhirn solche Bedingungen ersinnen können?" KUMMEROW fand es bedenklich, daß die Barrentheorie von OCHSENIUS weniger wegen ihres 'inneren Wertes', also ihrer Folgerichtigkeit anerkannt wird, als wegen der Existenz wenigstens eines "aktuellen" gegenwärtigen Beispiels, der Kara-Bugas-Bucht am östlichen Kaspischen Meer. Aber die OCHSENIUSsche Barrentheorie bliebe auch dann aner kennenswert, wenn es zu irgendeiner Zeit auf der Erde einmal nirgendwo eine "Barre" gäbe. In besonderem Maße war dann die Berechtigung der aktualistischen Auffassung für die Gebirgsbildungen skeptisch zu sehen, die wie bei DE BEAUMONT auch bei SÜß und STILLE diskontinuierlich galten, aber etwa bei STILLE als noch in den Rahmen des Aktualismus einzubetten galten.

Auf die Erstmaligkeit der Beobachtung einer solchen Erscheinung wie der Felsnadel auf dem **Mont Pelé**, die Lavaaustritt verhindern konnte und deshalb mit an der Seite ausbrechenden heißen Gasen die Menschen in der Stadt St. Pierre in minutenschnelle tötete, eine Erscheinung, "wie sie bis dahin kein Mensch für möglich gehalten hätte", verwies mit Blick auf die Aktualismus-Debatte K. ANDRÉÉ (1930, S. 19). Aber von der 1.128 Quadratkilometer umfassenden Insel Martinique waren nur etwas mehr als 1/20 des Inselareals betroffen (G. WEGENER 1904, S. 67), also lag keineswegs eine weit um sich greifende 'Katastrophe' vor.

Waren manche Zustände der Vergangenheit in der Gegenwart gar nicht aufzufinden, so war bei anderen ein vielleicht sogar großer **Unterschied in der Intensität** zu erwarten. Die Entstehung des **Kupferschiefers** wurde etwa von J. F. POMPECKJ (1920) auf Verhältnisse zurückgeführt, wie sie gegenwärtig in der Tiefe des Schwarzen Meeres mit dem dortigen Vorkommen von Schwefelwasserstoff bestehen. Es wurde aber auch angezweifelt, ob der Vergleich ausreichend ist, da die Metallanhäufung im rezenten Schwarzen Meere weniger stark erscheint. W. SALOMON gab zu Bedenken (1926), daß die Speicherung bestimmter Elemente, von Kupfer, Vanadium oder Baryum in bestimmten Tiergruppen, eine Anhäufung solcher Elemente in Abhängigkeit von der Evolution dieser Tiergruppen stehen kann. Als rezent Analogbeispiel für die Entstehung der riesigen **Salzlager** vor allem im Zechstein wurde auf die Salzabscheidung in der Kara-Bugas-Bucht an der Ostküste des Kaspischen Meeres verwiesen. Aber die heutige Salzabscheidung am Kaspischen Meer wirkte doch etwas schwach gegenüber jener, die augenscheinlich in der Vergangenheit stattfand. GERHARD RICHTER-BERNBURG meinte 1955 jedenfalls, daß die geologische Voraussetzung für die Sedimentation mächtiger Salzgesteine heute wohl nirgends mehr auf der Welt verwirklicht ist. Ein jedes Gestein konnte sich eben doch nicht zu jedem Zeitpunkt der Erdgeschichte gebildet haben.

Waren manche durchaus vorhandenen Vorgänge der **Gegenwart nicht bekannt**, nicht untersucht, dann konnten sie auch in der Vergangenheit nicht gesehen werden. Bis weit hinein in das 20. Jh. waren auch die Vorgänge auf dem Meeresgrund weitgehend unbekannt geblieben, und K. HUMMEL (1922) lenkte den Blick auf die dort anzunehmende '**Halmyrolyse**', die der Verwitterung auf dem Festland vergleichbaren untermeerischen chemischen Umsetzungen, Dinge, die etwa LYELL und andere Geologen der aktualistischen Richtung noch gar nicht betrachtet hatten, noch gar nicht in ihre Betrachtungen einbeziehen konnten. Sie mußten also seinerzeit vor Vorzeitererscheinungen dieser Entstehung kapitulieren, wenn sie nicht andere Deutungen gegeben hatten. Die Halmyrolyse sollte zur Bildung jener **eisenreichen Sedimente** geführt haben, die in manchen alten Meeressedimenten auftreten und deren Bildung aus rezenten Vorgängen nicht erklärbar schien. Während die Bildung von Glaukonit mehr oder weniger nachgeahmt werden konnte, ließ sich eine rezente Bildung der Eisenoolithe nicht verfolgen und man blieb auf Analogieschlüsse angewiesen. Mit einer einst größeren Sauerstoffarmut des Wassers war zu rechnen und in dieser Bedingung konnte ein Faktor für die Erklärung der Eisenoolithentstehung liegen (K. HUMMEL 1922), die sich aber eben nicht leicht nachahmen ließ.

SALOMON-CALVI betonte nochmals die sicherlich nicht ganz unbekannte Tatsache, daß sich **in einer** bestimmten **heutigen Landschaft** die derzeitigen Verhältnisse

oft **nicht aus der Gegenwart rekonstruieren** lassen, da sie in ihrer Vergangenheit entscheidend durch andere Faktoren geformt worden sein kann. Dann muß der Zustand einer Landschaft von den Vorgängen einer anderen heutigen Region her erklärt werden, die den früheren Verhältnissen einer Landschaft ähnlich ist. Weite Teile Mitteleuropas waren noch vor wenigen Jahrtausenden vergletschert gewesen und haben unter dem Klima der Eiszeit und der Nacheiszeit viel von ihren heute die Landschaft bestimmenden Formen erhalten und von Gletschergebieten aus muß die mitteleuropäische Landschaft gedeutet werden. Viele Landschaftsformen in den ehemals vergletscherten Gebieten sind also nach SALOMONs Terminus (1918, S. 4) "**fossile**" **Formen**, die Landschaften" nach seiner Ausdrucksweise "tote Landschaften". So fand er wunderschöne "tote Täler", heute ganz ohne oder mit zwerghaften Bächen, in Franken, so bei Würzburg. Diese Täler wurden also unter anderen als den gegenwärtigen Klimabedingungen, nämlich mit reichlicherer Wasserführung, ausgeformt. Die einstmals diese Bäche gestaltenden Verhältnisse bestehen gegenwärtig, aktuell, natürlich anderswo fort, fallen also in den Bereich aktualistisch anerkannter Mechanismen, aber sind eben in Franken nicht mehr gegeben. Im "Diluvium" gab es nach SALOMON (1924 a) grundsätzlich viel mehr Abtragung als in der Gegenwart.

Etwas über die Zustände in den Abtragungsgebieten: W. DEECKE

Die meisten Geologen, die 'Lebensbilder' entwarfen, schilderten diese aus Sedimentations-, aus Ablagerungs-Gebieten. Aber es wurde auch versucht, aus abgelagertem Material über die Zustände in seinem Herkunftsgebiet etwas zu erfahren. Aus den roten Sedimente des Ober-Carbon und des Rotliegenden, feinkörnige und konglomeratische las man heraus, wie hoch das Varistische Gebirge (s. d.) eventuell war, wie dort, ohne Vegetation, die Verwitterung ablief. RICHARD LANG (1911, S. 256) schloß aus den Sanden des Keuper in Süddeutschland, daß das die Trias und das Tethysmeer trennende Vindelizische Gebirge bei einer Kammhöhe von "ca. 550 m bis zur Kammhöhe eine Breite von bis "ca. 185 km" aufwies. Ein Wechsel des Sandsteins vom feinkörnigen zum grobkörnigen des Mittleren Keupers wurde mit einer Hebung des Vindelizischen Gebirges erklärt. WILHELM DEECKE versuchte mehr als andere vor ihm aus dem Ablagerungsmaterial auch Schlußfolgerungen über die **Verhältnissen im Abtragungsgebiet** zu erhalten. Wo im wesentlich nur abgetragen wurde, dort gab es kaum Ablagerungen. Es mußte versucht werden, die Verhältnisse im Herkunftsgebiet der Sedimente aus den von ihnen her anderswo abgelagerten Sedimenten zu erschließen.

Nicht daß der Blick in die Abtragungsgebiete ganz neu wäre. Man denke an die

Feststellung der Natur der Felsbrocken in den Konglomeraten der abgetragenen vergangenen Gebirge, etwa an die grobklastischen Sedimente des Rotliegenden als Abtragungsprodukte des Varistischen Gebirges. Oder denke an die vom offenbar nahen Festlande stammenden Fossilien der Urvögel und von Libellen in den Jura-Ablagerungen bei Solnhofen, an die von Festland stammenden Blätter der Crednerien in den unteren Schichten des Cenoman bei Niederschöna und anderen Zeugnisse für die noch an eine nahe Küste grenzende einsetzende Meeresüberflutung, aus welcher der Elbesandstein hervorging.

Den Abtragungsgebieten wandte DEECKE (S. VON BUBNOFF 1935, H. WEHR-
LI 1956) nunmehr seine besondere Aufmerksamkeit zu. DEECKE wurde geboren 1862 als Sohn eines Lübecker Gymnasialdirektors, der anschließend nach Straßburg verzog. DEECKE wurde Geologe namentlich unter E. BENECKE. Mit dem 1878 ao. und 1884 Ordinarius gewordenem EMIL WILHELM COHEN zog DEECKE 1885 nach Greifswald, wo COHEN; bekannt dann vor allem als Meteoritenforscher, 1885 o. Professor für Mineralogie und Geologie wurde und DEECKE die Geologische Abteilung übernahm. Namentlich ab 1892 erforschte und beschrieb DEECKE von hier aus die Geologie von Pommern (1907). In Greifswald wurde DEECKE 1893 außerordentlicher, 1905 ordentlicher Professor. Im Jahre 1906 wurde DEECKE Ordinarius in Freiburg i. Br. Der Geologe S. VON BUBNOFF (1935, S. 264) sah in DEECKE einen "der letzten Universalisten der Geologie", der auf Grund seiner Begabung und seines Wissens noch versuchen konnte "die auseinanderstrebenden Teile des wissenschaftlichen Gesamtorganismus noch zusammenzuhalten und gegenseitig zu durchdringen." Jedoch muß dem entgegengehalten werden, daß große zusammenfassende Betrachtungen später auch noch durch andere gebracht wurden. Sie konnten immer nur Versuche sein. DEECKE begann seine Überlegungen, aus den abgelagerten Sedimenten auch auf die Zustände im Abtragungsgebiet zu schließen bei seinen Studien im "südbaltischen Gebiete", also in Pommern, wo er "versuchte, ... die am Südrande des baltischen Schildes entwickelten Sedimente als sukzessiv entstandene Abtragungsprodukte des Skandinavischen Schildes zu erklären", was er auch als gelungen ansah. Die Herkunft der abgelagerten Massen wurde schon immer zu finden gesucht, aber nunmehr, bei DEECKE, ging es auch um weitere Erkenntnisse über die **Zustände im Herkunftsgebiet der im nördlichen Mitteleuropa abgelagerten Abtragungsprodukte**. Es sollte wenigstens deutlich werden, welche Gesteine dort bei der Abschürfung durch die Gletscher jeweils frei an der Oberfläche lagen.

Nach seiner Berufung nach Freiburg hat DEECKE die Überlegungen über die **Erschließung der Verhältnisse in Abtragungsgebieten** auf die west- und süddeutschen Sedimente übertragen, auch für diese also auf die Verhältnisse im Herkunftsgebiet des Material zu schließen. Die groben Arkosen bewiesen ihm leb-

hafte Erosion im Abtragungsgebiet, die gegen 200 m dicken gleichmäßigen roten Mergel Ausschwemmung des Schuttes. Ab Kulm, also Obercarbon, gab es als Ablagerung in Süddeutschland zunächst nur einheimisches Material. Ab dem als Flachwasser-Ablagerung betrachteten Buntsandstein kam gemäß DEECKE das Sedimentationsmaterial, eine "gewaltige Sandmasse", von weither, von Norden, entstammte dem abgetragenen umgelagerten Oldred zwischen Norwegen und England. Nachdem das Oldred abgetragen war, lag in dem nördlichen Abtragungsgebiet das kalkige Obersilur an der Oberfläche und das, gemischt mit Ton, lagerte sich in dem etwas tieferen Muschelkalk-Meer ab.

In Sedimenten auf deren Herkunft zu schließen und so nicht zugängliches Terrain zu erschließen wurde dann auch in anderem Zusammenhang angewandt. So fanden sich in der Oberlausitz in dem unterem Ordoviciun zu zuordnenden Quarziten, auf der Hohen Dubrau (307 m), Kieselschiefer-Gerölle, "die allerdings nicht anstehend bekannt" sind. Diese nur als Gerölle in einer späteren Schicht bekannten Gesteine, die also anstehend unbekannt sind, wurden von SCHWARZBACH 1936 (S. 33) als die womöglich ältesten Gesteine der Lausitz gesehen, wahrscheinlich dem wie es damals hieß, Algonkium, heute Proterozoikum, angehörend. Das als ein Beispiel für die manchmal umwegige Erschließung von geologischer Geschichte einer Region.

Aus angehäuften **Material auf das Klima des Herkunftsgebietes** zu schließen unternahm PHILIPPI, wenn er für starke Verwitterung im Ausgangsgebiet des Buntsandsteinmaterials auf ein dortiges "feuchtes und warmes Klima schließt" (zit. b. W. HEEGER 1915, S. 476).

Detail-Forschung für 'Lebensbilder' erdgeschichtlicher Vergangenheit - Einzelne Lebensräume in Detailbetrachtung - Versuche zur besseren Deutung der verschiedenen erdgeschichtlichen Landschaften, vor allem auch in Mitteleuropa

Neben den Ideen über die großen Zusammenhänge gibt es eingehende Erforschung zeitlich und räumlich begrenzter Lebensräume, und letzterem haben sich manche Geologen bevorzugt gewidmet. An der Wende vom 19. Jh. zum 20. Jh. wurde es ein häufiger angestrebtes Ziel der Geologen, Paläontologen und anderer Naturforscher, "**Lebensbilder**" der Vergangenheit zu entwerfen, dabei neben den ökologisch-biologischen sowie biogeographischen Zuständen der verschiedenen erdgeschichtlichen Perioden auch deren physikalische und chemische Gegebenheiten zu rekonstruieren. Daraus konnten die Lebensbilder auch populärer Schriften zur

Erdgeschichte und zu Dioramen in Museen entwickelt werden. Solche Versuche waren wie der Blick namentlich in populäre Literatur früherer Zeiten zeigt nicht neu. Auch SUESS hatte das getan.

J. T. WILSON verglich 1968 (S. 317) die Tätigkeit früherer Geologen mit dem Bemühen von Kindern, die sich für **einzelne Stücke eines Puzzle-Spiels** interessierten, aber zunächst nicht das gesamte Puzzle zusammensetzen konnten, aber es **zusammensetzen wollten**: "Earth scientists still seem to be in the stage of studying separate pieces. Each study is complex, beautiful, and satisfying in itself, but for real progress we need to assemble them." Daß beim Puzzle-Zusammensetzen erst einmal allerhand Fehler zustandekamen und auch probiert werden mußte, war das Los der Geologen. Sie mußten eben probierend lernen wie die ein Puzzle-Spiel zusammensetzenden Kinder. Mit neuen Daten gab es eben neue Puzzle-Stücke. Damit wurde das Bild immer umfassender. Gab es **Fossilien**, etwa von Landpflanzen, auch Wassertieren, dann war oft ein **mehr sicherer Rahmen** gegeben als nur aus rein geologischen Dingen zu erschließen war.

So wie einige im folgenden aufgeführten Beispiele das zeigen.

Die Germanische Trias im Wandel der Meinungen

Eine zusammenfassende Darstellung der erdgeschichtlichen Entwicklung in einem begrenzten Raum und einer begrenzten Periode versuchten etliche Geologen und das bis in neueste Zeit mit der **Trias in Mitteleuropa**.

EBERHARD FRAAS versuchte sich 1899 mit seinem aus den verschiedenen Zeugnissen entwickelten Bild von der "**germanischen Trias**". Wie er wußte, lag hier ein Depressionsgebiet vor, in dem sich besondere, im gesamtirdischen Maßstab eher "anormale" Zustände abspielten. Irgendwie blieben besondere Zustände im mitteleuropäischen Raum sogar erhalten, denn das **Wattenmeer** an der deutschen Nordsee-Küste sucht in diesem Ausmaß seinesgleichen auf der Erde. Das Buntsandsteingebiet, so hatte sich erwiesen, war in Mitteleuropa offensichtlich einheitlich, war im Süden auf paläozoische Gesteine aufgelagert und verschob sich im mittleren und oberen Buntsandstein weiter in südlicher Richtung. Aber anders war die Trias im Alpenraum, was auf eine Mitteleuropa von der Tethys trennende Landschwelle, die "Vindelicische" genannt, zurückgeführt wurde.

Die **Entstehungsbedingungen für den Buntsandstein** als der untere Teil der "germanischen Trias", wozu J. WALTHER entscheidende Beiträge im Zusammenhang mit seiner Wüstenforschung (s. ob.) geliefert hatte, sind immer wieder **unterschiedlich gedeutet** worden und führen vor Augen, wie **schwierig in etlichen Fällen die Feststellung der Bildungsbedingungen** ist. WALTHERs Annahme vom **Buntsandstein als Wüstenbildung** erschien vielen eher als Her-

ausforderung und es gab weitere Debatten. Das schon beschriebene Zusammenauftreten von Rippelmarken und Wellenfurchen, von Schlamm-trockenrissen und auch von Regentropfen, von Fuß-eindrücken von Sauriern, also "Chirotherien", und in etlichen Schichten auch von Meeresmuscheln, *Gervillia*, ließen immer wieder Debatten aufkommen. Kreuzschichtung wies auf Dünen und wahrscheinlich spielte Wind bei der Formung der Buntsandsteinlandschaft eine Rolle. Von E. ZIMMERMANN aus der Gegend von Saalfeld demonstrierte Gerölle mit Windschliffkanten schienen das zu beweisen. M. BLANCKENHORN zog die Beweiskraft mancher der angeblichen Wüstenzeugnisse wieder in Zweifel (1907)- Windschliffe wären nicht auf Wüsten beschränkt. Wie der Nubische Sandstein, der sich bei der großen langsamen Transgression des oberen Kreidemeeres vom Cenoman bis zum Oberen über einen ausgedehnten Kontinent bildete, wäre auch der Buntsandstein **Meeresablagerung**. Die Muscheln der Gattung *Gervillia* wären doch viel weiter verbreitet als bei ihren ersten Funden angenommen wurde, als man sie auf einen kleinen Wüstenbinnensee begrenzt glaubte. W. HEEGER kam 1915 (S. 454) über den **Unteren (su) und Mittleren Buntsandstein (sm)** im **"östlichen Thüringen"** zu dem Ergebnis: "Wie fast immer bei feinklastischen Gesteinen, so gestatten auch im ostthüringische Buntsandstein die Gemengteile keinen bestimmten Schluß auf die Heimat des Materials. Die geringe Mächtigkeit weist freilich ganz allgemein vor allem auf aufgearbeitete granitische Gesteine hin." Herkunft des Materials im Unteren und Mittleren Buntsandsteins Ost-Thüringens aus südlich und östlich vorhanden gewesenen 'Gebirgsstöcken'. Der mögliche **Transport durch Wind** sollte "nicht unwahrscheinlich" sein, weil "das klastische Material meistens wenig abgerollt ist und vor allem die Konturen der Feldspatkörner vorzüglich erhalten geblieben sind; eine mechanisch stark angreifende Transportart scheint daher ausgeschlossen. Dies und zugleich der reichlich vorhandene Feldspat und endlich die weite Verstreung so feinkörniger Massen ..." Die gute Erhaltung verweist dann auf Einwehung des durch den Wind herbeigetragenen Materials "in Wasseransammlungen", die es vor weiterer Zerstörung durch den Wind bewahrten, also "Wasserüberschwemmungen sehr häufig bei der Bildung" der Buntsandsteinablagerungen "stattgefunden haben müssen." Im ergänzenden Unterschied zu WALTHER sah HEEGER (1915, S. 456) "die überall auftretende Diagonal- oder Kreuzschichtung" als "höchst unregelmäßig und verwirrt, so daß man keineswegs die für äolisch hervorgerufene Diagonalschichtungen nach J. WALTHER charakteristischen Böschungen erkennen kann." HEEGER hielt es "für begründet, sich die Landschaft als mit zahlreichen weit ausgedehnten Wasseransammlungen oder Salzpfannen bedeckt vorzustellen." (S. 457). Sind es Teile des heutigen Zentralasien, die da eine rezente Vorstellung liefern können? Es gibt in Ost-Thüringen wie anderswo, "z. B. in Süddeutschland oder östlich der rheinischen Masse" auch konglomeratische Einlagerungen, die auf andere Fazies verweisen. Zu Beginn des

Röt gab es eine Meeresüberflutung (S. 475). W. DEECKE (1920) betrachtete den Buntsandstein als **Flachwassersediment** und gab als Zeugnisse dafür die schon beachteten Trockenrisse, Wellenfurchen, Tongallen, Kriech- und Fließspuren und die offenbar am Rande lebenden Amphibien und die xerophytische Flora an.

Und wie stand es, um einen naheliegenden Vergleichsfall anzuführen, mit dem **devonischen Old Red Sandstone** in England? Etliche britische Geologen, auch ARCHIBALD GEIKIE (1892; J. H. 1926), sahen in ihm ebenfalls einen "**lacustrine origin**", große Inlandseen auf einem auch noch von Vulkanausscheidungen, ja Schichtenschrägstellungen geprägten und nach dem Ende des Silur-Meeres. und der folgenden kaledonischen Gebirgsbildung in erneuter Erniedrigung befindlichem Festland

Ein regelrechtes Lebensbild eines kleinen Ausschnittes aus dem Geschehen im deutschen Buntsandstein gab WOLFGANG SOERGEL (1928). Seit 1925, durch eigene Grabung 1926, erhielt SOERGEL Platten aus dem **Chirotherium-Sandstein**, aus dem oberen Buntsandstein, mit zahlreichen fossilen kleinen, als erhabene Knötchen erhaltene Krebschen. Nach SOERGEL mußte es sich um einen **Tümpelboden** handeln. Den Tümpel hatte Flugsand bedeckt. Daß keine Trockenrisse vorliegen, führte SOERGEL auf eine "gewisse Plastizität des Tümpelbodens bis zum Augenblick der Sandüberdeckung" (S. 13) zurück. Häufig war *Estheria*, hufeisenförmige Reliefs hatte ein Euphyllopode hinterlassen, Kriechspuren wurden auf Würmer zurückgeführt. Die große Zahl der Krebschen wurde damit erklärt, daß sich der Tümpel in Austrocknung befand und sich die Tierchen in das Restwasser zurückzogen. Salzausscheidungen fanden sich aber nicht. In heutigen Inlandwüsten "gäbe es aber Süßwassertümpel, die bis in die letzten Phasen der Abtrocknung nicht versalzen, höchstens in der äußeren Randzone" (S. 35). Auch aus den Entwicklungsstadien der Krebschen wurde geschlossen, daß dieser Süßwassertümpel "zur Zeit der Bildung der oberen Schichten des Thüringischen Chirotheriensandsteins mitten im deutschen Buntsandsteingebiet unter Temperatur und Luftfeuchtigkeitsverhältnissen, die denen des gemäßigten Klimas am nächsten kamen ... mindestens 3 Wochen, sehr wahrscheinlich aber länger bestanden hat."

Der Chirotheriensandstein wurde nach SOERGELs Schlußfolgerung daher nicht unter extrem ariden Klima gebildet. Während der Ablagerung des Chirotheriensandsteins wäre ein Klimaumschwung in Richtung auf größere Feuchtigkeit eingetreten, was mit der vorschreitenden Röt-Transgression zusammenhing. Der analysierte Tümpel lag als in einer Zeit recht allmählicher Klimaumbildung, verglichen mit dem anderer Buntsandsteinbildungen. Das als ein Beispiel, wie man in relativ feinen Analysen dem Geschehen ferner Vergangenheit nachkommen wollte.

Zu einer Überflutung kam es mit dem Vordringen des **Muschelkalkmeeres**. Das

Meeresbecken des Muschelkalks nahm jedoch nicht das ganze Gebiet ein, in welchem sich Buntsandstein-Material ablagerte, war also begrenzter als das Buntsandstein-Territorium. Nach Frankreich und England greift der Muschelkalk nicht hinaus. Der **Untere Muschelkalk**, der '**Wellenkalk**', bietet in seiner weiten Ausdehnung überall das Bild von Küstenfazies, mit Fossiltrümmerbänken, Konglomeratbänken, Oolithen, Schrägschichten, Rippelmarken, Pseudomorphosen, Trockenrissen und es erschien etwa MARTIN WILFAHRT (1938) wie auch zumindestens angedeutet bei anderen, wie VON FREYBERG, wie sich hier Küstenlinie immer wieder verschoben hat und analoge Schichtung zuwegebrachte. Es fehlt auch die Anordnung der genannten Erscheinungen um Inseln, als Inselkränze (S. 282). WILFAHRT schlußfolgerte auf heutige Phänomene übertreffende "**Großgezeiten**", die in kurzen Zeiten den gesamten Bereich des Unteren Muschelkalks erfaßt haben, fielen dann also aus dem Bereich der aktualistischen Auffassungen heraus, was um 1938 nicht so unfaßbar erschien.

Auffällig im **Oberen Muschelkalk** ist die mancherorts dichte Bedeckung des Meersbodens mit einem 'Wald' von Seelilien, von Crinoiden. Unter den Cephalopoden, den Ammoniten, nahm im oberen Muschelkalk die Ammoniten-Gattung ***Ceratites*** eine beherrschende Stellung ein.

GEORG WAGNER suchte (1913) die Bildungsgeschichte des Oberen Hauptmuschelkalks und der Unteren Lettenkohle in Franken, ja darüberhinaus des Muschelkalkmeeres und dessen Grenzen in Mitteleuropa überhaupt zu ermitteln. Die Sedimente sind "hemipelagisch", also landnah, Dolomit und Oololith, häufig, gelten ebenfalls als Flachmeersedimente. Die Sedimente wurden ihrer Herkunft nach auf den Südosten zurückgeführt. Das Muschelkalkmeer soll in der Größe der heutigen Ostsee geglichen haben, wich, und zwar jährlich 1 bis 2 m, zurück, nach Nordwesten, aber auf den meerentblößten Boden kehrte das Meer der unteren Lettenkohle zurück, es war also für Mitteleuropa ein Zeitalter zahlreicher Oszillationen zwischen Land und Meer.

Der **Keuper** in Mitteleuropa erstreckte sich wieder weit über den Raum des Muschelkalkes hinaus. Im **obersten Keuper, dem Rhät**, dringen Tiere aus dem offenen Ozean ein. Es folgt die Transgression des Jura von Südwesten gegen Osten. Die gesamte küstenbewohnende Tierwelt des germanischen Keupers wird, wie es E. FRAAS (1899) schilderte, durch den Einbruch des Jurameeres bis auf das letzte Stück vernichtet. In einem kleinen Gebiet fand hier also so etwas wie eine "Katastrophe" statt.

Die Kreidezeit im Mitteleuropa

Für die **Kreide in Norddeutschland**, für die mit **Feuersteinen** auf Rügen und die ohne Feuersteine um Warnemünde, suchte, nach den Untersuchungen von DE-ECKE, nach 1920 HANS KLÄHN (1925), Rostock, ein weiteres Entstehungsbild zu entwerfen. Der feine Kalk der Kreide müßte sich seiner Ansicht nach in einem ruhigen Golf unter tropischem bis subtropischen Klima abgesetzt haben. Der Sauerstoff-Gehalt am Grund muß aber dennoch nicht gering gewesen sein, denn es gab dort zahlreiche benthonisch lebende Tiere, so die Grypheen. Angesichts der zahlreichen Tieren muß andererseits der CO₂-Gehalt so hoch gewesen sein, daß der Kalk nur unter dem Einfluß von Mikroorganismen abgesetzt werden konnte, in nicht zu großer Tiefe, denn *Bacterium calcis* sollte in Tiefen weniger als 183 m am besten gedeihen. Bei einer Tiefe von über 300 m hätte eine mindestens teilweise Auflösung der niederrieselnden Kalkteilchen stattfinden müssen und hätte auch das dann unter dem höheren Druck reichlicher gelöste CO₂ den Kalk wieder aufgelöst. Damit schied KLÄHN die Kreide als Tiefsee-Ablagerung aus. Wichtige Frage war: Woher kam die in Wasser so gering lösliche Kieselsäure für die Feuersteine, den **Flint**? Angenommen wurde, daß die Flüsse von dem nördlich von dem Kreidemeer wohl als Festland vorhandenen Fennoskandia die Kieselsäure in die Bucht brachten, und zwar immerhin in solcher Konzentration, daß die Kieselsäure ausflockte und so die Feuersteine und Bänder aus Feuerstein-Material hervorbrachte. Vor allem niedrige, sich dem Zustand der Fastebene nähernde Festländer sollten Kieselsäure liefern und war damit Skandinavien als niedriges Festland wahrscheinlich gemacht. Unter den heutigen Bedingungen, auch klimatisch, wäre der Kieselsäure-Gehalt der skandinavischen Flüsse zu gering. Es gediehen zuerst die ihre Panzer aus Kieselsäure aufbauenden Organismen, die Radiolarien und Kieselalgen/Diatomeen, die dann bei einer Überkonzentration der Kieselsäure eingingen. Die Kreide ist rings um die Feuerstein-Knollen nie zusammengepreßt oder gestaucht, und das spricht für die gleichzeitige Entstehung von Kreide und den dann die Kreide nicht nachträglich beeinflussenden Feuerstein-Knollen. Daß sich bei Warnemünde in Mecklenburg keine Feuersteine in der Kreide finden, mochte an dort zu starker Strömung liegen oder an der größeren Landferne des dortigen Kreidemeeres, weil die Ausscheidung der Kieselsäure im Mündungsbereich von Flüssen anzusiedeln ist.

18. Zusammenschau, Zusammenhänge - bis etwa 1950

Große Zusammenhänge und Details

Was auch früher schon versucht wurde, etwa durch die Zurückführung aller Vorgänge auf die Sintflut, wurde auf der Grundlage der zahlreichen neuen Erkenntnisse erneut unternommen: Ein **Gesamtbild** der Umbildungen auf der Erdoberfläche zu entwerfen. Aber andererseits gab es auch Studien sehr detaillierter Art, über **einzelne Ausschnitte** aus der Erdgeschichte in einem begrenzten Gebiet, ja begrenzt bis auf einen Tümpel in einer bestimmten dünnen Schicht im Buntsandstein.

Grundlegende Abläufe in der Erdgeschichte – Zusammenhänge im erdgeschichtlichen Geschehen – betrachtet nach etwa 1860

Zusammenhangsdenken als immer neue Herausforderung

Die Zusammenhänge, die Wechselwirkungen in der Erdgeschichte aufzuklären faszinierte manche Forscher immer wieder. Auch wenn immer wieder **offen** blieb, **ob** man **alle Faktoren berücksichtigt** hatte. Bei der Vielheit in Frage kommender Faktoren war wie bei der Erörterung der Ursachen der Eiszeit auch für die früheren Geschehnisse eine Vielheit komplexer Ansätze möglich. Zu den Zusammenhängen zwischen der Bildung der Erde und dem Kosmos, den bleibenden kosmischen Zusammenhängen. Bei der Erörterung von Zusammenhängen wurden teilweise nur **anorganische Faktoren** berücksichtigt, dann aber auch die **Organismenwelt** als passiver oder aktiver Faktor einbezogen, jedenfalls nachdem Leben auf der Erde vorhanden war.

Einen Zusammenhang, etwa Gemeinsames im erdgeschichtlichen zu finden, war schon ein älteres Bestreben, auch wenn manchmal behauptet wurde, etwa um 1900 bei FRECH, das dies erst eine neue Angelegenheit sei. Einst wurde alles mit der Sintflut verbunden. BUFFON betrachtete, reichlich deduktiv, die Erdkrusten-Entwicklung als Ergebnis der Abkühlung, sah also die Erdkrustenentwicklung im Zusammenhang mit einem grundlegenden Prozeß. Bei HUTTON gab es den Zusammenhang zwischen Verwitterung, Materialanhäufung am Meeresgrund und der dortigen Hitze mit der damit verbundenen Heraushebung des Meeresboden samt

den durch Schmelzprodukte hinzugekommenen Materialien. Zusammenhang gab es bei ELIE DE BEAUMONT wiederum zwischen Erdabkühlung und Gebirgsbildung. Grundsätzliche Fragen berührte immer wieder LYELL.

Mit immer neuen Kenntnissen über Ereignisse in der Erdgeschichte wurden immer wieder neue Versuche unternommen, die verschiedensten Faktoren in einem Gesamtbild zu verknüpfen. Es **fehlte** oft über vieles in der erdgeschichtlichen Vergangenheit an exakten **Daten**, die zur Beurteilung nötig gewesen wären. Nur höchst indirekt, etwa über das Pflanzenwachstum, konnte versucht werden, Kohlendioxid- oder Sauerstoff-Gehalt bestimmter ferner Perioden abzuschätzen. Es ist auch kaum möglich abzuschätzen, was an Faunen- und Floren-Veränderungen am Ende der Kreidezeit wirklich auf einen Meteor-Einfall zurückgeführt werden kann? Trotz des fast bestehenden Zwanges zur Annahme dieser Meteoriten-Hypothese zu den Veränderungen der Lebewelt am Ende der Kreidezeit im angelsächsischen Sprachraum, könne, etwa gemäß F. STRAUCH (2004), von einer eindeutigen Beweislage nicht gesprochen werden. Hat der Meteorit allein all das zuwege gebracht, was man ihm anlastete?

Meer und Festland und Gebirge - viele Teil der Erdoberfläche durchlebten Wechsel - Mit der wachsenden geologischen Erforschung der Erde kamen erdweite Betrachtungen.

Wechselnde Meeresausbreitung - Transgressionen und Regressionen

Heutige Festlandsgebiete waren nach ihren Sedimenten beurteilt einst eindeutige Meeresgebiete. Das galt etwa für das heutige Thüringen mit dem Muschelkalkmeer, für Franken mit dem Jurameer, für Elbtalgebiete mit dem Kreidemeer, gilt für die Alpen mit den mesozoischen Meeren, und das ließ sich nach anderen Regionen fortsetzen. Manche Gebiete blieben immer Festland oder waren es für lange Zeiträume. Für die Meere, die Sedimentschichten hinterließen, war deren Ausbreitung über möglichst die ganze Erdoberfläche zu verfolgen. **Meeresausbreitung in den verschiedenen Zeitaltern** wurde miteinander verglichen. In der Erdgeschichte erschienen jedenfalls Perioden mit sehr weiter **Meeresausbreitung** und solche **mit mehr festländischem Gepräge** und weniger Meeresfläche auf der Erdoberfläche. Gesprochen wurde von **"thalattokraten" Transgressionen** und **"geokraten" Regressionen** (s. E. C. KRAUS 1965 , S. 135). Es gab also nicht nur mehr oder weniger gleichmäßige Neuverteilungen von Meer und Fest-

land, sondern Perioden wechselnder Vorherrschaft. Zunächst ließ sich das nur in begrenzten Regionen feststellen. In **heutigen Landkomplexen der heutigen Alten und Neuen Welt** herrschte, wie etwa E. v. MOJSISOVICS 1879 eingehender beschrieb, im Kambrium, Silur und **noch im Devon Meer**, herrschten "pelagische Bedingungen". Im Devon wurde der Einfluß naher Küstenlinien deutlich. Im Carbon gab es dem Meer nahe Festlandspartien. Schließlich gab es auch die Varistische Gebirgsbildung. Perm und Trias waren insgesamt Kontinentalperioden. In der Kreide folgte eine weite neue Überflutung. In der Oberkreide bestand ein erdweites Maximum der Meeresausdehnung. Im Tertiär trat wieder mehr Land hervor. E. v. MOJSISOVICS meinte 1879 (S. 9): "Diese der Hauptsache ganz parallel schreitende Entwicklung der beiden grossen Festlandsmassen der Nord-Hemisphäre ist einer der merkwürdigsten geologischen Charakterzüge, welcher aber seltsamerweise bisher ganz übersehen worden zu sein scheint." EDUARD SUESS verwies in seinem "Antlitz der Erde" (1888) auf erdgeschichtliche Zeiten, in denen in sehr **vielen Territorien** der Erde, ja weltweit, **Transgressionen** des Meeres erfolgt sein müssen. Als vielleicht weltweit größte Meerestransgression wurde einmal die Überflutung im oberen Jura, im Malm, angesprochen (E. KAYSER 1902). Eine erdweite Meerestransgression gab es nach den umfangreichen Recherchen von SUESS im **Cenoman** (E. SUESS 1888), also in der mittleren Kreide. Dieses Cenoman-Meer breitete sich in den verschiedensten Regionen der Erde auch auf Gebiete aus, die in vorangegangenen Perioden augenscheinlich länger nicht überflutet gewesen waren, wie dem Sächsisch-Böhmischen Sandsteingebiet.

Um ein gut erforschtes Gebiet herauszugreifen: **Mitteleuropa**, so wurde mit der Erforschung der Sedimentgesteine deutlich, war **im Altpaläozoikum Meer**, dann entstand im Carbon das '**Variscische Gebirge**', seine Abtragungsprodukte mit teilweise Konglomeraten und groben Geröllen füllten die Senken und über das abgetragene Land, an dessen Oberfläche sich infolge der Bildung von Sätteln und Mulden Gesteine aus unterschiedlichen vorangegangenen Zeitaltern nebeneinander befanden, rauschte **im Zechstein wieder ein Meer**. Das **Zechsteinmeer** kam von Nordosten, wie die Ablagerungen anzeigen. In ihm entstanden viele Salzlager. Es war offenbar ein Randmeer. In abgetrennten Meeresteilen verdunstete das Meerwasser und hinterließ das Salz. In vielen Teilen Mitteleuropas kam es dann zur Ablagerung der Sedimente der mesozoischen Formationen Trias, Jura, Kreide. Deren Ablagerungen treten nicht überall vollständig auf. Glieder können fehlen. Mitteleuropa war eine Region, oft augenscheinlich recht flach, in dem immer wieder das Meer eindrang, vielfach wohl von Nordwesten. Die "Nordsee" war also einmal großflächiger, einmal kleiner. Und immer wieder gab es das in seiner Art in südöstlicher Fortsetzung das erdweit in dieser Gestalt wohl einmalige **Wattenmeer**, von den Niederlanden über die Ostfriesischen Inseln und bis Dänemark, eine so nirgends auf der Erde vergleichbare Landschaft. Mit immer wieder Ab-



Abbildung 596: Kreidesandstein auf Syenit.

senkung, der Aufnahme gewaltiger Abtragungsmassen, und von dem in Helgoland über das heutige Meeresniveau herausragenden, wohl durch Salztektonik herausgehobenen Buntsandstein allein gibt es über 1000 m Sediment. Teile von **Sachsen** und Böhmen überflutete in der oberen Kreidezeit das **Cenoman-Meer**, das die mächtigen Sandstein-Ablagerungen auch des folgenden Turon hinterließ. Diese Meereshinterlassenschaft liegt auf einem Untergrund aus Tiefengesteinen der Varistischen Orogenese. Das bedeutete eine gewaltige Abtragung vor dem Kreidemeer, und unbekannt ist, was vielleicht neben etwas Jura vor dem Sandstein-Kreidemeer alles noch gelegen hat. Die Diskordanz zwischen dem Grundgebirge und dem Sandstein des Meeres der Kreidezeit besteht ein gewaltiger Zeit-leerraum. Immerhin gibt es eben ein winziges Jura-Vorkommen bei Hohnstein im Elbsandsteingebirge. Wie weit reichte dieser Jura? Im Dresden-Plauen liegen in großen Steinbrüchen Kreidezeit-Sedimente auf dem im Steinbruchbetrieb abgebauten Syenit, näher am Erzgebirge liegt Sandstein auf Gneis (H.-D. BEEGER et al. 1965, S. 208).

Am Schluß der Kreidezeit gab es für weite Teile Mitteleuropas Hebung. Es war eine für die Geologen in **Sachsen** bemerkenswerte Entdeckung, als C. F. NAUMANN 1852 in einem gedruckten Brief an VON BUCH berichtete, daß er am Grunde einer 1851 wegen der Suche nach artesischem Wasser in der Stadt Leipzig niedergebrachten Tiefbohrung mehrere Exemplare von Meeresmuscheln, marinen "Conchylien", so der *Pectunculus polyodonta*, fand, die der "mittleren Tertiärformation" einzuordnen waren (1852; K. PIETZSCH 1962, S. 442). Meer also noch einmal im Oligozän bis Nordwest-Sachsen, wohl von Nordwesten, und H. CREDNER erforschte das **Oligozän-Meer** zwischen den Braunkohlenlagen weiter. Selbst Reste einer Meersschildkröte, zu *Chelyopsis* gestellt, wurden im Tagebau Böhlen gefunden und Zähne, Kieferreste sowie Rippen einer Meers"kuh", einer Sirene, *Halitherium*. Im Herbst 2005 wurde vom Tagebau Zwenkau der Fund von 2 Seekühen gemeldet,



Abbildung 597: Halitherium. Geol. Inst. Leipzig.

einer großen Seekuh und das fast vollständige Skelett eines kleineren Jungtieres (F. BACH et al. 2009, S. 34). Häufig sind Hai-Zähne.

Dann zieht sich das Mitteloligozän-Meer zurück. Um Dessau, Bittelfeld, Leipzig erscheinen die Braunkohlenwälder der jüngeren "Braunkohlenformation". Sie wurden in das Oberoligozän gestellt. Wie weit waren die Mittelgebirgsschollen vom Oligozän-Meer als Inseln umflossen?

Erklärungsversuche und auch Erklärungsnot für Meeresausbreitung und Meeresrückzug, ob erdweit oder regional

Transgressionen und Regressionen verlangten vor allem wenn sie riesige Gebiete betrafen **Erklärungen** und unterschiedlichste wurden hervorgebracht. Selbst Australien war vom Cenoman-Meer betroffen (H. WOPFNER 1997, S. 24).

Nötig wäre dabei etwa gewesen, die **Tiefe der Meere** festzustellen, und das war schwierig, wenn nicht eindeutige Flachmeerbildungen für ein Flachmeer sprachen. Gegenwärtige Lebewesen, die nunmehr nur in großen Meerestiefen existieren, konnten Vorfahren resp. Verwandte aufgewiesen haben, die nicht nur in der Tiefe existierten. Es ist nicht völlig eindeutig, von heutigen Organismen auf den Lebensraum der einstigen zu schließen. Rezente Tiefseeorganismen wurden sowieso erst am Ende des 19. Jh. emporgefischt. Ungeachtet aller Meeresausbreitung wurde vielfach angenommen, daß nur flaches Meer über vorherige Lande kommen konnte und unter ihm der Boden sich vielleicht senkte und dann mehr Material abgelagert werden konnte und so der Eindruck von einem tiefen Meer bestand. Nach anderer Ansicht sollten **die großen** und tiefen **Ozeanbecken** einmal mehr und ein

andermal weniger gefüllt **immer** bestanden haben (B. WILLIS 1910, S. 244, zusammengefaßt auch S. 259). Es gab stabile Ozean-Festland-Verhältnisse (S. 244), mit Beibehaltung auch der Meereströmungen (S. 245), und Meerestransgressionen waren dann eine Randerscheinung an Festländern und damit auch für die Meere. Mehr Aktualismus ist ja kaum möglich. Es gab nach WILLIS nie ein Absinken ganzer Kontinente. Stabilität sollte vor allem für den Pazifik gelten. Oder waren die Ozeanbecken manchmal so mit Abtragungsmaterial gefüllt, daß sie überliefen? WILLIS (1910) nahm an: "... for any submarine movement modifies the capacity of ocean basins and changes the position of sea level on all coasts. No other phenomenon is so nearly simultaneous." Am Rande von Kontinenten konnten aber tiefere Meeresteile entstehen, die zu Gebirgen führenden Geosynklinalen. Neue Gesichtspunkte brachte dann die Annahme von Kontinentaldrift. Die **Debatten brachen nie ab**.

SUESS ließ sogar die **Vermutung** zu, daß die **Gesamtwassermenge der Ozeane nicht in allen Zeitaltern gleich groß** war und bei mehr Wasser auf der Erde **thalassokratische**, also vom Meer beherrschte Perioden zustandekamen. Beispielsweise FRITZ FRECH (1905) wies die Annahme unterschiedlicher Wassermassen auf der Erde in den geologisch erfaßbaren Perioden aber zurück. SUESS (1888, S. 688) dachte an längere Perioden **nur** der Abtragung der Festländer und der Ablagerung von viel **Sedimenten in den Meeren**, damit "ein sehr langsames, aber unausgesetztes Auffüllen der oceanischen Gebiete ..., welches eine allgemeine Verdrängung der Meere aus ihren Tiefen hervorbringen muss, und zugleich wird die Transgression durch die fortschreitende Erniedrigung der Festländer erleichtert.

Die Bildung der Sedimente veranlasst ununterbrochene, eustatische, positive Bewegung der Strandlinie."

Überlegungen dazu brachte manche FRECH (s. u.). Mit E. C. KRAUS (1965, S. 135) bei der Meeresveränderung schließen "auf die exogenen Abbildungen enorm nachhaltiger, subkrustaler Massenverlagerungen", also Massenverschiebungen unter der Tiefe der Ozeane mit Oberflächenauswirkungen, der Oberfläche des Meeresbodens?

Meeresspiegel-Schwankungen von 100 - 150 m gab es auch im **Zusammenhang mit den Eiszeiten**, die **glazialeustatischen Schwankungen** (H. LOUIS 1979, S. 551), mit der Bindung von Wasser in den Gletschern und der Wiederauffüllung der Meere beim Abschmelzen der Gletscher. Und hier war die Erklärung wohl offensichtlich. Bei Niveauunterschieden von bis 150 m . da war schon einiges an Landfreilegung und folgender Landüberflutung denkbar und verlangte noch nicht einmal Auf- oder Abwärtsbewegung von Teilen der Erdkruste.

Annahme von getrennte Gebiete verbindenden Landbrücken durch tiergeographische Überlegungen

Paläontologische Befunde, Fossilien, verwiesen auf ehemaliges Getrenntsein von Festländern und spätere Verknüpfung. Südamerikas Tierwelt ist einesteils ausgezeichnet durch nur diesem Raum zukommende Arten, gerade auch unter den Säugetieren, und zwar unter rezenten wie nicht allzu alten fossilen. DARWIN unter anderem hat ausgestorbene Riesenformen der Faultiere und Gürteltiere ausgegraben und auch ihre offensichtlich kleineren Nachkommen sind für Südamerika endemisch. Andererseits gibt es in Südamerika "moderne" Arten, namentlich an Katzenartigen, so der Jaguar.

Die endemischen Faultiere und Gürteltiere hatten sich offensichtlich in Südamerika herausgebildet, als es vom Norden getrennt war, und auch getrennt worden war vom zerfallenden übrigen Gondwanaland. Dann muß sich aber eine Landbrücke zwischen dem nordwestlichen Südamerika und Zentralamerika gebildet haben. Tiere aus dem Norden, eben Katzenartige, wanderten von Norden nach Südamerika ein. Etwa der Jaguar mochte dann unter den älteren südamerikanischen Tieren, seinen Beutetieren, "aufräumen". Australien war viel eher von anderen Festländern getrennt und blieb es. Die dort lebenden Säugetiere auf dem Stadium der Beuteltiere haben sich nicht über den Bereich der Beuteltiere hinaus entwickelt, aber immerhin den höheren Säugetieren, den Plazenta-Tieren, vergleichbare Lebensformen ausgebildet. Der Wildhund Dingo kam recht spät nach Australien.

Einstige Gebirge erdweit betrachtet

Gebirge hatte man bisher im wesentlichen nur für begrenzte Regionen betrachtet. Der vertikale Aufbau, der Querschnitt der Gebirge, interessierte im wesentlichen, weil im Querschnitt etwa die Diskordanzen und damit die Gebirgsgeschichte deutlich wurden.

Unter Betrachtung der Linien der Gebirge etwa in Europa verwiesen VON BUCH und andere auf **bestimmte Streichrichtungen der Mittelgebirge** in Mitteleuropa. Dann vor allem durch E. SUESS und danach ebenso durch FRANK BURSLEY TAYLOR (1910) in den USA wurde der **horizontale Verlauf der Gebirgszüge von Kontinent zu Kontinent** und unter Einbeziehung der Inselbögen betrachtet. Es gelang etwa für die tertiäre Gebirgsbildung wie auch teilweise für die längst abgetragenen früheren Gebirgszüge die Beziehungen zueinander und zu den vorher vorhandenen festen Erdkrustenteilen großräumig zu erfassen.

Die große Gesamtschau durch EDUARD SUESS. - Die Entdeckung von "Gondwana"-Land, Zerfall eines riesigen Südkontinentes und von Laurasia im Norden

In den 1880-er-Jahren waren nach den Entdeckungen der vorangegangenen 100 Jahre die gegenwärtigen Gebirge und Meere bekannt, teilweise kartiert und desgleichen waren vor allem in Europa und Nordamerika auch die abgetragenen einstigen Gebirge deutlich geworden. Der große Wiener Geologe EDUARD SUESS wagte daher ab **1883** in einem zu Recht hoch gewürdigtem Werk "**Das Antlitz der Erde**" ein Gesamtbild von der damals doch schon umfassenden Kenntnis vom Werden der Erdoberfläche, der Herausbildung ihrer Gebirge und Meere, zu verfassen. Die damalige geologische Weltliteratur hat er ausgewertet und damit wie HUMBOLDT und DARWIN auf dem ihrigen das Wissen seiner Zeit auf seinem Gebiet vereint. Das Werk "Antlitz der Erde" kann für die Geologie als der würdige Abschluß für jenes Jahrhundert gesehen werden, in welchem die moderne Geologie überhaupt entstand.

Auf der Südhalbkugel ließ sich aus der Betrachtung der Gebirge und der Ablagerungen einschließlich ihres Fossilgehaltes ein einstiger zusammenhängender Großkontinent ermitteln, zu dem die heute getrennten Kontinente Süd-Amerika, Afrika, Vorderindien und Australien sowie wenigstens Teile von Antarktika gehört haben (E. THENIUS 1981/1982) und der durch SUESS als **Gondwanaland** in die Erdgeschichte einging. Auch diese Großkontinent mußte sich erst einmal **zusammenschweißen**, ein **Akkretion** genannter Prozeß (H. WOPFNER 1997, S. 17). Der Terminus 'Gonde' wurde benutzt nach dem Volksstamm der 'Gonde' in Zentral-Indien (H. WOPFNER 1997, S. 2). **Mit dem Festland im Norden**, 'Laurasien', bildete der Großkontinent Gondwanaland sogar einmal den **Großkontinent Pangaea**. Den Weg **zur Erkenntnis** von dem Großkontinent 'Gondwana' bereitete eine pflanzliche Fossil-Gattung, die Blätter von Arten des farnlaubigen, zu den Samenfarne/Pteridospermae gestellten ***Glossopteris***/'Zungenfarn', von denen ADOLF BRONGNIART (E. THENIUS 1981/1982) welche erhielt und 1828 die Gattung einführte, zunächst für Indien und dann Australien. 1859 fand sich *Glossopteris* aus Süd-Afrika, 1895 aus Südamerika und ein pflanzliches **Fossil verband also die Kontinente im Süden** und fehlte augenscheinlich auf den Nordkontinenten. Der USA-Erdölgeologe I. CH. WHITE (Wikipedia 2016) hat dann im einzelnen die Ähnlichkeit der *Glossopteris* von Brasilien und Südafrika nachgewiesen. Funde im Norden waren wohl nur äußerlich ähnlich, vielleicht verwandte Formen (W. GOTHAN et al. 1954, S. 154). Der Zoologe PHILIP LUTLEY SCLATER vermutete etwa wegen der Halbaffen und anderer Gemeinsamkeiten an rezenten Lebewesen 1864 einen einst Afrika und Südostasien über Madagaskar

verbindenden und dann versunkenen Kontinent 'Lemuria'. Er kann als Vorläufer für Gondwana-Land gelten und ging sozusagen in Gondwana-Land auf. Der für das britische Indien führende Geologe H. B. MEDLICOTT (A. GROUT 2004) benutzte in einem allerdings internen Bericht als Superintendent des Geological Survey of India schon 1872, den Name "Gondwana"-Land für diesen einst mehr als Indien umspannenden angenommenen Kontinent (s. a. A. S. ROMER 1968). Namensgeber für den Terminus "Gondwana" war der indische Volksstamm der Gonds.

Ausgearbeitet hat das Konzept von dem **später in getrennte Kontinente zerfallenen Südkontinent "Gondwana"** vor allem EDUARD SUESS 1883. Auch ihm zeigten vor allem Fossilien die **Übereinstimmungen** in den Gesteinsstufen von **Indien mit denen in Süd-Afrika**, im Alter anzusehen "als dem gesamten Zeitraume vom Rotliegenden bis etwa zum Schlusse der Triaszeit entsprechend" und in ihnen niemals gefunden "eine Spur von Seehtieren" (S. 520). Aber es ist auch die Ähnlichkeit im geologischen Aufbau, welche das einheitliche Land vermuten läßt (S. 534), "... eine unleugbare Aehnlichkeit zwischen dem Baue des südlichen Afrika und jenem der indischen Halbinsel. ... fehlt ... jedenfalls seit der Carbonzeit ,, tangentialer Kraft, jede Faltung des Gebirges. Es sind wahre Tafelländer." **Madagaskar** wurde geologisch erst jüngst etwas bekannt, jedoch "So weit wir Madagascar kennen, bietet es grosse Aehnlichkeit mit Südarika und mit Ostindien" (S. 534). Im Jahre 1909 (S. 574/575) heißt es bei SUESS über 'Gondwana-Land: "Hierzu sind zu rechnen: Süd-America von den Anden bis zur Ostküste zwischen dem Orinoco und Cap Corrientes, die Falkland-Inseln, Africa von den südlichen Ausläufern des Hohen Atlas bis zu den Cap-Gebirgen, ferner Syrien, Arabien, Madagscar, die ostindische Halbinsel und Ceylon. Wie in Laurentia" - also dem Nordkontinent - "fehlt hier alle jüngere Faltung, mit Ausnahme des äußersten westlichen Randes", also der Anden. Die nun nicht mehr vorhandenen **Zwischenstücke** zwischen den heutigen Resten von Gondwana-Land sollten bei SUESS, etwas unklar bei KOSSMAT (1936, S. 186), in die Tiefe, also **vertikal, abgesunken** sein, wurden zu den Ozeangebieten zwischen Süd-Amerika und Afrika, zwischen Afrika und Indien, zwischen Afrika und Australien. Ein Riesenkontinent zerfiel in Einzelstücke durch Absinken von Zwischenstücken, in einem nicht so recht verstehbarem Vorgang. Man mußte mit dieser Annahme des Absinkens gemäß der seinerzeitigen Annahme keine horizontalen Lageveränderungen, von Kontinenten annehmen, blieb also in der Annahme von nur Vertikalbewegungen von Landmassen in bezug auf die Lage der Kontinente auf der Erde beim Fixismus. Problem blieb die offensichtliche weite Verbreitung der jungpaläozoischen Vereisung (s. d.), deren Weite und das in einem nicht kalt angenommenen Klima schwieriger zu deuten war als die Ausbreitung von gewissen Pflanzen auch über vielleicht schmale Landbrücken. Mit der Trennung des Gondwana-Kontinentes vom Nordkonti-

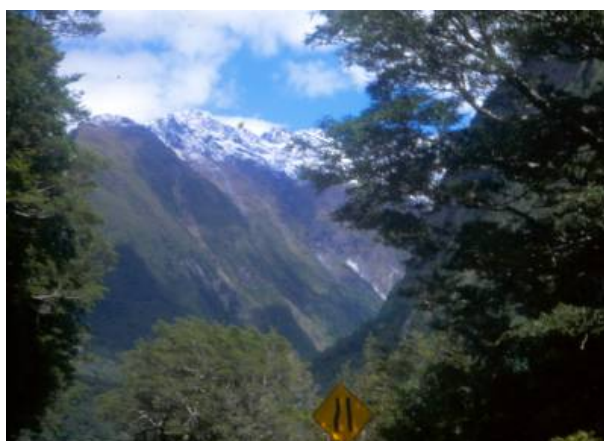


Abbildung 598: Neuseeländische Alpen.

nent bildete sich im Meozoikum zwischen beiden "eine breite Zone von Meeres-Bildungen ... von Sumatra und Timor über Tonking, Yunnan zum Himalaja und Pamir, Hindukusch und nach Kleinasien", also "quer über dem heutigen Asien", und das Meer bezog auch die heutige europäische Mittelmeerzone ein. NEUMAYR nannte dieses Vorzeitmeer "das 'centrale Mittelmeer'. SUESS (1901, S. 25) schlug vor, dieses Meer "wird hier mit dem Namen Tethys bezeichnet werden." Neben der bald allgemein eingeführten **Bezeichnung 'Gondwana-Land'** hat SUESS also auch den Terminus "**Tethys**" in der Erdgeschichtsbeschreibung fest verankert. Ebenso den Ausdruck "**Variscisches Gebirge**". Und auf SUESS gehen auch die Termini für die 2 grundlegenden Zonen des Erdmantels zurück: '**Sial**' = Silicium-Aluminium für die obere Zone und '**Sima**' = Silicium-Magnesium für die tiefere, am Boden der Tiefsee des Pazifik anzunehmende (J: H. F. UMBGROVE 1942, S. 8). Die Gebirge entstanden auch bei SUESS an den Kontinent-Rändern, im Westen von Südamerika die Anden, östlich von Australien die etwas älter als die europäischen Alpen angesetzten 'Alpen' auf Neuseelands Südinsel und im Norden, am Nordende von Indien, mit der Trennung vom Nordkontinent durch die Tethys, der Himalaja. Gebirgsbildung an Kontinenträndern war bei SUESS ähnlich wie die Geosynklinal-Vorstellung bei STILLE und KRAUS.

Während dieser Überlegungen von SUESS hat die niederländische Schiffs-Expedition der 'Siboga' unter anderem durch Messungen von Meerestiefen im **Südosten von Asien** zu den Vorstellungen vom Gondwana-Land beigetragen, mit der Möglichkeit einer Ausdehnung des "indo-pazifischen Kontinentes ... bis zu den Fidschi-Inseln" (M. WEBER 1902, S. 12). Gleiche oder verwandte Tiere auf fernen pazifischen Inseln, die nicht Vulkaninseln sind, sollte ebenso für den einst zusammenhängenden Südkontinent zeugen (S. 12). Weil **Australien** früh den Zusammenhang mit dem

im südöstlichen Asien liegenden Inselreich verlor, hat sich die einst, im Mesozoikum, weiter verbreitete Welt der Beuteltiere dort eigenständig entwickeln können und auch andere Formen hervorgebracht als in dem nordwestlich von Australien liegenden Neuguinea und anderen Inseln (M. WEBER 1902, S. 36/37).

Durch A. WEGENERS Vorstellung von einer **horizontalen Kontinentaldrift**, einem Voneinander-Wegdriften bisher zusammenhängender Festlandsgebiete, ließ sich der Zerfall des Gondwana-Landes auch ohne Absacken riesiger Gebiete in die Meerestiefen erklären. Dazu unten. Stücke des die Südkontinente verbindenden *Glossopteris* wurden von dem Paläobotaniker ALBERT CHARLES SEWARD 1914 dann auch für Antarktika erkannt (E. THENIUS 1981/1982). Auch der einheitliche Südkontinent sollte sich ansonsten einmal aus präkambrischen Kernen gebildet haben.

Das Werk von SUESS beeindruckte die Geologen und rief auch zu Korrekturen und Kritik auf, die für Weiterentwicklung des geologischen Weltbildes voreilhaft waren. Ein ähnliches Werk verfaßte der SUESS-Schüler FRANZ KOSSMAT mit 1908 "Paläogeographie. Geologische Geschichte der Meere und Festländer", erneuert und erweitert. Er hat sie durch neue Erkenntnisse bereichert in "Paläogeographie und Tektonik" 1936, KOSSMAT (1907, S. 60) konnte 1898/1899 nach seinem Sammeln auf der vor Süd-Arabien gelegenen Insel Sokotra zum **weiteren** Verstehen des noch in der Kreidezeit bestehenden **Tethys-Meeres** beitragen durch den Nachweis der Verbindung der von ihm gesammelten "Sokrotaner Kreidefauna" zum Mittelmeer und der andererseits erheblich abweichenden Kreidefauna der "indopazifischen Meeresprovinz", erklärt durch die "ehemalige Existenz einer Landbarriere quer über den indischen Ocean, der also nicht zur Tethys gehörte, Andererseits ließ sich auch durch andere Forscher jedenfalls für die Kreidezeit durch den Faunenvergleich der kreidezeitlichen Ablagerungen von Madagaskar und Ostafrika eine Landverbindungen quer über den "indischen Ozean" nicht bestätigen, die Faunen waren zu unterschiedlich, was also wenigstens für diese Zeit und zu dieser Zeit das geschlossene Gondwana-Land in Frage stellte (F. KOSSMAT 1907, S. 61). Ein **Rezentzoologe** und Biogeograph wie FRIEDRICH DAHL (1921, S. 76) erklärte aus fehlenden heutigen Gemeinsamkeiten etwa bei Spinnen die 'Südkontinenthypothese' **nicht bestätigen** zu können und nur eine Fischfamilie, die Hechtlinge/Galaxiidae (1923, S. 85) schien dafür zu sprechen. Aber die Zeit von Gondwana lag doch weit zurück, und wie stand es da mit Spinnen?.

Schritt für Schritt wurde also die Land-Meer-Verteilung und die Lage der Gebirge, die **Paläogeographie** der verschiedenen Zeitalter erarbeitet und - auch Gondwana-Land konnte nicht aufgegeben werden (s. a. F. KOSSMAT 1936, S. 132 ff.).

Das **heutige Mittelmeer** erscheint ein **Rest der Tethys**. Auch an seiner Südseite gibt es mit dem Hohen Atlas schon in der alpidischen Orogenese entstandene Teile.

Wie nun beschrieben wird (H. WOPFNER 1997, S. 3): Erste Dehnungen erschienen in dem der Tethys zugewandten Rand des Gondwana-Landes im Perm, im 'west-australischen Trog' zwischen dem größeren Indien und Australien und im 'Malagassy-Trog' zwischen Ostafrika und Madagaskar. Bis in die Jura-Zeit haben sich andererseits bis in die Trias neue Krustenteile angefügt (S. 17). "Die allgemeine Fragmentierung Gondwanas und damit die Neuverteilung seiner Landmassen setzte im frühen Jura ein" (H. WOPFNER 1997, S. 3),

Die Anden entstanden erst im 'Neogen', dem späteren Tertiär und gestalteten Südamerika, also einem Teil von Gondwana-Land gewaltig um und das alte Gondwana-Land muß hier ganz anders gewesen sein, noch ohne die Amazonas-Tiefebene (C. HOORN et al. 2010).

Paläogeographie - lange betrieben und wichtiger Teil der Historischen Geologie

Daß **Meer und Festland wechselten** wurde schon vor langem **erkannt**. Man denke an HUTTON. Meer über Festland schien anderen die Sintflutvorstellungen zu bestätigen. Etwa in erdgeschichtlich nicht ganz so alter Zeit gab es die **Meeresablagerungen** des Zechstein, des Muschelkalkes, des Jurameeres mit der Küste, an der Flugsaurier der Gattung *Archaeopteryx* flogen. Und dann vorher oder dazwischen **Festlandszeiten**. Oder das Kreidemeer und dann wieder Festland. Sanken Kontinente? Warum gab es zeitweise gewaltige Meerestransgressionen? SUESS, KOSSMAT, STILLE und vorher andere haben vieles davon zusammengefaßt, möglichst erdweit nach den Erkenntnissen ihrer Zeit. Die Bücher zur Historischen Geologie sind voll davon, auch mit zahlreichen das einstige Erdbild nach der jeweiligen Erkenntnissen darstellenden Kartenskizzen. Und weiter: warum sind Erdbeben und Vulkane in manchen Erdgegenden konzentriert?

SUESS' und KOSSMATs und der anderen Beschreibung fanden in der zweiten Hälfte des 20. Jh. eine für viele Ereignisse ursächliche, **gemeinsame** Erklärung: die **Plattentektonik** (s. u.). Der verdienstvollen Deskription folgte die Kausalerklärung. Läßt sich darauf **jeder Festland-Meerwechsel** zurückführen? In Mitteleuropa etwa: Vom Buntsandstein, falls der Festland war, zum Muschelkalkmeer, vom Keuper zum Jurameer, von den Kreideablagerungen mit festländischen Laubbäumen wie *Credneria* zum Kreidemeer?

Selten waren in der Geschichte der Geologie **so viele bisherige Vorstellungen** zu ergänzen, etliches auch **als veraltet** abzutun. Die öfter vertretene Hypothese von der Abkühlung der Erde und der deshalb durch geringe Schrumpfung der Erdoberfläche erfolgten, bis zu Hochgebirgshöhen aufsteigenden Runzelbildung in den obersten Erdschichten wurde völlig obsolet.

Entstehung der Kontinente auf der Nordhemisphäre

Auf der **Nordhemisphäre** gab es nach den sich entwickelnden Vorstellungen **Anfügung von Kontinentteilen** an bestehende Urkontinente und kam es am Ende des Paläozoikums hier auch zur Bildung eines die Nordhalbkugel immer mehr umfassenden **Nordkontinentes**, von den im Osten des heutigen Nordamerika gelegenen Appalachen bis nach Sibirien, **Laurasia** (E. C. KRAUS 1965). Die 'riesige' präkambrische Platte von Sibiria wurde mit der Bildung des Ural aus ebenfalls einer Geosynklinale an die kaledonisch und variszisch verfestigten Teile weiter im Westen angeschweißt. Im heutigen Atlantik öffnete sich eine von weit im Süden nach weit im Norden reichende "Lineamentspalte", eine "Medianzone" (E. C. KRAUS 1965, S. 139), längs dem heutigen Mittelatlantischen Rücken, welche nach beiden Richtungen die Festländer auseinandertrieb, Auch anderwärts gibt es Nord-Süd-Spalten, deutlich etwa im Oberrhein-Tal. Noch war KRAUS der neuen Plattentektonik gegenüber skeptisch.

Das Konzept von Zyklen in der Erdgeschichte

Von Zyklen, sich wiederholenden Vorgängen, sprach 1874 in den USA J. S. NEWBERRY für die Meerestransgressionen und die damit verbundenen marinen Sedimentablagerungen. Es wurde dann erörtert, ob die periodischen Gebirgsbildungen jedes Mal eine Folge von weiteren Ereignissen einleiteten und somit eine Reihe nacheinander folgender Vorgänge ablief, die sich auch wieder einmal wiederholten. Ein solcher Zyklus sollte auch einmal geschwächt oder geändert auftreten, im Zusammenhang mit der irreversiblen Entwicklung der Erdkruste. Für die Landschaftsformen hatte DAVIS "Zyklen" entwickelt und dabei zahlreiche zusammenhängende Erscheinungen berücksichtigt, wobei DAVIS Aufmerksamkeit lag auf der Einebnung der Festländer. Der Aufstieg wurde weniger beachtet.

Bei der Erörterung von Zusammenhängen in den Erscheinungen in der Erdgeschichte wurde von manchen Geologen auch später mit Zyklen gerechnet, während andere gerade auf die Einmaligkeit der Ereignisse in der Entwicklung verwiesen.

Erdentstehung, Erde kosmologisch betrachtet, frühe Geschehnisse

Wie kam es überhaupt zur Erde, zur frühen Erde?

Die Entstehung der Erde ist nicht mehr Geologie, sondern **Kosmogenie**, Aber von den Vorstellungen hierzu wird auch die Geologie berührt. Es standen lange 2 konträre Auffassungen (etwa A. RITTMANN 1960, S. 298) gegenüber: 1. die Entstehung aus gasförmiger, sehr heißer Sonnenmaterie und deren Abkühlung und Kondensation, 2. aus "Zusammenballung von kalter kosmischer Materie und deren Aufheizung bei der Zusammenballung und der Wärme aus Kernreaktionen und dem radioaktiven Zerfall. UREY (A. RITTMANN 1960, S. 298) fand Anhängerschaft für seine Annahme der zur Erde führenden "Zusammenballung von Planetesimalen ..."

Von Bedeutung für die Betrachtung der Erde als Ganzes sind auch die Vorstellungen vom **Erdkern** (A. RITTMANN 1960, S. 307 ff.), der vom Bildungsgeschehen auf der Erdoberfläche und damit der Welt der Geologen recht entfernt ist, wenn auch nicht ohne Wirkung. Das mittlere spezifische Gewicht der Erde beträgt 5,52. Die dem Geologen zugängliche Erdkruste besitzt ein spezifisches Gewicht von weniger als 3. Die Differenz ist im Erdkern zu suchen. Im Mittelpunkt der Erde dürfte ein Druck von etwa 3 Millionen Atmosphären angenommen werden (so A. RITTMANN 1960, S. 308). Kein Gestein der Erdoberfläche konnte da bestehen. Das Material im Erdinneren muß andersartig sein. Diese Annahme wurde gestützt durch die Feststellung einer 'seismischen Diskontinuität' in einer Tiefe von 2900 km, erforscht etwa bei WIECHERT.

Zusammenhänge unter Einbeziehung von Atmosphäre und Hydrosphäre

Die Existenz einer Atmosphäre, einer **Gashülle**, war ein zuerst nur für die Erde sicher bekanntes Phänomen. Der Erdmond sollte keine Atmosphäre haben. Warum besaß die Erde im Unterschied zum Erdmond eine Atmosphäre? In der Royal Dublin Society wurde am 19. Dezember 1870 in Anwesenheit von JOHNSTONE G. STONEY (1893) über das Fehlen einer Atmosphäre auf dem Mond und das Fehlen etwa von Wasserstoff in der irdischen Atmosphäre debattiert und die Gründe dafür in der Gravitation und der Rotationsgeschwindigkeit gesehen. Der gegenüber der Erde kleinere Mond konnte wegen seiner geringeren Gravitation keine Gase halten. Die Erd-Atmosphäre sollte immerhin das leichteste Element, den im elementaren

Zustand gasförmigen Wasserstoff, an den Weltraum verloren haben. Nur in chemischen Verbindungen blieb der Erdkruste Wasserstoff erhalten, namentlich in den großen Mengen von Wasser (H₂O) und in organischen Stoffen.

Einst soll es auf der Erdkruste viel mehr an chemischen Umsetzung gegeben haben als gegenwärtig vor sich gehen. Erst mit dem Abklingen mancher chemischen Umsetzungen auf der Erdoberfläche wäre die Erde in ihr aktualistisch zu erforschendes Stadium eingetreten. Der Freiburger Chemiker CLEMENS WINKLER dachte 1890 über die chemischen Elemente nach, verwies auf die gegenwärtig auf der Erdkruste weitgehend zum Stillstand gekommenen chemischen Reaktionen, was natürliche chemische Veränderungen auf der Erdoberfläche weitgehend beendete. Die Erde wäre ein **”alternder” Planet** geworden, ”dessen innere chemische Stürme nahezu ausgetobt haben, und auf dessen starren Krustenpanzer vorwiegend der Einfluss der Sonnenwärme und des Sonnenlichtes ein wohl ebenfalls im allmählichen Hinschwinden begriffenes chemisches Leben zeitigt.”

Unter Einbeziehung auch der Atmosphäre entwarfen ab Ende des 19. Jh. einige stark synthetisch denkende Forscher ein **Gesamtbild** der Erdentwicklung. Eine zentrale Rolle wurde bei vielen Betrachtungen dem heute nur mit reichlich 0.03% in der Atmosphäre vorhandenen, aber als Pflanzennahrung ganz wichtigen Kohlendioxid, CO₂, zugeschrieben. Etwa H. CREDNER (1912) hatte gemeint, daß die **Pflanzen** den einst viel höheren Gehalt der Atmosphäre an **CO₂ bis zum jetzigen Zustand verminderten**, und durch die Speicherung von Pflanzenmaterial **als Kohle** die Atmosphären-Zusammensetzung in den für das Tierleben geeigneten Zustand stabilisierte. Für die Absenkung des CO₂ in der Atmosphäre werden etwa im Jahre 2013 (M. GROß 2013, S. 368) die vor etwa 100 Millionen Jahren sich in den Ozeanen stark vermehrenden Kieselalgen/Diatomeen verantwortlich gemacht, die heute der Atmosphäre mindestens so viel CO₂ entzögen wie alle Regenwälder zusammen genommen und den einst 5-mal so hohen CO₂-Gehalt der Atmosphäre in einem Maße absenkten, daß sich ein kühleres Klima ausbildete. Diatomeen benötigen das in vielen Ozeanteilen limitierte Eisen, und Eisenzufuhr sollte die Diatomeen sich vermehren lassen und noch mehr CO₂ binden.

Die **kalkabscheidenden Organismen befreiten** das Meer von einem Überschuß an **Kalksalzen**, mit ihrem CO₃.

Sowohl JOHN TYNDALL in England und dann namentlich der führende schwedische Physikochemiker SVANTE ARRHENIUS (E. T. CRAWFORD 1996) befaßten sich mit dem **Einfluß des Kohlendioxid (CO₂)** auf den **Strahlenhaushalt** der Erde. ARRHENIUS kam zu dem Ergebnis, daß der Verlust von 38 bis 45 Prozent des gegenwärtigen Kohlendioxid aus der Erdatmosphäre zu einer neuen Eiszeit führen würde (R. T. CHAMBERLIN 1932). Eine Zunahme des CO₂ um das 2,5- bis

3-fache aber brächte die milden Temperaturen des Tertiär zurück. Ein Geologe wie der mit Vorzeitklima befaßte PHILIPPI gab zu, daß die Geologen diese Annahmen nicht überprüfen konnten, sie zu akzeptieren hätten oder eben nicht. Eine die Geschehnisse in der Atmosphäre verändernde Steigerung des Kohlendioxid-Gehaltes durch den Menschen wurde noch nicht vermutet. Allein natürliche Vorgänge sollten den Kohlendioxid-Gehalt mit geologischen Auswirkungen beeinflussen. Außer R. T. CHAMBERLIN hatten etwa W. BRANCO(A) 1896, 1913) und vor allem F. FRECH (J. F. POMPECKJ 1919) (1905) die Theorie von der Auswirkung des wechselnden Kohlendioxid-Gehaltes auf den Wärme-Haushalt ausgegriffen. Gesprochen wurde von der ”**ARRHENIUS-FRECHschen Kohlendioxid-Hypothese**” (E. KAYSER 1908) sprach. Man mußte anerkennen, daß die einstigen ”Atmosphären” nicht solche untersuchbaren Spuren hinterlassen hatten wie die einstigen Meere und über die Geschichte der Atmosphäre mehr Spekulation und indirektes Urteilen mitspielen mußte. **Gegner** der Kohlendioxid-Hypothese war E. KAYSER (so 1908, P. G. KRAUSE 1929).

Ein viel beachtetes Gesamtbild von der Entwicklung auf der Erdkruste unter Einbeziehung der Atmosphäre und namentlich des Kohlendioxid entwarf ab Ende des 19. Jh. immer wieder der US-Amerikaner THOMAS CHROWDER **CHAMBERLIN** (R. T. CHAMBERLIN 1932). Dieser aus Wisconsin stammende Geologie war Sproß einer alten normannischen Familie. 1873 wurde CHAMBERLIN Assistent-Geologe beim Geological Survey of Wisconsin unter T. A. LAPHAM. Bei seiner dortigen Tätigkeit wurde er mit den Spuren der Eiszeit in Nord-Amerika vertraut und kam zur Beschäftigung mit vielen grundlegenden Fragen der Erdgeschichte. In Anerkennung seiner gedankenreichen Arbeiten wurde er schließlich Professor der Geologie in Chicago.

Bestand einerseits aus CHAMBERLINs Vorstellung von der Bildung der Erde aus meteorischen Einzelstücken und der Bildung und Wirkung der dann folgenden Atmosphäre ein Zusammenhang, so mußten bei allen berechtigten Einwänden gegen die Planetesimal-Hypothese andere Auffassungen von CHAMBERLIN und MOULTON über grundsätzliche Ereignisse in der Erdgeschichte davon nicht unbedingt mitbetroffen sein und sollen deshalb hier gesondert erscheinen . Zur **Wichtigkeit der Zusammensetzung der Atmosphäre für die Erdkrustengestaltung**, ihre Zerstörungswirkung, meinte CHAMBERLIN 1897 (S. 653): ”While the atmosphere is the most active of all geological agencies, it has received the least careful study from geologists. Its very activity destroys its relics almost as soon as formed and gives them peculiar evanescence.”

In den Anfangsphasen der Erde sollte auch bei CHAMBERLIN der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre hoch gewesen sein. Aus diesem Anfangs-CO₂ sollte der Kohlenstoff in Kalkstein und anderen Carbonaten (CO₃-Rest) stammen (T. C. CHAMBER-

LIN 1897, 1899). Die Ozeane sollten etwa 18- mal so viel CO₂ als die Atmosphäre enthalten haben. Aber alle Bestandteile des Meeres konnten nach CHAMBERLINS (1897) Überlegungen einmal Teil der Atmosphäre gewesen sein und mochten es vielleicht wieder einmal werden. Das CO₂ blieb trotz seines geringen Anteils in der Atmosphäre wegen seinem Eingreifen in die Pflanzenernährung wie für anorganische chemische Prozesse an der Erdoberfläche. Die Freisetzung des Kohlendioxid durch chemische Prozesse war ein 'Zünglein an der Waage' in den erdgeschichtlichen Vorgängen. Die Abnahme oder Zunahme von CO₂ habe viel mehr als die Ab- oder Zunahme von anderen Gasen in der Atmosphäre, von Sauerstoff oder gar Stickstoff bewirkt. Verbrauch von CO₂ sah CHAMBERLIN durch die 'carbonation', die Umbildung der Silikate, wobei Calcium- und Magnesium-Carbonat entstanden wären, die sich als Kalkstein und Dolomit in großen Mengen ablagerten. CHAMBERLIN schätzte 1899 die durch solche Carbonat-Bildung aus der Atmosphäre entnommene Menge CO₂ auf das 20 000- bis 200 000-fache des gegenwärtig in der Atmosphäre vorhandenen CO₂-Menge, wobei dieser Betrag an Kohlendioxid offensichtlich niemals gleichzeitig in der Atmosphäre gewesen war, auch nicht ganz früher. Der Verbrauch und die Freisetzung von CO₂ sollten in den verschiedenen Perioden der Erdgeschichte sehr unterschiedlich gewesen sein. Daraus entstanden Zyklen in der Erdkrusten-Entwicklung führte.

Die Vorgänge, die wegen Freisetzung oder Bindung für den CO₂-Gehalt der Atmosphäre und daraus folgende Vorgänge maßgebend wären, sollten namentlich sein: 1. **Diastrophismus** beziehungsweise Megadiastrophismus, das heißt große Bewegungen auf der Erdkruste mit Gebirgsbildung und Absinken der Ozeanböden, 2. **Abtragung** der dabei entstandenen Festländer und Transgresison flacher Meere.

Ein **starker Verbrauch von CO₂ folgte namentlich auf Gebirgsbildungen**, die, wie auch der Vulkanismus, periodisch auftraten. Mit Gebirgsbildung, mit der dabei ebenfalls stattgefundenen Entstehung tiefer Meeresbecken, einem "megadiastrophism", und der mit beiden verknüpften Vergrößerung des Festlandes, womöglich weltweit, hätte die der Verwitterung ausgesetzte Oberfläche mit dem der Verwitterung anheimfallenden anstehendes Gestein stark zugenommen. Dabei verschwand CO₂ aus der Atmosphäre. CO₂-Verminderung bedeutete Verminderung des Wärmeschuttschildes der Erde, führte zur Erniedrigung der Temperatur an der Erdoberfläche. Der Wassergehalt der Atmosphäre sank, schon wegen der Gletscherzunahme (T. C. CHAMBERLIN 1899).

Danach aber wurden die Gebirge und die Festländer überhaupt durch die Verwitterung erniedrigt. Das Verwitterungsmaterial wurde in die ozeanischen Becken transportiert. Das dabei flacher werdende Meer griff zunehmend auf die erniedrigten Festländer über ("epicontinental sea"). Die Verwitterung der anstehenden

Gesteine, die 'carbonation', wurde unterbrochen. Das Calciumbicarbonat (Calciumhydrogencarbonat, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ im Meer wurde in Monocarbonat verwandelt, dabei der Kalk abgeschieden. **Viel CO_2 wurde freigesetzt.** Weitere Faktoren konnten in diese Wandlungen (interplay) eingreifen. Bei warmen trockenem Klima überwog die Verdunstung die Niederschläge. Der Salzgehalt (Salinität) in den oberen Regionen des Meeres stieg. Salzreiches Wasser sinkt in die Tiefe und fließt polwärts. Das ist anders als wie etwa in der Gegenwart, da die Tiefseeströmung äquatorwärts fließt. Bei höherer Salinität gab es also nach CHAMBERLIN eine Warmwasserheizung für die hohen Breiten, was das unter solchen Bedingungen milde Klima bis in die Polregionen erklärt. Auf diese Veränderungen gab es auch 'biologische Antworten', das heißt Veränderungen in der Welt der Lebewesen. Wenn flache Meere auf die erniedrigten Festländer strömten, entwickelten sich die Flachwasser-Organismen, gab es eine "expansional evolution". Wegen der weiten Meeresbedeckung entstanden auch Verbindungen zwischen den Meeren. Die Meeresfauna wurde 'kosmopolitisch', war weltweit ähnlich. So sollte es mit den Faunen des Silur und des Devon gewesen sein. Bei und nach Gebirgsbildung und Festlandsaufstieg, in Zeiten des Diastrophismus, mußte sich die Flachwasserlebewelt zurückziehen. Manche Formen starben aus, andere veränderten sich. Die grundlegenden Vorgänge, das heißt relativ kurzzeitige diastrophische Vorgänge und die viel längerdauernden Festlandserniedrigungen und Meerestransgressionen, hätten sich wenigstens zweimal abgespielt: 1. einmal nach der jungpaläozoischen Gebirgsbildung mit der folgenden permischen Vereisung und 2. dann noch einmal im Gefolge der Gebirgsbildung und Erdoberflächenvergrößerung des Tertiär.

Im Anschluß die starke Bindung von CO_2 und die verbundene erdweite Abkühlung, die Eiszeiten, wäre aber durch andere Prozesse auch wieder CO_2 in die Atmosphäre entlassen worden und konnte es zu einer Wiedererwärmung kommen. Freigesetzt wurde CO_2 auch, wenn das Meerwasser mit Calciumbicarbonat gesättigt war und dieses sich als Kalkstein abschied, unter Freisetzung von CO_2 . Allerdings war nicht anzunehmen, daß der Ozean jemals in seiner Geschichte mit Calciumbicarbonat gesättigt war.

Die Zusammenhänge in der Erdgeschichte bei FRITZ FRECH (1899 u. a.)

In Deutschland erschien FRITZ FRECH um 1900 als einer der Geologen, die sich besonders um die Erfassung der großen Zusammenhänge der erdgeschichtlichen Entwicklung bemühten. FRECH ging es nicht um die Vorgänge in der Tiefe, sondern um **Zusammenhänge auf der Erdoberfläche.**

Geboren am 16. März 1861 als einziger Sohn eines hohen preußischen Justizbeamten studierte FRECH namentlich bei BEYRICH in Berlin. Der Berliner Geologe J. F. POMPECKJ (1919, S. IX / X) schrieb in seinem Nachruf auf FRECH, daß ihm BEYRICH und DAMES "die Grundlagen für die Beachtung auch des Kleinsten gegeben. RICHTHOFEN regte ihn an, den Blick in die Weiten zu richten. In ihm selbst wuchs die Art, alles zu verweben zu dem großen Ziele der Geschichte der Erde und des Lebens." Im Jahre 1897 wurde FRECH Ordinarius an der Universität Breslau, als Nachfolger von FERDINAND ROEMER. FRECH wurde im Ersten Weltkrieg als leitender Geologe zum Armeekommando im Nahen Osten gerufen, hier, wo türkische Truppen an der Seite deutscher Landser kämpften. Am 18. September 1917 starb FRECH, 56-jährig, an Malaria in Aleppo in Syrien.

FRECH hat mit seinen Koautoren vor allem in seinem Werk "Lethaea - Handbuch der Erdgeschichte", aber auch in verschiedenen einzelnen Arbeiten (1899, 1905) die **Erschließung von Zusammenhängen** in der Erdgeschichte **versucht**. Einige seiner Ideen sind denen von CHAMBERLIN verwandt.

Auch bei FRECH besitzt das **Kohlendioxid eine zentrale Rolle** im Geschehen. CO₂ sollte mit vulkanischen Exhalationen (Mofetten) und vulkanischen Ausbrüchen in die Atmosphäre gelangen. Bei den großen Gebirgsbildungen und damit zusammenhängenden großen Vulkanausbrüchen erhöhte sich demnach der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre. Das **Wärmeschutzschild** baute sich auf. Die Temperatur in der Erdatmosphäre stieg. Zeiten von starker vulkanischer Tätigkeit führten zu den wärmeren Perioden in der Erdgeschichte. Das Kohlendioxid habe dann ebenso chemische Vorgänge, so die **Gesteinszersetzung** und der **Kalkbildung verstärkt** und ebenso das Pflanzenwachstum. Dadurch waren die Gebirgsbildungen, der dabei gestiegene Kohlendioxid-Gehalt in der Atmosphäre und die Bildung der großen, an reichen Pflanzenwuchs gebundenen Kohlenlagerstätten miteinander verknüpft. Gebirgsbildung war nach FRECH (1909) wegen der Kohlendioxid-Freisetzung auch die Grundlage der Freisetzung von Kalk, der sich im Meer niederschlug. Die **Gebirgsbildung änderte** auch in größeren Bezirken von **Meer und Festland** das Relief und machte Transgressionen und Regressionen von Meer verstehbar. FRECH war dabei der Überzeugung, daß **die Gesamtwassermenge auf der Erde** im wesentlichen **immer gleich** blieb. FRECH überlegte, ob durch Gebirgshebungen Festländer vergrößert, die gleichbleibende Menge an Wasser jedoch in tiefere Becken verdrängt wurde. Es gab also Zeiten mit vorwiegend nur relativ flachen Meeren und andere, im Gefolge der Orogenesen, in denen Tiefseebecken erschienen. Wie FRECH schrieb (1905, S. 141): "... jede Änderung innerhalb der Lithosphäre auch Umsetzungen der Hydrosphäre zur Folge haben muß." Wasser mußte sich anders verteilen, wenn sich Gebirge erhoben. Es gäbe keine "erdumspannenden Transgressionen, die auf kosmischen Ursachen beruhen." Das

war gegen die unbestimmteren Aussagen über die vielleicht sich ändernde Menge von Meerwasser von SUESS gerichtet. FRECH meinte jedenfalls (1905, S. 137): "Jedesmal, wenn eine Transgression in den Geosynklinalen wahrnehmbar ist, läßt sich eine Regression auf den Kontinentalgebieten nachweisen." Entstehung von Gebirgen führte zum Rückzug des Meeres dort, wo das Gebirge sich erhob. Jede Aufwölbung oder Hebung des Meersbodens brachte ein Vordringen des Meeres in andere Gebiete. Der Rückzug des Untercarbon-Meeres aus dem Gebiete der Appalachen in den USA war begleitet von einer bedeutenden Ausdehnung des im Meer entstandenen Kohlenkalkes im Süden und Westen von Nord-Amerika, das heißt im Mississippital und in den Rocky Mountains. Auch beim Aufstieg des Varistischen Gebirges in Europa gab es anderswo Meeresüberflutung. Abtragung brachte Auffüllungen am Meeresboden, Einebnung der Festländer, die eben durch Materialabtrag stattfand, mußte damit allgemeine weite Meeresausdehnung begünstigen. Meeresausbreitung (Transgression) wie in Obersilur und höherem Devon ließ zoologische Meeresprovinzen verschwinden, Rückzug des Meeres wie in Untersilur, Unterdevon und Perm ließ Unterschiede in den einzelnen Meeresteilen, also zoologische Meeresprovinzen, hervortreten. Auch die Differenzierung der Meeresfaunen und andererseits die weltweite Verbreitung einer "einheitlich gestalteten" Tierwelt waren damit eine periodisch wiederkehrende Erscheinung. Gebirgsbildung, noch unverwittertes Material, habe andererseits auch die Pflanzennährstoffe vermindert. Den Gebirgsbildungen folgten daher Wüsten. Typisch für manche Perioden sollen große Binnenseen und Randmeere gewesen sein, wie sie auch Mitteleuropa zeitweilig bestimmt haben müssen. In warmen Zeiten gab es auch Laterit-Bildung, damit rotgefärbte Sedimente. Diese konnten, wie gegenwärtige Erscheinungen zeigen, aus sehr verschiedenem Ausgangsgestein entstehen.

In vulkanischen Ruheperioden gab es eine Verminderung des Kohlendioxid-Gehaltes der Atmosphäre, weil das CO₂ zwar zunehmend gebunden wurde, aber nicht neues Kohlendioxid in die Atmosphäre entlassen wurde. Es gab einen Wärmerückgang, schließlich auch Eiszeiten. FRECH vermutete, daß die gegenwärtige Vereisung der Pole nicht der Normalzustand auf der Erde sein muß, sondern eher eine ungewöhnliche, in der Erdgeschichte seltene Erscheinung wäre.

Das organische **Leben solle allgemein in engster Abhängigkeit vom Wechsel des irdischen Klima stehen** (1905, S. 76). Klimaveränderungen waren von großen Veränderungen in der Organismenwelt begleitet. Im einzelnen legte FRECH dar (1905): Die plötzliche Entfaltung der 'Ammonoiten' im Devon stand im Zusammenhang mit einer Vertiefung des Meeres. In dieser Zeit bereitete sich die varistische Gebirgsbildung des Carbon vor. Diese Gebirgsbildung hat jene verschiedenen Räume geschaffen, in denen die Steinkohlenwälder wuchsen. 'Paralisch' wurden jene Steinkohlenlager genannt, die am Außenrand des varistischen Gebirges, dem im

Norden beziehungsweise Nordwesten davon bestehenden Meeres entstanden. Die Wüsten des Perm und teilweise der Trias, aber auch die permische Eiszeit mochten sich dann diesem Bild einfügen. Das Absterben bisherigen und das Aufkommen neuer Formen sollten daher sowohl in der Abkühlungsperiode des Perm wie in der Abkühlungszeit am Ende der Kreide stattgefunden haben. Es heißt vom Perm (das auch "Dyas" hieß) und von der Kreide-Zeit (1905, S. 74): "Während der Dyas ist das Auftreten der echten Ammoneen, der Reptilien, sowie der Coniferen und Cycadeen, andererseits das Aussterben (Lepidodendron) oder Zurücktreten (Sigillaria) der herrschenden Waldbäume der Steinkohlenzeit gerade in dieser Periode erfolgt. Für die Kreidezeit braucht nur an das Verschwinden der mesozoischen Saurier, Ammoneen und Belemniten, sowie an die kurz darauf erfolgende explosive Entwicklung der Säugetiere und Vögel erinnert werden." FRECH kam also für die Faunensprünge und Florenveränderungen an der Grenze vom Perm zur Trias und von der Kreide zum Tertiär ohne katastrophische Annahmen, gar einen Meteoriteneinschlag, aus.

Gebirgsbildungen und starken Vulkanismus gab es dann **wieder im Tertiär**. Und wieder gab es ein üppiges Pflanzenleben. Es entstanden wieder Kohlenlagerstätten, diesmal vor allem die der Braunkohlen. Auch diese Entwicklung wurde wie die nach der Kohlebildung im Carbon mit einer Eiszeit abgeschlossen. FRECH rechnete allerdings mit einer einzigen Eiszeit, die lediglich durch untergeordnete Oszillationen untergliedert war. Gletscher könnten bis an die Nachbarschaft von Wäldern reichen, Pflanzenfossilien zwischen Glazialablagerungen müßten also nicht einen völligen Gletscherrückzug anzeigen, wenigstens nicht für die Alpen und nicht für Skandinavien. Sicherlich kam diese Ansicht seiner Auffassung vom Gang der Erdgeschichte entgegen und er meinte (1905, S. 73): "Die Wiederherstellung der Einheitlichkeit der quartären Eiszeit ermöglicht eine Erklärung dieses eigenartigen Vorganges: Solange man an der Anschauung einer Mehrzahl von Eiszeiten festhielt, war jede auch nur halbwegs plausible physikalisch - meteorologische Erklärung der Kälteperioden ausgeschlossen ..."

Gebirgsbildung, Vulkanismus, Kohlendioxidgehalt, Üppigkeit der Vegetation, Wüstenbildung, Abkühlung und Eiszeiten standen also **in einem Zusammenspiel**. FRECH erstrebte die Rekonstruktion des Wandels der einstigen Verteilung von Meeren und Kontinenten, also eine wirkliche Paläogeographie.

Gegen die Auffassungen von FRECH, CHAMBERLIN erhoben sich Einwände, indem namentlich die **Voraussetzungen** der Annahmen **überprüft** wurden. War schon die starke Abgabe von CO₂ durch Vulkane nicht sicher und mußte auch FRECH (1902) zugestehen, daß selbst beim unlängst, 1902, erfolgten Ausbruch des Mont Pelée auf der Karibikinsel Martinique eine Abgabe großer CO₂-Mengen nicht feststand, war auch die behauptete starke Vulkantätigkeit vor den Eiszeiten nicht

nachweisbar. BRANCA verwies 1896 darauf, daß sowohl für die Eiszeit im Perm wie auch für die im Pleistozän der zeitliche Abstand zu den für die CO₂-Lieferungen in Frage kommenden Gebirgsbildungen erheblich zurücklag, der Zusammenhang also eher unwahrscheinlich sein müßte.

Dem großen Zusammenhangsdenken wurde also zu Recht auch unzureichende Faktenbasis nachgewiesen.

Die Vorstellungen über die großen Zusammenhänge haben immer wieder Veränderungen und Ergänzungen erfahren. Was Kohlendioxid in der Atmosphäre und deren Bindung im Ozean betrifft, so wurde von dem USA-Chemiker JOHN MARTIN festgestellt, daß in großen Teilen der Ozeane Eisen ein das Algenwachstum begrenzender Faktor ist, also Eisen die Kohlendioxidbindung im Meer beeinflußt (P. G. FALKOWSKI 2003), was für den Kohlenstoffkreislauf mit berücksichtigt werden muß.

Hypothesen über die Anfänge der Erdbildung und die archaische Ereignisse mit Wirkung auf die gesamte weitere Erdentwicklung

Die Sonderung der Bestandteile der Erde

Die meisten Überlegungen über Zusammenhänge in der Erdgeschichte bezogen sich auf die von der Geologie behandelten Zeiträume. Aber es wurde gesehen, daß Ereignisse auch lange vor dem Kambrium, im Archaikum, für die ganze weitere Erdgeschichte so bestimmend gewesen waren, daß sie aus der Geologie nicht auszuklammern waren, wie es LYELL vorgeschlagen hatte. Bei aller Spekulation, bei manchen unsicheren Prämissen, man müsse das aushalten. Der Kosmos wurde mit der Geologie verbunden, eine prinzipiell nicht unberechtigte Sache. Der auch in Geologie-Zeitschriften veröffentlichende Bremer Lehrer und Titularprofessor FRIEDRICH NOELKE schrieb 1932 von "Die vorgeologische Entwicklung der Erde als Schlüssel zum Verständnis der geologischen Entwicklung". **Abkühlung, Schrumpfung, anfängliche Kontinentenbildung** - das alles fällt stark in die 'vorgeologische Frühzeit', und die in den Zeitraum der erforschten Erdgeschichte fallenden Gebirgsbildungen, die **Orogenesen**, sollten da **viel weniger durchschlagend** gewesen sein (s. J. H. F. UMBGROVE 1942, S. 104). Die "terrestrial forces were imprisoned and became subcrustal processes" (Hervorhebung im Original, S. 106).

Eine für die Geologie bleibende wichtige Vorstellung war die von einer **Schalen-**

gliederung in der Erde im glutflüssigen Zustand. Diese Überlegungen waren aber eher solche nicht der Geologie im engeren Sinne, sondern der Geophysik, Physik und Chemie. Aber "der Aufbau des Erdkörpers" "lehrt uns", daß "die Erde wenigstens früher einmal flüssig genug gewesen ist, um ein freies Strömen der Materie zuzulassen", wobei "Hoher Druck kann Flüssigkeiten zäh machen und feste Körper zu langsamem Fließen bringen", also ist bei dem hohen Druck in der Erdtiefe anzunehmen ist, daß sich "der Unterschied zwischen einer Flüssigkeit und einem festen Körper geringer" (C. F. von WEIZSÄCKER 1970, S. 76) darstellt als oberflächennahe Flüssigkeit nahelegt. Die lange, große Frühzeit der Erde übertraf die von der Geologie erforschten Zeiträume gewaltig. legte die Grundlagen für die Gestalt des Planeten Erde, sonderte die chemischen Elemente und bestimmte so deren Verteilung in und auf der Erde (L. H. AHRENS 1966) , die Grundlage der Geochemie. In der glutflüssigen oder gar weitgehend gasförmigen Erde sollten sich ihre Bestandteile gesondert haben wie im Hochofen. Was im Hochofen geschah, konnte zunehmend ermittelt werden. Auf das Erdinnere waren nur Rückschlüsse möglich. Die Analogie war also insofern einseitig, weil nur über den einen der verglichenen Partner genauere Kenntnisse möglich waren und nach dem bekannten Partner, dem Hochofen, sich gerichtet wurde.

Ganz im Erdinneren bildete sich etwa nach der Darlegung von L. H. AHRENS 1966 ein **Innerer Kern**/Inner core, es folgten nach oben der **Äußere Kern**/Outer core, der **Tiefere Mantel**/Lower mantle, die **Übergangszone**/Transitions zone, der **Obere Mantel**/Upper Mantle, die **Erdkruste**/Crust. Erdkern und Mantel sollten sich vor wenigstens 3.500 Millionen Jahren getrennt haben. Bei dieser Sonderung des Materials der Erde sondern sich auch die chemischen Elemente.

Die chemischen Elemente sonderten sich stark gemäß ihrer chemischen Bindung, ob - nach H. NEUMANN 1949 (hier zitiert nach L. H. AHRENS 1966, S. 16) - metallische, kovalente, ionische Bindung. Und diese Bindung sollte erklären die von V. M. GOLDSCHMIDT 1923 vorgeschlagene geochemische Klassifizierung der Elemente in **siderophile**, **chalcophile**, **lithophile**. Wichtig war das Eisen. Es tröpfelte im einstigen Erdzustand in den Erdkern. Und mit ihm kamen uverbunden bleibende, "native" Elemente, die mit siderophiler Tendenz, also Gold, weniger stark Silber und Kupfer. Mit kovalenter Bindung verbanden sich andere Elemente an Schwefel, bilden sie Sulfid-Mineralien, haben chalkophile Tendenz. Sauerstoff ist mit kennzeichnend bei den Elementen mit lithophiler Tendenz. Sie bilden die Gesteine der Erdkruste, lithos = Gestein, setzen die Granite und Basalte zusammen, bilden die Silikate, Mineralien wie die Feldspate, wie Olivin, Hyperstehn, Quarz.

Für die Geologie mit ihrer Erforschung der Erdkruste war wichtig vor allem die Gliederung der **oberen Teile der Erdkruste** in das obere **Sial**, die Bezeichnung für Silicium und Aluminium für die hier vorherrschenden chemischen Elemente,

und **Sima**, der Name wegen der chemischen Elemente Silicium und Magnesium. Die Begriffe Sial und Sima gehen auf EDUARD SUESS sr. zurück. Etwa W. DE-ECKE jedoch hielt 1916 (S. 300/301) das für eine Spekulation, von welcher der Geologe sich fern halten sollte, denn "wissen tun wir darüber nichts, spiegeln aber mit diesen Worten eine Kenntniss vor, die wir in Wirklichkeit ganz und gar nicht besitzen." Für die Geologie war dies aber nicht das letzte Wort. Diese beiden grundlegenden Schalen des Erdmantels wurden abgeleitet aus den Erdbebenwellen und aus der **Hypsographischen Kurve**. Es gibt, wie sich fand, keinen gleichmäßigen Abfall von den Festländern zu den Meerestiefen, sondern einen ziemlich scharfen Sprung. Den Festländern vorgelagert sind noch relativ flache Meeresbereiche, die Schelfmeere. Wo diese ozeanwärts enden geht es aber steil hinab zum Meeresgrund. Und daraus wurde abgeleitet, daß es die obere Sial-Schicht gibt, welche Festland und Schelfmeer umfaßt, und die tiefere Schicht, das den Meeresboden bildende Sima. Durch das Hinunterrieseln von festländischen Sedimentkrümeln, Staub, abgestorbenen Organismenresten von vor allem auch Eizellern mochte am Tiefseeboden das Sima verdeckt sein, aber nicht zu tief und nicht überall. Aus der Existenz von Sial und Sima leitete dann A. WEGENER seine behandelte Theorie von der Kontinentaldrift ab.

Für ALFRED RITTMANN (1939, S. 53) haben sich **Sial und Sima** schon **früh** auf der Erde **geschieden**. Und wenn Ur-Magma aus dem Sima nach oben stieg, dann wurde es im Sial durch Stoffaufnahme verändert, "entartete", und so kam es zu den unterschiedlichen Magmen.

Die Vorstellungen über das tiefe Innere der Erde schienen sich zu präzisieren, als zuerst vor allem durch den USA-Forscher P. W. BRIDGMAN mittels spezieller Apparate **im Experiment auf Materialien Druck** von bis 200.000 atm. ausgeübt werden konnte. Mineralien wurden erzeugt, auch neue (H. TRACY HALL 1958), und führten über die alte Definition der Mineralien als nur Naturkörper hinaus, zumal auch die Untersuchung außerirdischer Materie Mineralien nicht nur als Produkte der Erde erscheinen ließen (R. J. HEMLEY 1999).

Die anfängliche Erde nicht glutflüssig - Die Atmosphären-Entwicklung

Unabhängig voneinander haben der englische Astrophysiker Sir NORMAN LOCKYER (A. F. 1923) 1890 und der USA-Astrophysiker und Geologe CHAMBERLIN die Vorstellung entwickelt, daß die Erde und andere Planeten und Himmelskörper durch das Zusammentreffen von **Einzelstücken**, also aus zahlreichen Meteoriten entstanden. LOCKYER sprach von der "**Meteoriten-Hypothese**". CHAMBER-

LIN und der mit ihm eng zusammenarbeitende Mathematiker F. R. MOULTON entwickelten die von ihnen "**Planetesimal-Hypothese**" genannte Vorstellung namentlich aus Überlegungen über das zu vermutende Verhalten von Gasen in der Atmosphäre der Urerde (H. L. FAIRCHILD 1938). Die Planeten, die Planetoiden und die Trabanten der Planeten wären aus Materialstücken gebildet worden, als ein Himmelskörper relativ nahe der Sonne vorüberglitt und Substanz aus der Sonne herauszog. Diese Materie rückte zusammen, aggregierte. Die zweiarmigen Spiralnebel in den Tiefen des Weltalls zeigten vielleicht, wie es aussieht, wenn ein Himmelskörper aus einer anderen Materie herauszieht. Da diese Deutung der Spiralnebel nicht so eindeutig war, sollte die Planetesimal-Theorie jedoch nicht von der Deutung der Spiralnebel abhängig gemacht werden (R. T. CHAMBERLIN 1932). Die Substanz auf dem Monde sollte noch die ursprüngliche Planetesimalsubstanz sein, unoxidiert, unhydriert, überhaupt unverändert. Die großen durch 'accretion' gebildeten Himmelskörper zogen dann immer wieder kleine, im All verbliebene Brocken an. Daß im All massenweise Partikel frei umherfliegen, beweise der Ring des Saturn, der gemäß Ergebnissen der Spektroskopie aus diskreten soliden Partikeln bestehen sollte. Ursprünglich war diese aus Bruchstücken entstandene Erde kalt. Zusammenrücken der Bruchstücke mit der dabei bedingten Selbst-Kompression der Erde unter dem Einfluß der Gravitation führte zu einer Temperaturzunahme. Eine von Anfang an glutflüssige Erde hätte nicht viele Gase halten können, so wenig, wie heute Wasserstoff gehalten werden kann und kleine feste Himmelskörper frei von einer Atmosphäre sind. Die Erde konnte eine Atmosphäre halten, wenn sie anfänglich nicht heiß war, Meteorite (CHAMBERLIN 1899) konnten eingeschlossene Gase enthalten. CHAMBERLIN beschrieb seinen Weg zu seiner Auffassung (1899, S. 546): "When once an inquiry into the history of the atmosphere and its possible functions in the past was raised, there seemed no resting place until the origin of the atmosphere - and with it the origin of the earth - was reached".

Auch andere Forscher, welche die Erdentstehung anders sahen, erörterten die **Änderungen in der Atmosphäre**, im Zusammenhang **mit der Abkühlung**. Die Freisetzung von Sauerstoff durch die grünen, also chlorophyllführenden Organismen war nur ein letzter Akt. So A. RITTMANN 1939 und auch mit Hinweis auf DALY betonte, daß "... kommen wir um die Annahme eines einst glutflüssigen Erdballs nicht herum" (S. 54). Und über dem **glutflüssigen** Erdball "schwebte eine gewaltige Atmosphäre, die alle leichtflüchtigen Bestandteile enthielt, die wir heute zum größten Teil in kondensiertem oder chemische gebundenem Zustand kennen, d. h. unsere heutige Hydrosphäre und die als Kristallwasser und Radikale in den Mineralien gebundenen leichtflüchtigen Bestandteile wie OH, Cl, S, SO₂, CO₂ usw. sowie einige Verbindungen von Sb und As und die H, C, N, S und O der organischen Verbindungen" (S. 55). Der Druck der Atmosphäre auf die glut-

flüssige Erde muß als enorm angenommen werden, vielleicht 270-mal größer als der gegenwärtige Atmosphärendruck (S. 55). Mit dem Wärmeverlust gegen den Weltraum bildete sich bei etwa 1000°C "eine erste aus Alkalibasalt bestehende Erstarrungskruste" und ab etwa 350°C gab es "Kondensation des Wassers ..." (S. 55).

Stufen in der Erdentwicklung bei QUIRING

HEINRICH QUIRING (A. KÜPPERS 2003) hatte Verdienste in der Rohstofferschließung in Deutschland, wurde 1946 Professor an der Technischen Universität Berlin, hatte also einen gewissen Ruf, jedoch wurde mit seinen Spekulationen in die Abwertung als eines Außenseiters einbezogen. QUIRINGs (1953, S. 53). Ablehnung der permischen Eiszeit mochte allerdings vielleicht mehr zu seiner Abwertung beitragen haben als seine auch mathematisch untermauerten Überlegungen über die Uraltzeit. Immerhin lieferte QUIRING wohl Denkanregungen? QUIRING (1953, S. 11) unterschied im Groben eine Glühzeit bis 500°C, das **Photikum**, und die darauf folgende Dunkelzeit, das **Skotikum**. Verfeinert schrieb QUIRING über das Photikum von 1. einem Glühgasstadium/Pyroaerikum, das endete, als die Erdoberfläche auf 2250°C abgekühlt war. Die am Erdaufbau so stark beteiligte Kieselsäure schmilzt bei 2230°C. 2. Das Schmelzstadium/Pyrotektikum endete bei einer mittleren Oberflächentemperatur von 850°C. Eine zusammenhängende Sial-Kruste und aus Granit war möglich. 3. Das Glührindenstadium/Pyrostatikum endete bei etwa 500°C Oberflächentemperatur. Das war das Ende des Eigenlichts der Erde.

Wie entstanden die ersten Ozeane?

Nach NÖLKE 1927 (S. 129 ff.) sollte das die Ozeane füllende **Wasser aus** chemischen Verbindungen im **Erdinneren** gekommen sein und damit sollte erklärt sein, daß es einst nur Flachmeere gab und keine Tiefsee. Bei einer geschätzten Erddauer von 1,5 Milliarden Jahren hätten zu Füllung der Ozeane nur im Jahr etwa 1 Kubikkilometer Wasser aus dem Erdinneren austreten müssen. 'Juveniles', noch nie im Wasserkreislauf gewesenes Wasser gäbe es auch heute und Thermalquellen sollten wohl dazugehören. Mit der Auffüllung der Ozeane wuchsen die Koralleninseln empor.

Die Unebenheiten der Erdoberfläche, die Gebirge - Kontraktionstheorie alternativlos?

An eine **Abkühlung** der Erde von einem schmelzflüssigen Zustand dachte man seit KANT und LAPLACE und das hat dann BUFFON zur Grundlage seiner Auffassung von der Erdentwicklung unter rascher Abkühlung gemacht. Die Kontraktion sollte in der glutflüssigen Urzeit begonnen haben, gewirkt haben über die etwa von QUIRING näher charakterisierten Abkühlungsphasen, aber sie sollte sich dann in die 'geologischen' Zeiten hinein fortgesetzt haben, ja bis heute gelten, und sollte einen der entscheidenden Vorgänge in der ganzen Erdgeschichte **erklären: die Gebirgsbildung**.

Daß diese Abkühlung **mit einer Schrumpfung** der äußersten Erdschale verbunden ist sah DE BEAUMONT. Die dadurch bedingte **Verkleinerung des Radius der Erdkugel** sollte aber nicht gleichmäßig geschehen, sondern sich in Schwächezonen auswirken und dort sollten Gebirge zustandekommen - wie Runzeln bei einem stark gereiften Apfel vom Apfelbaum. Die Kontraktionstheorie bot eine zahlreiche geologische **Vorgänge verbindende Vorstellung**, konnte gelten für die Erwartung, "daß wenige große einheitliche Züge den Charakter der geologischen Entwicklung bestimmen (F- NÖLKE 1927, S. 131). Die Schrumpfung mußte die Erdkruste aber so verändern, daß man fast den Aktualismus eingeschränkt sehen konnte. Ein Gegner der KANT-LAPLACEschen Theorie vom einst glutflüssigen Zustand der Erde war im 19. Jahrhundert der Geologieprofessor von Halle KARL VON FRITSCH (1888, S. VI, 44 ff.), also manche wollten diese Auffassungen nicht anerkennen. Aber die Schrumpfung der Erde wurde von einer großen Zahl von Geologen auch im 20. Jh. weiter vertreten und viel debattiert, erschien fast "**alternativlos**" zur verbindenden Erklärung vieler Vorgänge auf der Erde.

E. SUESS sah in der Kontraktion die Ursache für den "Zusammenbruch des Erdballes", dem "wir beiwohnen". Nach SUESS geschah die Abkühlung der Erde im Erdinnern und der Schrumpfung dort mußte sich die kalte Erdkruste anpassen. JEFFREYS sah die Abkühlung nur in den äußeren Zonen der Erde, eine Abkühlung bis 700 km Tiefe mit merklicher Abkühlung lediglich bis 200 - 300 km (F. NÖLKE 1939, S. 144 ff.). Die Volumenverluste durch die Abkühlung in der Erdgeschichte wurden zu 6 bis 9 Prozent angenommen.

Führender Anhänger der Kontraktionstheorie wurde im 20. Jh. unter anderen STILLE (1922), der zu ihr eine Festrede hielt und der seine Ansichten zur Gebirgsbildung mit der Kontraktion der Erde kausal begründet sah. Beim Schrumpfen mußte zwar auch neue Wärme entstehen, aber die Gesamtabkühlung würde nach STILLE dadurch lediglich verzögert, jedoch nicht beseitigt werden. "Der Wärmeverlust der Erde", schrieb STILLE 1922 (S. 19 / 20), "er mag in der

Zeiteinheit noch so gering sein, ist ausreichend zur Erklärung jedes gewünschten Schrumpfungsbetrages, wenn nur die Zeit lang genug ist". Es wäre physikalisch nicht widersinnig, daß stetige Ursachen, also die stetige Wärmeabgabe, "unstete Wirkungen haben" (S. 25). Gewisse "Sperrungen" würden eben erst beim Fortschreiten der Abkühlung überwindbar sein. STILLE argumentierte aber auch mit dem Ausschließungsprinzip, wonach es für die Tektonik keine bessere Erklärung als die Erdschrumpfung gäbe: "die Schrumpfungstheorie ist nicht widerlegt, noch viel weniger ist besseres an ihre Stelle gesetzt worden" (S. 24). STILLE stützte sich auch auf HELMHOLTZ, der die KANT-LAPLACEsche Theorie über die Entstehung der Sternenwelt als einen der glücklichsten Griffe der Naturforschung bezeichnet hat.

Im gleichen Jahre 1922 meinte der Schweizer RICHARD AUGUST SONDER (S. 271): "Von allen bestehenden Theorien ist die Kontraktionstheorie m. E. bisher einzig in der Lage, den notwendigen Grundvoraussetzungen einer Theorie der geologischen Umwälzungen gerecht zu werden, ohne dabei unmögliche Postulate machen zu müssen". SONDER erörterte, wie die unregelmäßig erfolgende "säkulare Erdschrumpfung" "Rindenspannung" bewirkt, ein Nachsinken der festen Erdrinde erfolgt und dadurch ein Tangentialschub ausgelöst wird, der dann nicht überall, sondern an den schwächsten Stellen der Erdrinde in Faltungen zuwegebringt. Das geschähe, weil die gesamte Erdrinde eine "dynamische Einheit" wäre und so die Konzentration der Rindenzusammenschübe auf gewisse Gebiete möglich ist. Die Auslösung sollte **periodisch** geschehen, immer wieder nach langen Zeiträumen, Dabei sollten sich vor, bei und nach einer Orogenese immer wieder die gleichen oder jedenfalls ähnliche Vorgänge einstellen, konnten darin "Gesetzmäßigkeiten" gesehen werden, gab es einander ähnliche **Zyklen** (s.d.). Auf den großen, jeweils einen Zyklus abschließenden **Gebirgsbildungen** sollte die **Großeinteilung der Erdgeschichte** beruhen (R. A. SONDER 1922, S. 248) und nur sekundär auf Flora und Fauna mit ihren Paläozoikum, Mesozoikum usw.. Neben SONDER dachte daran auch STILLE. Die großen Einschnitte in der Pflanzen- und Tierwelt würden wegen der mit den in den Zyklen stattfindenden Transgressionen gemäß SONDER von den Zyklen bestimmt werden, wären also nur deren Widerspiegelung. Die Gebirgsbildungen wären immer wieder die sich erneuernde Grundlage für Umbildungen: "So liegt hinter Stratigraphie wie auch Paläontologie der geologische Diastrophismus, welcher die Bedingungen der ersteren festlegt" (R. A. SONDER 1922, S. 248). Da mußte also die Evolution und die Durchsetzung der neuen Formen mitspielen. Vielleicht sollte man auch bedenken: Kannte man erdgeschichtliche näherliegende Orogenesen konnte dann durchaus im Sinne des Aktualismus auf weit entferntere geschlossen werden.

Manche Forscher, Physiker wie Geologen brachten nun im 20. Jh. ernsthafte **Einwände**

gegen die Kontraktionstheorie vor oder **modifizierten** sie. Die fortgesetzte Abkühlung mußte wenigstens als verlangsamt angenommen werden, als nach 1896 die ständige Wärmebildung durch die zerfallenden radioaktiven Elemente in der Erdkruste aufgefunden wurde. Die Erdschrumpfung wurde dann nicht oder wenigstens nicht allein auf Wärmeabgabe zurückgeführt, ja letztere war zur Erdschrumpfung vielleicht gar nicht nötig. Erdschrumpfung sollte aber sein. Gedanken hierzu brachte der schon beim Vulkanismus genannte NÖLKE. Neben der bloßen Wärmeabgabe sollte die Erdschrumpfung nach der Ansicht anderer Geologen zumindestens auch durch **Umkristallisationen im Erdinneren**, durch Volumenverringern der Gase bei der Erdabkühlung. SONDER diskutierte 1922 stoffliche Umwandlungen im Erdinneren, die auch zur Bildung eines Eisen-Nickel-Kernes geführt haben.

Unter den Geologen gab C. MORDZIOL einmal (1937, S. 415) zu bedenken, daß die Erdrinde so ungleich gestaltet ist, daß der Wärmeabfluß nicht durch einen "homogenen Körper" geschähe, die erstarrte Rinde sich nicht "in toto" kontrahieren würde. Die bisherige "Schrumpfungstheorie (im Sinne von DANA, SUESS, HEIM und anderen)" wäre "als ein physikalisch unzulänglicher Gedankengang abzulehnen." Der Alpengeologe AMPFERER meinte, daß Stücke der Erdkruste wegen ihres Gewichtes und der zu geringen Festigkeit der Gesteine und Gesteinsgefüge nicht frei tragen können. Es kann damit kein Schrumpfen im Erdkern und Gewölbebildung darüber geben. KOSSMAT (1936, S. 386) bedachte, daß die Verjüngung der Geosynklinalen im "asiatischen Faltenkomplex und in Europa" nur südwärts geschah, aber bei Schrumpfung beidseitig hätte stattfinden müssen.

Mit der Annahme vieles vernichtender Meteoriteneinfälle ist natürlich alles anders zu sehen!

Für NÖLKE (1939) galt die Kontraktion als sicher, weil es Änderungen in der Rotationszeit der Erde gegeben hätte, und zwar, berechnet von dem Geophysiker BRUNO MEYERMANN, eine Beschleunigung infolge der Verkleinerung des Erdradius.

Die junge Zeit der Erdgeschichte - eine Ausnahmezeit in der viele Milliarden Jahre langen Erdgeschichte?

Über das **weitgehende Gleichbleiben oder eine irreversible** und dann nicht mehr so recht mit dem Aktualismus übereinstimmende **Änderung** der geologischen Vorgänge wurde gerade im Zusammenhang mit der Schrumpfungstheorie nachgedacht. Mit der Schrumpfung der Erde, mit Entstehung der Gebirge, mußte eine **zunehmende Dicke der Erdrinde** angenommen werden, was nicht oh-

ne Änderung in den tektonischen Vorgängen bleiben konnte. Über die mögliche Veränderung der Gesteinsbildung war schon oben die Rede. Rechnete man mit der **Abkühlung** der Erde von einem glutflüssigen Zustand aus, so mußte in heißeren Perioden manches anders verlaufen sein als später, gemäß etwa dem Abkühlungshypothese vertretenden HERMANN CREDNER (1871, S. 5): "In früheren geologischen Perioden, wo die Erdkruste ihre heutige Dicke und deßhalb größere Widerstandskraft noch nicht erreicht hatte, waren die Hebungen und Senkungen, denen die einzelnen Theile unterworfen waren, weit großartiger und lösten sich gegenseitig in häufigerem Wechsel ab als heutzutage." Frage war, ab wann die Abkühlung so weit fortgeschritten war, daß der Gegenwart vergleichbare Zustände bestanden, ob schon vor der von den Geologen erforschten Zeit oder bereits vorher. STILLE (1922, S. 11) meinte mit Verweis auf die zeitliche Gebundenheit der Orogenesen, daß "hinsichtlich der tektonischen Vorgänge ... doch die Katastrophentheorie zu einem gewissen Rechte kommen" muß. Aber die allgemeinen Bedingungen müssen auch nicht generell immer gleichartig gewesen sein. Umstritten blieb etwa für W. SALOMON (1924 a), ob aus jüngerer Zeit stammende Verwerfungen wirklich um vieles geringer als zurückliegende waren oder stets nur das aus der Gegenwart bekannte Maß bei den Dislokationen bestimmend war. Was das **Klima** betrifft, das von veränderter Strahlung der Sonne oder zunehmenden Verlust der erdinneren Wärme beeinflußt werden mußte, so sprach etwa nach FRITZ KERNER-MARILAUN 1934 (S. 55) vieles dafür, daß die "geologische Zeitspanne" in der Geschichte der Erde ungeachtet ihrer "riesigen Länge" doch nur einen kurzen Abschnitt der gesamten Lebensdauer der Sonne und der Erde ausmacht und daß sich das Klima in diesem von der Erdgeschichtsforschung untersuchten Zeitraum nicht grundlegend änderte.

Die gegenwärtige Periode in der Erdgeschichte, also das Quartär, wurde etwa durch B. WILLIS (1910. so S 242)) als eine **besonders vielgestaltige** eingeschätzt, als die Zeit nach einer intensiven Orogenese, jener des Tertiär, der folgenden Eiszeit und nunmehr wieder einer Stabilisierung der Verhältnisse, wenn es möglicherweise auch nur eine Zwischeneiszeit ist.

Weitere Mannigfaltigkeit von Zusammenhängen in der Erdgeschichte gesehen

Andere Forscher brachten andere Erscheinungen in die großen erdgeschichtlichen Zusammenhänge ein oder betonten stärker einzelne Aspekte der Zusammenhangsbetrachtungen. Groß war auch der **Zusammenhang** in der Entwicklung des **Lebens**, namentlich der Vegetation, **und der anorganischen Vorgänge**.

WLADIMIR KÖPPEN und ALFRED WEGENER (1924) hoben wie andere die Entstehung der großen **Kohlenlager in Zeiten der großen Gebirgsbildungen** hervor, Das sollte aber nicht in Zusammenhang mit mehr Kohlendioxid stehen, sondern das Ergebnis von frischer Faltung und **Gebirgsbildung** sein, wodurch **Becken** entstanden, in denen sich große Torflager mit Kohlebildung ausbildeten.

Nach FRANZ LOTZE (1938) etwa war die in bestimmte Perioden gehäufte Entstehung der großen **Salzlager** an **abgeschnürte Meeresbecken** gebunden, die ebenfalls **durch Orogenesen** zustandekamen und in denen die aus Verdunstung abgeschiedenen Salze **mit schützendem Material bedeckt** wurden. Da in bestimmten Gebieten die epirogenen Tendenzen blieben, konnte sich gerade dort die Salzbildung auch wiederholen.

DALY sah weniger Kalk im kambrischen Meere, weil es weniger 'kalkraubende' Organismen gab (G. STEINMANN 1910).

J. WALTHER (1919) sah, daß die teilweise tiefen Braunkohlenflöze in Mitteldeutschland zustandekamen auf einem Untergrund, der sich durch Salzauslaugung lange **senkte**. Die **Salzlager** waren also Voraussetzung, daß sich **tiefgründige Braunkohlenlager** ausbildeten.

Braunkohlenwälder mit ihrer Bildung von Humussäure und Kaolinbildung beschrieb in ihrer Beziehung RICHARD LANG (1920).

Gebirgsbildungszyklen und erdgeschichtlicher Großablauf

Zyklisch erschienen vor allem die Gebirgsbildungen, wobei nicht immer mögliche Beziehungen zur Organismenentwicklung einbezogen wurden. Die Erdgeschichte lieferte die für alle mehr oder weniger gleichen Daten, aber jene, welche Zyklen ableiteten interpretierten sie nicht immer gleich. Zyklen, das bedeutete 'historische' Gesetze wegen der Wiederholungen.

Der Hallenser Vulkanologe **FERDINAND VON WOLFF** unterschied **5 Zyklen in der Erdentwicklung**. Im Jahre 1909 sah er 1. den Algonkischen Zyklus mit der Hebridischen Gebirgsfaltung und der Präcambrischen Eiszeit, 2. der Altpaläozoische Zyklus mit der Brasilischen Gebirgsbildung und der Silurischen Eiszeit, 3. der Mittelpaläozoische Zyklus mit der Kaledonischen Gebirgsfaltung und der Devonischen Eiszeit, 4. der Jungpaläozoische Zyklus mit der von ihm Hercynische Gebirgsbildung genannten Orogenese, die sonst nach SUESS Varistische Gebirgsbildung heißt, und der Permischen Eiszeit, 5. der Mesozoisch-känozoische Zyklus mit der Alpinen Gebirgsbildung und der Diluvialen Eiszeit. Von den Eiszei-

ten sollte die diluviale die größte gewesen sein. Die mit den Zyklen verbundenen Zeiten vulkanischer Aktivität aber wurden nach v. WOLFFs Ansichten immer kürzer. Eine **allmähliche Abkühlung** der Erde, eine grundlegende Annahme in vielen umfassenden geologischen Theorien, sollte generell stattgefunden haben, der radioaktive Zerfall von chemischen Elementen in der Erdkruste habe jedoch den Abkühlungsprozeß "außerordentlich stark aufgehalten" (v. WOLFF 1908, S. 459). Dadurch wurden jene so nahezu unendlich wirkenden Zeiträume geschaffen, in denen sich das organische Leben auf dem Wege der allmählich en langsamen Evolution in DARWINs Sinne zu der gegenwärtigen Höhe entfalten konnte. Schnellere Abkühlung der Erde hätte eine solche Evolution des Lebens verhindert. Es hätte den Organismen an ausreichender Zeit zur langsamen Umbildung gefehlt. **Radioaktivität und damit verzögerte Abkühlung** standen also **im Zusammenhang mit der Evolution des Lebens** - ein wohl origineller Gedanke. Manchmal wird auch jede Abkühlung wegen der radioaktiv bestimmten Wärmebildung bezweifelt.

SONDER (1922) versuchte herauszufinden, was sich in den verschiedenen Zyklen in ähnlicher Weise abspielt, also was jeder Zyklus mit den anderen gemeinsam hat. Wie schon erwähnt, wurde dabei die Kontraktionstheorie vorausgesetzt. 1. Nach einer Orogenese ist die Tangentialspannung, also der Seitendruck in der Erdkruste, der 'Rindenstreiß' "auf ein Minimum reduziert. Die Niederungen sind zudem den reichlichen Erosionsprodukten der eben aufgestauten Gebirge aufgefüllt", die Kontinentalgebiete sind größtenteils über Wasser, "man wird von der **Kontinentalphase** des Zyklus sprechen" (S. 244), "eine Zeit der Ruhe" (S. 245). Wüstenbildungen mit Sandsteinen, Konglomeraten, Salzlager und ähnlichen bilden sich. Mit epirogenetischer Wallung des Bodens erscheinen auch "seichtmarine Ablagerungen in den tiefergelegenen Becken" (S. 244), unter anderem mit Dolomiten. 2. In der folgenden **Submergenzphase** nehmen die Transgressionen zu. Die "Tangentialspannung" "nähert" "sich der kritischen Grenze" (S. 245). Es gibt dann "ausgesprochene orogenetische (Vor-)Bewegungen" (S. 245). 3. Im nächstfolgenden **Wechselstadium** gibt es raschen Wechsel in der Land-Wasser-Verteilung. 4. Den Abschluß bildet die wieder zu einem andauernden Festlandsstadium überleitende "**Emergenzphase**" mit intensiven Faltungen und "Bildung von ausgesprochenen Deckfaltengebirgen", "eine Zeit maximaler orogenetischer und epirogenetischer Unruhe ... Zeit der "Revolution", des "Diastrophismus" ... Die vulkanische Tätigkeit erwacht zu ihrer maximalen Stärke" und "... Vereisungen" geben "noch eine besondere Note" (S. 246).

Dieser Ablauf in einem Zyklus sollte sich also in den von STILLE unterschiedenen und in vor allem in Europa festgestellten Orogenesen (s.d.) wiederholen haben. SONDER teilt aber das Paläozoikum, denn es gäbe nach noch kaum erforschten

präkambrischen Zyklen einen sich an das Kambrium anschließenden Zyklus bis zur Kaledonischen Gebirgsbildung im Obersilur, der "Eopaläozoische Zyklus" (S. 252). Und dann käme der neue Zyklus bis zum "Ausklängen der permokarbonischen Revolutionsperiode", also zum Ende der Varistischen Gebirgsbildung. SONDER nennt sie wie manche anderen Geologen "Hercynische Gebirgsbildung". Die mesozoische Ära sollte dann beendet werden durch die Emergenzphase im Tertiär, also unserer alpidischen Orogenese. Das Tertiär sollte als Abschluß all der Vorbereitungen im Mesozoikum dem Mesozoikum zugerechnet werden. Für ein Känozoikum blieb dann nicht mehr viel. In ihm wäre nun weitgehend Ruhe, "weil der "tangentiale Rindenstreiß ... noch bei einem Minimum liegt" (S. 240). Immerhin war das Paläozoikum zweigeteilt worden. Abweichungen und begrenzte gebirgsbildende Einschübe in die Großphasen sollten das Bild ergänzen. Mit der für Nordamerika eingehend dargestellten unterschiedlichen Meeresbedeckung sollten die Phasen erkannt werden.

In jeder vergleichbaren Phase in jedem Zyklus ein ähnliches Auftreten von **bestimmten Eruptivgesteinen** erfolgen, wie es ähnlich STILLE (s. d.) gesehen hatte. Bestimmte "**Faunen und Floren**" und hier ohne Wiederholung der Gruppen gehörten wegen der Zyklizität in der Erdentwicklung bestimmten Perioden an und sind dann erdweit festzustellen, und das in Europa aufgestellte stratigraphische System ist dann aber "in seinen Hauptzügen über die ganze Erde hin anwendbar" (S. 248). Eingebettet in bestimmte Stadien der Zyklen waren auch **Kohlen und Erdöl**, sofern die Organismen dafür in der Evolution erschienen waren (S. 262). Ein Problem wäre. Die Kälteperiode am Ende eines Emergenzstadiums klingt nicht allmählich aus (S. 245), sondern wie die verschiedenen Eiszeiten des Pleistozän zeigen in Oszillationen, und zwar nach Abschluß der alpidischen Faltung. Und Begriffe wie "Revolution" oder "Diastrophismus" kann der Kenner auf ihre in Millionenen geltendes Zeiten zurückführen. Jedoch der Amateur? Der vielleicht an Erdbeben denkt und dann vergißt, daß solche noch nicht eine "Erdrevolution" ankündigen? Zum Zeitablauf bei Gebirgsbildungen sollte man an das denken, was die aus ihrer Antezedenz entwickelten Durchbruchstäler lehren (s. d.).

ERNST **KRAUS** hat etwa im Jahre 1928 als Zyklen unterschieden, daß nach Zeiten weiter Meeresverbreitung, Gebirgsbildung stattfand und eine Zeit der "**Geokratie**" folgte, eine Zunahme von Festland. Nach der kaledonischen Orogenese kam die "geokrate" Zeit des Unterdevon, nach der varistischen Orogenese die von Kontinenten geprägte Zeit von Perm / Trias, und auf die alpine Orogenese des Tertiär die Festlandszeit von Pliozän / Diluvium. **Mit Geokratie** ging jeweils **der mildernde ozeanische Einfluß verloren** und gab es **Wüstenausbreitung und Eiszeit**.

Man möchte anfügen; Wie ereignislos erscheint dann das Mesozoikum?.

Zu den großen Zusammenhängen gehört auch die Vorstellung von STILLE über die **Entstehung Europas** im Zusammenhang mit auch erdweiten Orogenesen, wovon schon die Rede war. Ein ähnlicher Entwicklungsgang wie ihn STILLE namentlich für Europa ausbildete sollte auch für Asien gelten wie für die Südhalbkugel, was STILLE mehr nur andeutete.

Wie BUBNOFF es schildert (1956, S. 624). "Das Tertiär ist eine Zeit grundlegender Veränderung des Erdreliefs. Es entstehen die Falten und Deckenüberschiebungen des eurasiatischen Gebirgsgürtels, gefolgt von der Umprägung zu Hochgebirgen; zugleich werden die angrenzenden Schelfe durch Bruchfaltung und durch mehrfachen Wechsel von Einebnung und Reliefbildung zum heutigen Landschaftsbild umgeformt; schließlich werden die Kontinentalkerne zu großen Bruchzonen zerspalten, aus denen vulknaische Schmelzen aufquellen."

Als seltenes Ereignis, was seit dem Kambrium jedoch nicht mehr eingetreten war, sollten die Hochkratone im Verlaufe der langen Erdgeschichte auch wieder zu Geosynklinalen werden können. Aber eine solche 'Regeneration' habe es in der Erdgeschichte bisher nur dreimal gegeben. Die gegenwärtige 'Großzeit' der Erde, in der sich die gesamte seit der 'assyntischen Ära' durch Gebirgsbildungen erfaßbare Erdgeschichte Europas sich abspielte, war die '**Neogäische Großzeit**' (H. STILLE 1955).

Die Vorstellungen STILLES (Wikipedia 2018) gerieten nach 1960 in den Strudel der Vorstellungen über die Kontinentalverschiebungen und der Plattentektonik, und es scheint noch nicht abgeklärt zu sein, was von STILLES Bild vom - geologisch - werdenden Europa auch im neuen Bilde der Erdgeschichte bleibt. STILLE war wie CLOOS Fixist. Bei ihm gab es keine Kontinentenverschiebung. Europa kann auch in den Vorstellungen von der Kontinenten-Verschiebung sich gebildet haben wie STILLE annahm, nur daß seine Ansichten über die Phasen der Europa schaffenden Gebirgsbildungen mit der Nordwärtsdrift der Afrikanischen Platte verknüpft werden mußten.

Die Frühzeit der Erde wird verstärkt erforscht - Die 'Chemische Evolution', die Entstehung des Lebens auf der Erde, Entwicklung in einer andersartigen Atmosphäre in der erdgeschichtlichen Frühzeit

Der in LYELLS aktualistischer Betrachtung der Erdgeschichte weitgehend ausgeblendeten **Frühzeit der Erde** wurde im 20. Jh. erhöhte Aufmerksamkeit entgegengebracht, ja sie rückte bei etlichen Chemikern und Biochemikern in den Mit-

telpunkt ihrer Forschung. Mit diesen Untersuchungen wurde in die Vergangenheit nach unten, hinter den Bereich der klassischen Geologie geschritten, die damit zumindestens wieder Anschluß gefunden hatte an aller Dinge Anfang, der schon spekulativ im Gesichtskreis von LEIBNIZ gelegen hatte. LYELL schränkte den geologischen Forschungsbereich im wesentlichen in das nach-cambrische Zeitfenster ein, um sich auf seinerzeit Erforschbares zu beschränken. Das 20. Jahrhundert konnte besonders nach Forschungen in Uraltgebieten wieder erweitern. Als Alter der Erde wurde nach der Methode mit den radioaktiven Elementen um 1989 mit 3,8 Milliarden oder auch 4,5 Milliarden Jahren gerechnet (L. BADASH 1989, S. 83).

Als **höchste Einheiten in der Erdgeschichte**, chronologisch, gelten nunmehr die **Äonen**, von denen von unten her 3 unterschieden werden: 1. **Archaikum**, 4000 - etwa 2500 Millionen Jahre vor heute, entspricht etwa dem einstigen Azoikum, Archäozoikum; 2. **Proterozoikum**, mit einfachen Lebensspuren, entspricht dem einstigen Algonkium oder Eozoikum, 3. **Phanerozoikum**, ab etwa vor 541 Millionen Jahren vor heute, mit nun **'sichtbarem'/phanero(s)** Leben (Wikipedia 2018; C. MEYER 1985 u. a.). Das Archaikum ist die längste Ära der Erdgeschichte und nimmt etwa 45% der Erdgeschichte ein, aber bietet heute nur weniger als 20% der Oberflächenaufschlüsse (spektrum.de), die sich vor allem auf den damals entstandenen Kratonen finden, an die sich die jüngeren Krustenteile angliederten.

Den Milliarden von Jahren gegenüber muß die erdgeschichtlich nur seit sehr kurzer Zeit existente Menschheit bedenken: "What a wonderful Earth. Let us not destroy what took 4,6 billion years to create" (zit. B. SCHMITZ 2012, S. 39).

Es galt, das Zustandekommen der späteren, **mit höheren Lebewesen verknüpften Verhältnisse** zu deuten.

Die Geschehnisse auf der Erde wurden entscheidend bestimmt vom Vorhandensein bestimmter Elemente oder chemischer Verbindungen. Es mußte demnach als wichtig erscheinen, daß bekannt ist **welche chemischen Elemente und Verbindungen in den verschiedenen Perioden** der Erdgeschichte **vorhanden** waren und **in welchen Mengen**, und in wie weit gebunden oder dann in Wasser gelöst, als Ionen .

Hinsichtlich der Anhäufung von bestimmten Elementen an der Erdoberfläche notierte GOLDSCHMIDT 1937 (aus: H. C. UREY 1953), daß die Konzentration abhing von der Flüchtigkeit der Verbindungen unter den hohen Temperaturen der frühen Erde und auch der Nachlieferung aus Vulkanen. Leichte Elemente gingen der Erdatmosphäre verloren. Vor allem der elementare Wasserstoff. Auf der Erdoberfläche angehäuft haben sich die Verbindung Wasser, als Element Stickstoff,

Sauerstoff, in Verbindungen Kohlenstoff, Chlor, Brom, Bor. Wichtig waren die jeweils möglichen Reaktionen zwischen den Elementen, innerhalb der Atmosphäre und mit der Erdoberfläche. Mit ausreichend Sauerstoff würden andere chemische Reaktionen in der Atmosphäre ablaufen als ohne ihn (H. C. UREY 1953). In einer reduzierenden Atmosphäre wären etwa auf der Erdoberfläche als Elemente Quecksilber, Zinn, Cadmium, als Sulfide aufgestiegen und durch Wasser reduziert, denkbar. Im Ozean waren lösbar Verbindungen von Chlor, weniger von Brom und Bor, als elektropositive Äquivalente Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium. Schwefel könnten also Sulfat im Ozean erscheinen.

Die Frühgeschichte auch der Lebensentstehung unter den Bedingungen der Urerde hatte in den USA T. C. CHAMBERLIN (R. T. CHAMBERLIN 1932) erörtert und in Rußland OPARIN. 1924 stellte OPARIN Ansichten vor, über welche Stufen chemischer Reaktionen sich unter den Bedingungen der frühen Erde Aminosäuren und schließlich Eiweiße bildeten und es so zu chemischen Voraussetzungen für Organismen kam. OPARINs Annahmen blieben nur in groben Zügen akzeptabel, aber OPARIN kam das Verdienst zu, einen ganz neuen Gesichtspunkt in die Frage nach der Entstehung des Lebens gebracht zu haben: **Leben entstand nicht unmittelbar aus anorganischen Substanzen**, sondern ihm **ging eine a-biogene, nicht an Organismen gebundene Entstehung organischer Substanzen voraus**, und zwar bis hin zu kompliziertere Substanzen, Eiweiße etwa. Im Laboratorium war seit WOHLER und noch mehr BERTHELOT die Bildung organischer Substanzen aus anorganischen bewiesen und nur in der gegenwärtigen Natur schien das nur noch an die grünen Pflanzen gebunden zu sein. Der USA-Biochemiker CALVIN wird für die Herausbildung immer neuer organischer Substanzen in der Frühzeit der Erde später der Begriff der '**Chemischen Evolution**' prägen. OPARIN hatte das der Sache nach also erörtert.

Auch der US-amerikanische Chemiker UREY (K. P. COHEN et al. 1983) hielt die frühe Atmosphäre der Erde für 'reduzierend', das heißt ungenügend mit Sauerstoff besetzt. Oxydationen spielten demnach in dieser Zeit keine Rolle. Durch ultraviolette Licht und elektrische Entladungen konnten Reaktionen in Gang gesetzt werden, welche die 'präbiontischen' Verbindungen entstehen ließen. Der seinerzeitige Student STANLEY MILLER (1959) hat als weitgehend erster in seiner Doktorarbeit in UREYs Laboratorium in Gefäßen die vermutete Ur-Atmosphäre aus Methan, Ammoniak, Wasserdampf, Wasserstoff nachgebildet und sie elektrischen Entladungen ausgesetzt. In etlichen Monaten hatten sich Aminosäuren gebildet. Für das Urmeer war also eine "**Chemische Evolution**", eine Umbildung von Substanzen bis hin zu Eiweißen anzunehmen. Solche Experimente wie MILLER mit anderer Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien und unter anderen Außendingungen wurden noch zahlreiche durchgeführt (s. a. ZIRNSTEIN Datei

'Evolution'). Immer wieder und bis in die neueste Zeit wurden noch ganz andere Möglichkeiten der Entstehung des Lebens erörtert. Der Münchener Chemiker und Patentanwalt GÜNTER WÄCHTERSHÄUSER postulierte, daß Leben wohl eher im Umfeld heißer schwefelhaltiger Quellen auf der Oberfläche von Pyritkristallen zustandekam als im Meer, es also neben dem von UREY und MILLER angenommenen Weg einen **anderen**, sogar als mehr wahrscheinlich angenommenen **Weg der 'Chemischen Evolution'** gab..

Das entstandene Leben war dann etlichen großen, auch lange dauernden Umbrüchen ausgesetzt. Die frühen Lebewesen dürften heterotroph gewesen sein, lebten von den abiotisch entstandenen organischen Stoffe des Urmeeres. Ihr Aufbrauchen brachte die erste große Ressourcenverknappung in der Geschichte des Lebens. Fortbestand und Weiterentwicklung des Lebens wurde davon abhängig, daß sich autotroph ernährende Organismen entstanden, die aus anorganischen Stoffen, aus Wasser und Kohlendioxid und Stickstoff-(Verbindungen), organische Substanzen aufbauten und daraus auch Energie gewannen. Die Eisenbakterien sind wohl eine alte und bis heute überlebende Organismengruppe, welche im Wasser gelöstes zweiwertiges Eisen (so FeO) unter Verbrauch von Sauerstoff in Verbindungen von 3-wertigem Eisen überführt, und so Energie gewinnt, mit einer Ausbeute von etwa 1/20 der normalen Sauerstoffatmung. Das abgeschiedene Eisen-III wird nicht weiterverwertet, lagert sich ab, läßt die 'verrosteten Gewässer' entstehen, fällt also aus dem Stoffkreislauf, aus dem 'Recycling' heraus (J. H. REICHHOLF 1996). In großen Mengen abgeschieden, entstanden nutzbare Eisenerzlager, so in der Vorzeit die lothringische Minette und in jüngerer Zeit die Raseneisenerzlager, die etwa in feuchten Gebieten der Mark Brandenburg abgebaut wurden. Es gibt also Prozesse in der Natur, welche zu natürlicherweise nicht abbaubaren Abfällen führen und dabei Ressourcen, hier das Fe++ nur verbrauchen. J. H. REICHHOLF meint (1996, S. 178), daß für mehr als 3 Milliarden Jahre mit Leben auf der Erde es nur so funktionierte, daß "Stoffe genutzt, umgesetzt und Endprodukte angehäuft" wurden. Das Recycling ist "eine "Erfindung" der letzten halben Milliarde Jahre" und richtig funktioniert hat das Recycling erst im "letzten Zehntel der Existenzzeit des Lebens."

Daß Pflanzen **mineralische Nährstoffe** erhielten, war wenigstens in großem Maße gebunden an die Existenz von Kontinenten. Auf ihrer Oberfläche mit ihren verschiedenen Gesteinen, gerade auch den aus der Tiefe emporgebrachten, hat die **Verwitterung** die benötigten **Nährstoffe** freigesetzt und kamen **auch in die Gewässer** (B. SCHMITZ nach R. M. HAZEN 2012).

Sauerstoff in die Atmosphäre und im Wasser - eine neue Entwicklung auf der Erde, ein Umbruch, langdauernder, im Geschehen auf der Erde

Die 'Erfindung' des Chlorophyll, das die beste Photosynthese ermöglichte, und das unter Sauerstoff-Freisetzung, zuerst bei Prokaryoten und dann durch Symbiose auch bei Eukaryoten, gehört zu den **Großereignissen in der Erdgeschichte** (B. SCHMITZ 2012) - Ereignis natürlich mit langsamem Verlauf, zurückliegend etwa 2.400 Millionen Jahre (D. T. JOHNSTON et al. 2009). Mit dem Erscheinen von reichlich Sauerstoff, der 'oxygenation' (C. MEYER 1985, S. 1472) in der Atmosphäre und dann auch in den Meeren, gab es umfassende Neuerungen in organischen Welt, auch wurde an der Erdoberfläche oxydiert, wurden oxydische Mineralien gebildet. Es kam zur Bildung auch neuartiger nutzbarer Erze (CH. MAYER 1985, S. 1472).

Blaubakterien/**Cyanophyta** mögen die **ersten Organismen** mit der Fähigkeit der Nutzung von Kohlendioxid für die Bildung organischer Substanz gewesen sein und sie **gaben Sauerstoff ab**. Es hatte sich offenbar sehr viel Kohlendioxid, vulkanischer Herkunft, in der Erdatmosphäre angesammelt. Mit dem Auftreten von grünen Pflanzen wurde ein großer Teil des Kohlendioxids zunehmend abgebaut. Es kam auch zu einer Temperaturlinderung. Der hohe auf die Cyanophyta zurückzuführende Sauerstoffgehalt einer Atmosphäre ist eine **Besonderheit der Erde** gegenüber anderen Himmelskörpern im Sonnensystem (H. D. HOLLAND 1990). Der Sauerstoff oxydierte zahlreiche Stoffe der Erdkruste. Für viele Lebensformen war der Sauerstoff Gift. Aber der Sauerstoff ermöglichte die Herausbildung von Lebewesen, welche Sauerstoff zur Energiegewinnung im Körper nutzen, also die Tiere, allgemein komplexe multizelluläre Organismen. In Symbiose mit anderen Bakterien mochten die kernlosen Cyanophyta dann die ersten kernhaltigen Zellen mit Chlorophyllkörnern herausgebildet haben.

In die Tiefen der Ozeane drang gasförmiger, gelöster Sauerstoff später ein, vielleicht beginnend vor 580 - 550 Millionen Jahren (D. T. JOHNSTON et al. 2009). Im Meer herrschten für vielleicht mehr als 1.000 Millionen Jahre mit Ausnahme der Oberflächenschichten also **euxinische Zustände**, mit Schwefelwasserstoff und Sulfiden, wie in den Tiefen auch des heutigen Schwarzen Meeres schon bekannt war. Man spricht vom **Proterozoic Stadium**. Was in der späteren Erdgeschichte immer mehr nur regional auftritt, euxinische Meeresteile, war also einst der ozeanische Normalzustand. In der Biosphäre der Erde sind also 3 langdauernde Stadien anzunehmen: "the anoxic Archean, intermediate Proterozoic, and fully oxygenated Phanerozoic" (D. T. JOHNSTON 2009, S. 16928).

Die Folgen des reichlicheren Erscheinens von Sauerstoff für die Mineralbildung an der Erdoberfläche hat HAZEN (zit. bei B. SCHMITZ 2012, Internet) in den USA eingehender beschäftigt. Es hätten 2/3 der etwa 4.500 Minerale auf der Erde ohne Sauerstoff in der Atmosphäre nicht gebildet werden können. Mit der organischen Evolution war also eine **”mineralische Evolution”** verbunden, ein HAZEN zugebilligtes Konzept. Ein Anstoß dafür hätte es bei einer Weihnachtsfeier gegeben, als jemand nach den Tomineralien des Archean fragte (Internet).

Einst, vor etwa 600 Millionen Jahren (P. F. HOFFMANN et al. 2000), wegen der Kontinentenzusammenballung am Äquator gab es augenscheinlich eine **erdweit vergletscherte** eisige **Erde**, die **’Snowball Earth’** nach der Bezeichnung von J. J. KIRSCHVINK; dann brachte der aus Vulkanen kommende **zunehmende** Gehalt an **Kohlendioxid** eine **starke Erwärmung**, einen **”super-greenhouse effect”** (B. SCHMITZ 2012).

Lebewesen verändern die Erdoberfläche - Zusammenhänge von Leben mit Atmosphäre, Gesteinsbildung, Hydrosphäre

Betonung der Rolle der Organismen: W. J. VERNADSKY. - Der Gedanke der Biosphäre

Die Rolle der Lebewesen wurde in ihrer anzunehmenden Stärke bei den Vorgängen auf der Erde, besonders auch den geochemischen, betont von VERNADSKY (dtsh. 1930), dem führenden russischen Geochemiker, der neben den US-amerikanischen Geochemikern damit neue Gesichtspunkte einbrachte. Für diese neue Richtung der **”Biogeochemie”** hatte VERNADSKY nach eigenem Bekunden 1918 an der neu begründeten Ukrainischen Akademie der Wissenschaften in Kiew eine kleine Forschungsstelle errichten können, aber konnte sie nicht lange halten. 1926 begründete er eine neue solche Forschungsstelle, **”Zentralstelle”**, an der Akademie der Wissenschaften im damaligen Leningrad. VERNADSKY hatte seine Vorstellungen 1923 bei Vorlesungen in der Pariser Sorbonne weiterentwickelt und dazu 1924 ein Buch in französischer Sprache veröffentlicht. Es erschien 1927 erweitert auch auf Russisch, 1930 auf Deutsch.

In der von VERNADSKY **”Biosphäre”** genannten dünnen Sphäre der Erdkruste sollten die Organismen in maßgeblicher Weise in den Kreislauf, in die **”Migration”**, den Ortswechsel, der Elemente eingreifen, und zwar vor allem durch die Atmung und Ernährung. Der von VERNADSKY viel benutzte Terminus **”Geosphäre”** wurde von VERNADSKY auf MURRAY zurückgeführt.



Abbildung 599: VERNADSKY. Kiew.

Angenommenes Primat der Organismen-Evolution bei zahlreichen erdgeschichtlichen Vorgängen und ihrer dadurch bedingter Irreversibilität Nicht nur wirkten augenscheinlich anorganische Ereignisse, Gebirgsbildungen und Meeres-Transgressionen, auf die Organismenwelt. Es wurde klar: Mit dem **Auftreten neuer Organismengruppen** auf der Erdoberfläche mußten sich auch **anorganische Vorgänge** ändern. Die **Biosphäre**, so wurde dann gesehen, hat **ihre Umwelt selbst geschaffen**, mit durch die chlorophyll-führenden Lebewesen aus der Entnahme von Wasser und Kohlenstoff gebildetem Sauerstoff die "Zusammensetzung der Atmosphäre, die Entwicklung der Böden, die Qualität der Gewässer" (B. ULRICH 1996, S. 49). Gewiß, die endogenen Kräfte blieben von Lebewesen unbeeinflussbar. Auch der arme Mensch steht dem bei jedem Erdbeben oder Vulkanausbruch hilflos gegenüber. Aber verschiedene Organismengruppen haben auf manche exogene Erscheinungen Einfluß genommen, auf Verwitterung und Bodenbildung, auf die Bildung biogener Gesteine, auch Lagerstätten. Und die heutige Zusammensetzung der Atmosphäre ist als Ergebnis von Organistentätigkeit zu sehen.

Etliche Geologen, in Deutschland etwa, betonten besonders nach 1930 stärker als bisher, daß in der Erdgeschichte Einmaligkeit der allerdings langdauernden Ereignisse bestand, daß immer neue und nicht wiederholbare Kombination der Faktoren eintrat und daß der Aktualismus wegen der immer einmal neuen Organismenwelt nur begrenzte Gültigkeit habe. Gerade **die alten Formationen** wurden wegen

der damals anderen, in vielen Festlandsregionen fehlenden Organismenwelt gern einbezogen. K. HUMMEL, der 1940 die **Geochemie mit der Erdgeschichte** in Verbindung brachte, nannte diese Untersuchung von Organismen und anorganischen Vorgängen auf der Erde eine "Antwort auf ganz neue grundsätzliche Fragen von weltanschaulicher Bedeutung" (S. 466), lobte "sich frei zu machen von dem mechanistisch-materialistischen Gedanken, daß das Anorganische stets das Ursprüngliche und Ursächliche sei" (S. 465). Hatten sich diese Geologen noch positiv zur nationalsozialistischen Bewegung geäußert, war nach 1945 der Vorwurf bereit, daß hier der damaligen Weltanschauung Vorschub geleistet wurde, dem Biologismus der Zeit. Aber Zusammenhänge, wenn begründet, können ja nicht abgelehnt werden, weil man sie mit gewissen eigenwilligen Gedanken einer nun wenig erfreuliche Zeit in Verbindung bringt. Leider mußten Wissenschaftler auch immer wieder versuchen, mit gewissen Anschauungen ihrer Beherrscher gutzustellen, wenn es mit der Wissenschaft nicht vorbei sein sollte Zusammenhänge in der Natur - wer wollte sie nicht erkennen.

Organismenentwicklung und anorganische Ereignisse in ihren Beziehungen bei deutschen Geologen spezieller

Die durch die **irreversible Evolution** bedingte Irreversibilität von auch anorganischen Ereignissen auf der Erdoberfläche hatte WALTHER betont, so in seinen Vorstellungen zur **Lithogenese**. Je nach der Besiedlung der Erde mit unterschiedlichen Organismengruppen, sei es im Meer und auf dem Festland, gab es unterschiedliche Stoffumsetzungen-, Verwitterungs- und Abtragungsvorgänge.

In den 30- und 40er-Jahren des 20. Jh. diskutierten solche Zusammenhänge in Deutschland etwa KARL BEURLIN (1938, 1939), KURD VON BÜLOW, der Lagerstättenkundler GEORG BERG, der Geologe HUMMEL. Ihre Meinungen hatten in vielem bleibendem Wert, aber unabhängig davon sei ihre seinerzeitige Ansicht vorgestellt.

BEURLIN war ab 1934 Ordinarius in Kiel, 1941 bis 1945 Ordinarius in München. BEURLIN, einmal Präsident der Deutschen Geologischen Gesellschaft, hatte sich allerdings auch der nationalsozialistischen Ideologie in etlichem eingeordnet, so, wenn er 1937 davon sprach, daß sich nur von dort her auch in der Geologie die "Einheit von Blut und Boden in einem Weltbild" verwirklichen ließ und den Nationalsozialismus lobte als "Befreier und Förderer aller echten geistigen und schöpferischen Kräfte", der sie aus der "fruchtlosen Vereinzelung herausreißt ..." (S. 56). Ab 1950 wirkte BEURLIN als ein führender Geologe in Brasilien.

Ohne Umkleidung mit nationalsozialistischen Phrasen führte BEURLIN 1938 der Leopoldina ein Bild von der **Abhängigkeit vieler Erscheinungen der Erdgeschichte voneinander** und vor allem **von der Evolution der Organismen**

vor. In der Erdgeschichte sah BEURLÉN steigende Relieffenenergie auf der Erdoberfläche. Starker Vulkanismus in sehr fernen Zeiten hing mit der einst dünneren Erstarrungskruste der Erde zusammen.

Aber dann betonte er vor allem die **Beziehungen zwischen Organismen und Gesteinen**. Im älteren Kambrium treten noch keine bituminösen Schiefer auf. Dann ist das ältere Paläozoikum ausgezeichnet durch weite Verbreitung mariner **dunkler**, d. h. bituminöser **Schiefer**. Warum jetzt und nicht schon eher? Damals gab es Pflanzen jedenfalls bis zum Silur nur im Meer, und zwar Algen, "Tange". Noch fehlten aber jene Tiere und auch Mikroorganismen, also Destruenten, welche diese Pflanzen nach ihrem Absterben völlig zersetzten. In diesem von heute aus gesehen noch unausgeglichene Stoffhaushalt bestand eine **Überproduktion organischer Substanz** durch die Pflanzen gegenüber einer unzureichenden tierischen Konsumtion. In diesen Zeiten entstand auch "Algenkohle", Kohle aus Algen. K. VON BÜLOW (1942) ergänzte, daß nicht nur an eine unzureichende Masse von Tieren zu denken wäre, sondern vielleicht auch noch fehlende Verwertungsfähigkeiten der Pflanzensubstanz durch die damaligen Tiere. Die **dunklen Sedimente**, so wieder BEURLÉN, konnten jedenfalls als "**Leitgestein**" **bestimmter Zeiträume** bezeichnet werden. BEURLÉN sprach von den "**Schwarzschieferformationen**". Spätere dunkle Schiefer, ob Kupferschiefer oder der in den unteren Lias gehörende Posidonienschiefer waren dann regional begrenzt, verdankten ihre Entstehung nicht mehr weit herrschenden Bedingungen, Regional begrenzt sind jene Sonderbedingungen, wie derzeit die an Schwefelwasserstoff reichen Tiefen des Schwarzen Meeres bieten.

Die noch fehlende chemische Verwitterung wegen **fehlender festländischer Vegetation** ließ in der Zeit danach auf dem Festland die "**grauen**" **Gesteine**, grobklastisch, **bis Ende Carbon** überwiegen. **Grauwacke** erscheint in diesem Zeitraum **als Leitgestein**. Bis zum Ende der Trias war die nun namentlich von Gymnospermen gebildete Landflora offenbar noch recht locker verteilt, hatte Probleme mit dem Wasserhaushalt auch an Standorten, wo ausreichend Niederschläge fielen.

Wüstenartige Sedimente waren in dieser Zeit damals nicht nur an aride, also wasserarme Wüsten gebunden. Vorherrschend sind als Ablagerungen dieser Zeit vielerorts **rote Sedimente**. Sie sollten nicht alle von Gebirgsabtragung stammen. "Je weiter wir in die Erdgeschichte zurückgehen", war die Schlußfolgerung BEURLÉNs (1938, S. 380), desto weniger ist die Aridität - d. h. extremer Niederschlagsmangel - Kennzeichen der Wüste." In Mitteleuropa gibt es rote, oft grobe Sedimente im Rotliegenden und im Buntsandstein, die "**Rotsandsteinformationen**", unterbrochen vielerorts vom marinen Zechstein.

Eine geschlossene festländische Pflanzendecke darf erst mit dem Erscheinen der Angiospermen in der **Kreidezeit** angenommen werden. Damit ergab sich eine andersartige Verwitterung in vielen Teilen der Erdoberfläche. Aber schon vorher gibt, wie sie VON BÜLOW 1941 (S. 426) nennt, die "**Oolith- und Kreideformationen**", mit ihren kalkigen Sedimenten- und Verwitterungsbildungen, die "von völlig verwandeltem Stoffhaushalt Zeugnis" ablegen. Jetzt gibt es auch die Bildung von **Kaolin**. Nunmehr gab es auch die **Bildung von Böden im eigentlichen Sinne**. Es erfolgte, man denke an das Niederschlagsgesehen, die gleichmäßigere Abtragung der Festländer, die Denudation. Diese verstärkte Denudation aber ergab eine Zunahme der Sedimentationsablagerung im Meer, eine Zunahme der Sedimentationsgeschwindigkeit. VON BUBNOFF schätzte, daß im Känozoikum die Sedimentation auf das 4-bis 5-fache gegenüber dem Paläozoikum gestiegen war. Die Pflanzendecke beeinflusste auch das Klima, das wiederum auf die Pflanzendecke wirkte und diese bestimmte die Bodenbildung mit. Es gab also Wechselwirkung, Wechselbeziehung zwischen Klima und Vegetation.

Der Lagerstättenfachmann GEORG BERG erörterte 1936 wie schon VERNADSKY, wie Organismen in den "Stoffhaushalt der Erde" eingreifen. Das kann auch mittelbar geschehen, wie bei den **Armleuchteralgen**/Characeen. Diese entziehen bei ihrem Lebensprozeß dem Wasser Kohlensäure und das im Wasser gelöste Bicarbonat/Calciumhydrogencarbonat, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ scheidet als Calciumcarbonat / Kalk, CaCO_3 aus, als die sogenannte "**Seekreide**", ein relativ weicher Kalk. Diese Kalkausscheidung war hier nicht in den Körper der Algen einbezogen, wie bei einer Muschel, die ihre Kalkschale durch Einbeziehung des Materials in ihren Körper bildet. Eine Auster, wurde von BISCHOF errechnet, muß etwa das 50.000-fache durch ihren Körper gehen lassen, um die Schale zu bilden. Manche Elemente, gerade Metalle, werden durch Organismen konzentriert, So wie, von VERNADSKY (1930) hervorgehoben, die wohl dispers in der anorganischen Materie vorhandenen Jod und Brom. 1940 suchte BERG die Entstehung des Lebens aus dem Anorganischen zu erklären und kam auch zu dem Schluß, daß **erst mit Pflanzen**, also entstandenem Leben, **Humus** möglich wurde. Humussäuren und Humuskolloide aber **veränderten** die "chemischen Vorgänge im Verwitterungsbereich" (S. 193), veränderte **die Geochemie des Eisens** und anderer Elemente.

Besonders eingehend hat K. HUMMEL 1940 die für die Entwicklung der Erdoberfläche aktive Rolle der Organismen herausgestellt. in seinem veröffentlichtem Vortrag "Geochemie und Erdgeschichte". "Das Leben", hob er auch im Schriftbild hervor, "ist also nicht nur nebenbei in die natürlichen Vorgänge eingeschaltet, es ist nicht nur ein Intermezzo im Verwitterungsbereich, sondern der natürliche Verwitterungsbereich in seinem jetzigen Zustande ist durch und durch vom Leben beeinflusst." Es gibt keine chemische Verwitterung ohne Wasser, meinte HUM-

MEL, und wo Wasser ist, da ist auch Leben. HUMMEL führt Mineralien an, die nur in bestimmten Perioden der Erdgeschichte entstanden. Glaukonit-Bildung gab es nicht in allen vergangenen Zeiten. Chamosit-Bildung würde in heutigen Meeren nirgends mehr beobachtet. Wie schon weiter vorn betont: damit hatte der Aktualismus seine Einschränkung erfahren, bei weiterhin anzunehmender immerwährender Gültigkeit der physikalischen und chemischen Gesetze. Noch kaum bekannt wären Stoffwechselprozesse vieler Bakterien, von denen mit ihrer Evolution ebenfalls Veränderungen im Geschehen auf der Erde anzunehmen sind. Die **Evolution der Organismen** brachte also nicht nur neue Lebensformen hervor, sondern auch auch **neues Geschehen auf der Erde**. So weit wir das übersehen, gibt es solche zeitbedingten Änderungen nur im sedimentären Bereich, nicht bei den Eruptivgesteinen, auf deren Bildung Organismen keinen Einfluß haben.

Erst mit der Verwitterung überhaupt kam nach manchmal geäußerter Ansicht so viel **Kalk in die Meere**, daß genügend Tiere Kalkschalen aufbauen konnten. Das präkambrische Fehlen von Tieren mit festem Außenskelett und das Überwiegen hornschaliger Tiere mochte darin seine Erklärung finden. Ab wann fielen infolge entwickelter Vegetation gleichmäßiger Niederschläge auf die Felsen und begünstigten die chemische Verwitterung?

Entstehung der höheren Lebensformen auch in Abhängigkeit von Umbildungen auf der Erdoberfläche

Ab dem Kambrium erscheinen die multizellularen und auch die mit Mineralskeletten ausgestatteten Tiere im Meer, gibt also jene schon DARWIN zum Nachdenken anregende und nicht gelöste Frage der 'kambrischen 'Explosion' in der Tierwelt. Nunmehr wurde es zurückgeführt auf eine starke Erniedrigung des damaligen Festlandes und infolge des Verwitterungsschuttes eine starke Abflachung des Weltmeeres, die "**Great Unconformity**", also einem entscheidendem Vorgehen geochemischer Prozesse vor denen der durch sie bedingten Evolution (S. E. PETERS et al. 2012). Der Begriff "Great Unconformity" wurde 1869 für die Trennung der flachen Meererssedimente von darunterliegenden metamorphosierte Gesteinen am Grand Canyon des Colorado zu bezeichnen. Wieder war versucht, die Beziehungen zwischen anorganischer und organischer Entwicklung zu schließen. Mit den mineralisierten Skeletten kambrischer Tiere begann die "Biomineralisation". Erst viel später sank kalkschaliges Plankton in die Tiefen.

Über die alten Zeiten gab und gibt es immer auch einmal wieder andere Ansichten (ST. KEMPE 1990). Etwa: keine Kohlendioxid-Atmosphäre. Das Urmeer ein Meer der Alkalimetall-Salze. Dann kamen Calcium-Salze. Diese ein in gewisser Konzentration tödliches Gift für Lebewesen. Organismen schieden das Calcium aus in Kalkschalen. Deswegen wären also die Meerestiere mit Kalkschalen im Kambri-

um so erdgeschichtlich relativ rasch erschienen. **Kalkschalen**, trotz aller baldigen Ornamente, also ein abgegebenen **Exkret** und nicht primär eine Errungenschaft. Nur heraus mit dem Kalk aus dem Körper.

Wie etwa schon K. BEURLIN 1939 hervorgehoben hatte, konnte die von den autotrophen grünen Pflanzen produzierte **organische Substanz** zunächst **nicht ausreichend abgebaut** werden, es fehlte also an den organische Substanz zersetzenden Destruenten, Es gab eine organische Überproduktion durch die Pflanzen. Infolge der zu schwachen tierischen Konsumtion entstanden jene reichlichen bituminösen Schiefer, die auch durch die Graptolithen ausgezeichnet sind. Gewaltige Massen von Pflanzen wurden besonders im Carbon als Kohle abgelagert und große Mengen des einst viel häufigeren Kohlendioxids der Atmosphäre entzogen. Es wird damit gerechnet, daß der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre zeitweise, bis zur Kreidezeit, etwa 35 Prozent betrug. Bei höherem Sauerstoffgehalt gab es wohl zu häufig Waldbrände, als daß größere Bäume aufwachsen konnten. Das Vorkommen von Fusinit, das als Anzeiger von Waldbränden gilt, weist auf einen Sauerstoffgehalt von mindestens 13 Prozent während der Steinkohlenzeit hin (H. D. HOLLAND 1990), also war weniger ausreichend als die für Waldbrände nötigen 35%. Mit Nutzung von Sauerstoff gab es auch Mikroben mit viel größeren Abbauleistungen als Reduzenten der pflanzlichen Biomasse. Die Tiere, auch 'Konsumenten' der pflanzlich erzeugten Biomasse und Verwerter des von den Pflanzen abgegeben Sauerstoffs bei ihrer Energiegewinnung, wurden erst allmählich so wirkungsvoll, daß ein Großteil der Pflanzensubstanz auch durch sie abgebaut, unter Kohlendioxidabgabe 'veratmet' wird. Vorher hatte es nicht Kohlendioxyd aus Lebewesen gegeben. Viele Tiere besitzen in ihren Därmen noch Bakterien, welche pflanzliche Substanz für die Verwertung durch die Tiere aufschließen, so Mikroben für den Zelluloseaufschluß. In Mooren, etwa in der Tundra, wird auch in der Gegenwart Pflanzensubstanz unter Inkohlung angehäuft. Die aus dem ständigen Recycling ausgeschiedenen Kohlenstoffmassen aber werden durch die Nutzung der fossilen Brennstoffe durch den Menschen wieder in den irdischen Kreislauf gebracht, aber dabei werden unerwünschte Effekte, so der Treibhauseffekt, erzeugt und sind ein weiteres Phänomen in der Beeinflussung der Erdoberfläche durch den Menschen entsteht.

Organismen und Atmosphäre

Als Ergebnis von Organistentätigkeit ist auch die gegenwärtige **Zusammensetzung der Atmosphäre** zu sehen. Pflanzen verbrauchten Kohlendioxid, schieden Sauerstoff aus, Tiere benutzten Kohlendioxid zum Kalkaufbau, Mikroben binden Stickstoff aus der Atmosphäre und setzten ihn auch frei. **Neue Kreisläufe** zwi-

schen den Elementen erschienen.

Organismen, so die Pflanzen im Stoffaufbau und die Tiere und Mikroben in der Ausatmung, bestimmten entscheidend den Kohlenstoff-Kreislauf. Und wo kam der ursprüngliche Kohlenstoff, das ursprüngliche Kohlendioxid her? War einfach da? Oder kam viel mehr aus dem Erdinneren, so wie Vulkanismus "juveniles" Kohlendioxid liefert, auch in Gebieten mit nicht mehr aktiven Vulkanen (W. J. VERNADSKY 1930, S. 153). Sauerstoff in der Atmosphäre konnte dann Produkt der Pflanzentätigkeit, einschließlich jener der Blaualgen, sein, Herkunft aus dem Kohlendioxid. Sauerstoff, der aggressive, der so viel an der Erdoberfläche bewirkt. Und Kohlenstoff wurde auch immer wieder gebunden, in Kalk und Kohle, schied jedenfalls für etliche Zeit aus dem Kohlenstoff-Kreislauf aus.

An Gasen in der Atmosphäre hängt die Hypothese, daß große **vulkanischer Ausbrüche**, eventuell mit gewaltigen **Gas-Exhalationen**, an Veränderungen in der **Organismenwelt** teil hatten. Im Dekkan in Indien gibt es Basaltdecken von 2000 Meter Mächtigkeit, die mehrere 1000 Quadratkilometer umfassende Laven bedeuten, die vielleicht explosiv vor dem Ende der Kreidzeit erschienen. Hier könnten Auswirkungen gekommen sein, welche die Veränderungen in der Organismenwelt vielleicht ebenso gut, vielleicht akzeptabler erklären als ein Meteorit, und dann wurde über die neue Organismenwelt vieles auf der Erde anders.

Am Ende des 18. Jh. etwa hatte man vom Einfluß von Gasen auf die menschliche Gesundheit viel gehalten. Gase sollten heilend sein, oder zerstörend. Der Dichter GEORG BÜCHNER ließ in seinem Drama "Dantons Tod" seinen Saint-Just unter den natürlichen Katastrophen auch eine "Veränderung in den Bestandteilen der Luft" erwähnen. Mit der Verschlechterung der Atmosphäre mit Bevölkerungswachstum und Industrialisierung war vor den Problemen weniger die Rede, ausgenommen vielleicht die Werbung für "Luftkurorte".

Wechselseitige Beeinflussung von Pflanzen- und Tierwelt und auch über den Umweg über anorganische Vorgänge

Der aus altem mecklenburgischen Adelsgeschlecht stammende KURD VON BÜLOW wurde 1899 in Allenstein / Ostpreußen geboren. Seine Schulbildung mußte VON BÜLOW 1917 mit dem Notabitur abschließen und wurde Gehilfe von Feldgeologen. 1918 - 1920 studierte VON BÜLOW Geologie in Berlin und Greifswaldm wurde kartierende Feldgeologe besonders in Norddeutschland. Viel Liebe widmete er populären Schriften zur Erdgeschichte. Dadurch wurde er weiten Kreisen bekannt. Von 1935 bis 1946 und wieder ab 1952 war VON BÜLOW Professor in Rostock, Neben seinen Betrachtungen zur allgemeinen Erdgeschichte war er vor

allem Moorforscher. Im Müritzmuseum Waren wurde der 1971 gestorbene VON BÜLOW am 20. November 1999 in Gedenken an seinem 100. Geburtstag in einem Ehrenkolloquium als "der bedeutendste Geologe Mecklenburgs" gefeiert -1999, als eine Professur für Geologie in Rostock nicht mehr bestand.

VON BÜLOW betonte etwa 1941 in besonderem Maße die Beziehung der Entwicklung der **Pflanzenwelt zu der Ausbildung neuer Tiergruppen und auch der anorganischen Vorgänge** auf der Erdoberfläche. Es könne "keinem Zweifel unterliegen", schrieb VON BÜLOW 1941 (S. 424), "daß sowohl Sedimentbildung wie Tierentwicklung bis zu einem gewissen, sehr weitgehenden Grade, d.h. soweit sie nicht eigengesetzlich ablaufen, Funktionen eines beiden übergeordneten Erscheinungskomplexes sind, nämlich der Entwicklung der Pflanzenwelt."

Eher in die Welt der Biologie, der Evolutionsforschung, gehört die Beziehung von **Pflanzenwelt und Tierwelt**, die aber auch für die Erdoberfläche nicht belanglos war. Den Zusammenhang Vegetation - Tiere hob VON BÜLOW etwa 1941 hervor.

Das Nachfolgen der Tierwelt hinter neuen Pflanzengruppen mochte lange Zeiträume erfordern, und erst "jedoch, wenn die ganze Erde oder wenigstens ganze Kontinente den Stempel des Neuen trugen, konnte die Entfaltung auch der Tierwelt folgen" (VON BÜLOW 1942, S. 342). Die anorganischen Veränderungen auf der Erdoberfläche bis hin zu Klimastürzen hielt er für die Evolution in diesem Zusammenhang "als zweitrangig". Die Pflanzenwelt sollte die Evolution der Tiere bestimmen bis hin zur Auslösung von Mutationen. Im einzelnen stehen zahlreiche Tiere, ob körner- und fruchtefressende sowie honigsaugende Vögel sowie viele blütenbestäubende Insekten in enger Beziehung zu bestimmten Pflanzenarten. Solange Landpflanzen nur in Feuchtbereichen gediehen, waren auch die Tiere an solche Bereiche gebunden. Der Bereich der zuerst außerhalb einer Wasserbedeckung und wohl unter wechselndem Salzgehalt gedeihenden Landpflanzen, anfangs die Psilophyten, war dann auch der Bereich der ersten amphibischen Tiere und namentlich auch von Wirbeltieren, die an Feuchtgebiete angepaßt sind, der Crossopterygier und Dipnoer. Früh konnten sich hier auch mehr an das Festland gebundene Formen absondern, während andere ganz zurück ins Meer gingen.

Wegen dem Vorangehen der Pflanzenwelt in vielen Erscheinungen, hat gerade VON BÜLOW die Ansicht unterstützt, die Pflanzenwelt als Grundlage der Unterscheidung der großen **Zeitalter**, der **Ären**, zu nehmen: **Paläophytikum, Mesophytikum, Neophytikum**.

Verschiedene Organismengruppen konnten sich **beeinflussen** auch unter Einbeziehung von **Erdboden und Atmosphäre**. So hätte, wie es BERNER von der Yale University ausführte (s. F. STRAUCH 2004), die Evolution der Pflanzen

die Geschehnisse auf der Erde stark geprägt. Die Kormophyten banden Kohlenstoff, sie entnahmen dem Boden verstärkt Stickstoff- und Phosphor-Verbindungen, ließen die Gewässer an solchen Verbindungen verarmen und das konnte zu einem Rückgang, ja teilweisem Aussterben des Phytoplanktons führen, das im Devon und am Ende der Kreidezeit einem Meteoriteneinfall zugeschrieben wurde.

Ein Mehr an Sauerstoff aber erlaubte die Entwicklung großer Tiere. Bäume bestimmten demgemäß das irdische Schicksal.

Eine mögliche Beeinflussung größerer Tiergruppen wäre denkbar durch **seuchenauslösende** Mikroben. **Neue Mikroben** mochten neue Krankheiten bringen, gegen welche die bisherige Abwehr versagte.

Anorganische Vorgänge und biologische Evolution

Inwieweit die Umbrüche auf der Erdoberfläche, die neuen Gebirge und die sich ausbreitenden und zurückziehenden Meere die Entstehung neuer Gruppen von Pflanzen und in ihrem Gefolge von Tiere hervorriefen ist eine umstrittene Problematik. Wie schnell gingen solche Vorgänge? Konnte die Evolution nachkommen? Gewiß wurden auch neuartige Räume, neue Nischen geschaffen und konnten neue Formen von Lebewesen diese besiedeln.

Die Einflüsse anorganischer Vorgänge auf die Evolution der Organismenwelt schätzte VON BÜLOW etwa 1942 nicht gering. Er sieht also eine **starke Beziehung Umwelt - Lebewesen**. Das kam sicherlich auch manchen weltanschaulichen Vorstellungen entgegen, dem Ganzheitdenken wie später dem Marxismus.

Das generell trockene Klima von Perm und Trias habe das Schrittmäß der pflanzlichen Entwicklung und damit das der Tierwelt gehemmt, ohne die Entwicklung in ganz andere Bahnen gelenkt zu haben. Mit den Gebirgsbildungen im Oberkarbon sah VON BÜLOW die reiche Entfaltung der "Großforaminiferen", der Fusulinen, und mit der alpidische Gebirgsbildung die der Nummuliten. Erhöhte Stoffzufuhr vom Land habe das für diese Gruppen geeignete Skelettbaumaterial geliefert.

Zusammenhänge von den großen Transgressionen her, den Orogenesen und den damit verbundenen Klimawandlungen bis hin zu den Wandlungen in der Organismenwelt trug noch einmal, wenn auch vorsichtig, SERGE VON BUBNOFF vor, so 1957. In den anorganischen Entwicklungen mochte (S. 23) "nur ein Impuls der Evolution liegen ..." Es gäbe keine Entsprechung von Orogenese und Mutation, und auch die "Neuverteilung von Land und Meer ist nur ein mögliches, aber wohl selten entscheidendes Element." BUBNOFF rechnete mit etlichen Großzyklen, die weithin die Erde veränderten und durch große Orogenesen gekennzeichnet wa-

ren. Er nannte die kaledonische, die varistische, die kimmerische, die alpidische Orogenese. Mit jeder Orogenese hätte es einen Schub in der im Unterschied zu den zyklischen Prozessen irreversiblen Evolution gegeben. Als seinen Zyklen zusammenhängende biologische Faktoren erörterte VON BUBNOFF "Zufuhr von metallischen Katalysatoren in vulkanischen Phasen", Änderung in der Zusammensetzung der Atmosphäre und des Meerwassers, "d. h. den Reaktionsmedien biologischer Prozesse", den Änderungen von Temperatur und Klima "beim Aufleben und Absterben subkrustaler Konvektionsströme", die wiederum die Großzyklen bestimmen (S. 24).

Außerhalb Deutschlands hat etwa J. H. F. UMBGROVE 1942 gemeint, daß die explosive Entwicklung der Angiospermen in der Oberkreide in ursächlichem Zusammenhang mit der großen Transgression in der Oberkreide steht (zit. bei O. SCHINDEWOLF 1957). Auf dem Internationalen Geologen-Kongreß in London 1948 gab es als Rahmenthema "Earth movements and organic evolution"

Zweifel an vermuteten Zusammenhängen auf der Erde - aber der Kosmos einbezogen: O. H. SCHINDEWOLF

Den **verschiedenen** postulierten **Zusammenhängen** in der Folge der Ereignisse auf der Erdoberfläche trat mit recht überzeugenden Argumenten SCHINDEWOLF (1957) **entgegen**. Er sah keine gesetzmäßigen Abhängigkeiten der erdweiten Lebensgeschichte, weder im Auftreten von "monströsen Nebenformen" im Zusammenhang mit "orogenetischen Phasen" und auch nicht mit den "großen Transgressionen und Regressionen" (S. 1). Damit suchte SCHINDEWOLF manchem der Zusammenhangsdenker den Wind zu nehmen. Er sah die Entwicklung der Organismenwelt jedenfalls von irdischen Geschehen recht abgekoppelt, als sehr autonom. Für SCHINDEWOLF wirkte auf die Organismenwelt aber der Kosmos. Da die großen erdweiten und alle Biotope heimsuchenden Brüche in der Organismenwelt an der Perm-Trias-Grenze und der Kreide-Tertiär-Grenze jedoch gegeben waren, blieb als Erklärung für SCHINDEWOLF (1958) nur eine **kosmische Ursache** – damals noch fern der Meteoriten-Hypothese. SCHINDEWOLF vermutete, aber ohne direkte Beweise, mit einer **Zunahme der kosmischen Strahlung** zu den Umbruchszeiten, denn diese reichlichere kosmische Strahlung hätte die Mutationsrate erhöht. Das Argument beruhte stark auf dem Ausschließungsprinzip, daß man also eine Erklärung annahm, weil es keine bessere gab, aber der positive Beweis nicht möglich war. Statt eines tellurischen Zusammenhanges von anorganischer und lebender Welt war also offensichtlich ein kosmischer gegeben. SCHINDEWOLF war sich bewußt, das "etwas, das an sich denkmöglich ist, noch durchaus nicht der Wirklichkeit ... entsprechen" muß (S. 278) und hoffte auch, daß er nicht "eine eph-

emere Modehypothese aufgestellt" hat, die nur dem "Zeitgeist" des "gegenwärtigen Atom- und Radioaktivitäts-Denken entsprungen ist." Das Aufkommen der Annahme großer Meteoriteneinfälle erlebte der 1971 gestorbene SCHINDEWOLF nicht mehr.

Gegen Zusammenhänge zwischen Orogenesen und Änderungen in der Meeresausdehnung sprachen für SCHINDEWOLF die **lange Zeit zwischen dem verursachenden Ereignis und seinen Folgen** und auch, daß Orogenesen und Transgressionen waren nicht weltweit, liefen auch langsam ab. Um den Faunenwechsel etwa an der Perm-Trias-Grenze mit Gebirgsbildung zu erklären, lag die letzte Orogenese viel zu weit zurück. Auch das "dichtgedrängte Bündel tertiärer Faltungsphasen" ließ "keinerlei Einwirkung auf die Lebensentfaltung erkennen" (S. 4). Koinzidenzen zwischen Faltungsphasen und Veränderungen in der Tier- und Pflanzenwelt schienen zufällig zu sein. Auch für G. G. SIMPSON (zit. bei O. SCHINDEWOLF 1957, S. 16) wäre die Entwicklung des Lebens auf einer statischen Erde nicht wesentlich anders verlaufen als auf der Erde mit Orogenesen und Meeresveränderungen, wenn nur eine ausreichende "Mannigfaltigkeit mariner und kontinentaler Biotope bestanden hätte."

Nur für regionalere Faunen und Floren, selbst solche ganzer Kontinente, war allerdings auch für SCHINDEWOLF indirekte **Abhängigkeit von tektonischen Ereignissen** möglich, so mit der Entstehung der **Landbrücke zwischen Nord- und Südamerika** und der dadurch möglichen Einwanderung von evolutionär weiterentwickelten Tieren aus dem Norden nach Südamerika. Auch die allerdings schon lange vor den Eiszeiten bestehende unterschiedliche Streichrichtung der Gebirge in Nordamerika, Ostasien und Europa beeinflusste die nacheiszeitliche Zusammensetzung der Flora und Fauna dieser Gebiete, weil bei Süd-Nord-Richtung der Gebirge wie in Nordamerika und Ostasien die nacheiszeitliche Wiedereinwanderung von Süden leichter vonstatten gehen konnte.

Rein hypothetisch ist, ob Gashydrate, wie heute diskutiert wird, vielleicht bei Klimawandel, sich rasch auflösten und viel Methan in die Atmosphäre stießen, die wiederum weiter auf das Klima wirkten.

19. Kontinentalverschiebung und Plattentektonik

Von der Hypothese von der Kontinentalverschiebung zur Theorie von der Plattentektonik

Ganz neue Gesichtspunkte für die Annahme von Zusammenhängen in der Entwicklung der Erdkruste bot die **Plattentektonik**, deren Anfänge noch vor manchen der bisher geschilderten Überlegungen über Zusammenhänge liegen. Ihre grundlegende Auffassung ist, daß sich die Erdkruste, auch die untermeerische, in große Platten gliedert, die auf dem schmelzflüssigen Untergrund langsam voneinander weg bewegen oder unter Staucherscheinungen gegeneinander driften. In Jahrmillionen wurde durch diese Drift der Platten die Erdkruste umgestaltet. Zu den schon lange, seit HUTTON gesehenen Vertikalbewegungen von Erdkrustenteilen trat das Bild allgemeiner Horizontalbewegungen - eine wahrhafte Revolution in den geologischen Ansichten, eine Neugestaltung der Erdgeschichte. Bisher war höchstens für die weiträumigen Deckenverschiebungen in Geosynklinalen tief im Untergrund mit Horizontalbewegung gerechnet worden.

Vor der Plattentektonik die Theorie von der Kontinentalverschiebung

Der Plattentektonik voran ging die lange umstrittene Theorie der **Kontinentalverschiebung**, von der Vertikalbewegung der **Festländer**, und **nur** dieser. Die Theorie der Plattentektonik schloß die gesamte Erdkruste einschließlich des Meeresböden ein. Die Transversalbewegung der Kontinente, die Kontinentalwanderung, gründete auf der einst allerdings hypothetischen Annahme von 2 in ihrem Stoffbestand unterschiedenen Schichten der Erdkruste, dem oberen **Sial** und dem darunter liegenden **Sima**.

Auf Ähnlichkeiten von Afrika und Südamerika verwies bereits FRANCIS BACON. Noch ohne den Gedanken einer Kontinentaldrift klar auszusprechen, haben einige Geologen und Paläontologen Tatsachen angeführt, welche im bisherigen Erklärungsrahmen der Erdgeschichte nur recht willkürlich zu deuten waren, die also später als 'Anomalien' im Sinne von TH. S. KUHNs Theorie vom Paradigmenwechsel angesprochen werden durften. Eine große Ähnlichkeit in der Flora etwa des Carbon und des Perm auf der ganzen heutigen Südhalbkugel und auch noch in Vorderindien war schon im 19. Jh. aufgefallen. Namentlich der führende britische Botaniker JOSEPH DALTON HOOKER (R. DESMOND 1972) hatte auf die beachtliche Florengleichheit verwiesen, er, der in den Jahren 1839 bis 1843 an der

Expedition unter JAMES CLARK ROSS auf den Schiffen "Erebus" und "Terror" in die antarktischen Gewässer teilgenommen hatte. Nach der Rückkehr von der Reise sprach HOOKER aus, daß Südamerika, die subantarktischen Inseln, Neuseeland und Australien einmal zusammengehangen hatten, also sich auf diesem riesigen anzunehmendem Festland die Gewächse ohne Meerestrennung verbreiten konnten. Dann aber brachen die Landbrücken zwischen den einzelnen Territorien ein. DARWIN, der als Anhänger des Aktualismus möglichst wenig von der Gegenwart abweichende Erdgestaltung bevorzugte, rechnete aber mit dem Transport der Samen aller der überall vorkommenden Pflanzen über und auf dem Ozean. SU-ESS hatte von dem Südkontinent 'Gondwana-Land', 'Gondwania' gesprochen. E. KOKEN hatte Ablagerungen in Vorderindien untersucht und vor allem dort ihm eindeutig erscheinende Spuren einer jungpaläozoischen Eiszeit nachgewiesen. Ihm erschien bei seinen Untersuchungen daneben (1904) die Halbinsel Vorderindien ihrem Aufbau nach als ein 'fremdartiges Stück' auf dem asiatischen Kontinent. In Vorderindien gab es keine jüngere Gebirgs'faltung', dafür aber wie in Süd-Afrika Gondwana-Ablagerungen. KOKEN (1908) war dabei gemäß seiner Überzeugung von der Gültigkeit des aktualistischen Prinzips der Meinung, daß eine aktualistische Erklärung dieser Sachverhalte gefunden wird. Eine Polverschiebung wollte er daher nicht einmal als Arbeitshypothes egelten lassen.

Anders hatte einst schon ALEXANDER VON HUMBOLDT erwogen, ob nicht das Zusammenpassen der Küsten von West-Afrika und dem östlichen Süd-Amerika auf einem Auseinanderdriften der beiden Kontinente beruhen kann. W. H. PICKERING dachte an ein Abreißen Amerikas von Europa mit Afrika bei dem Heraus-schleudern des Mondes von der Erde, eine allerdings kaum akzeptierte Hypothese (A. WEGENER 1912). Um die Wende vom 19. zum 20. Jh. haben namentlich drei Forscher den Gedanken einer Kontinentaldrift in die Öffentlichkeit gebracht: der sich von der Hypothese schließlich eher distanzierende FRANK BURSLEY TAYLOR (M. L. ALDRICH 1976, F. LEVERETT 1938) in den USA, vor allem ALFRED WEGENER in Deutschland, als dritter Mann der die Theorie stark unterstützende ALEXANDER LOGIE DU TOIT (A. L. DU TOIT 1954, J. T. WILSON 1971) in Südafrika. Dazu treten weitere Geologen, welche die Kontinentalverschiebung debattierten, ohne daß diese Hypothese ihr Lebenswerk bestimmte.

TAYLOR entwickelte Gedanken von begrenzter Kontinentalverschiebung im Zusammenhang mit seiner Betrachtung der tertiären Gebirgsbögen. Der führende südafrikanische Geologe ALEXANDER LOGIE DU TOIT, den R. A. DALY (aus: J. T. WILSON 1971) als der "world's greatest field geologist" bezeichnete, wies ebenso vor allem darauf, daß die Kontinente der Südhalbkugel einmal einen zusammenhängenden **Superkontinent**, '**Gondwana** - Land', gebildet hatten, der

dem **Kontinent 'Laurasia'** auf der Nord-Halbkugel gegenüberstand.

Der an vielen geologischen Erörterungen beteiligte ALBRECHT PENCK (1906), der nicht so stark an Kontinentalverschiebung dachte, war von der weiten Verbreitung eindeutiger Spuren einer Inlandvereisung in Süd-Afrika tief beeindruckt, damals, als er als Gast der 1905 im Kapland tagenden British Association for the Advancement of Science Teile von Süd-Afrika bereiste. Die Lagerung der von der Vereisung herstammenden 'Tillite' unter den Schichten mit der Glossopteris-Flora war auch ihm offensichtlich und damit das permocarbone Alter der Gletscherspuren sichergestellt. Lag das Vereisungsgebiet unter den heutigen Breiten, hätte nach PENCKs Kenntnissen die Schneegrenze um 2000 bis 3000 Meter tiefer als gegenwärtig liegen müssen. Damit hätten aber nur wenige Teile der Erde eisfrei bleiben können. Sehr hohe, die heutigen höchsten Gipfel übersteigenden Gebirge hätten zwar die Vergletscherung vielleicht hervorbringen können, aber solche Hochgebirge hätten gleichzeitig auch in Vorderindien und Australien bestehen müssen. Damit schloß auch er, daß "die Bewegung der Erdkruste in horizontalem Sinne als eine ernsthaft in Erwägung zu ziehende Arbeitshypothese ins Auge" gefaßt werden müßte (S. 611). Immerhin, so meinte PENCK, gab es nachgewiesene Hebungen und Senkungen von Stücken der Erdkruste "die Hülle und Fülle", wiesen die Schichtfaltungen auf Horizontalschub. Diese Vorstellungen mußten eben noch ausgeweitet werden.

Kontinental-Verschiebung bei ALFRED WEGENER und seinen frühen Anhängern

Der Forscher, der die Diskussion um die Horizontalverschiebung von Kontinenten, den Gedanken der "wandernden Kontinente", weithin anfachte, war dann ALFRED WEGENER (E. KOHLSCHÜTTER 1932). Dieser enthusiastische Forscher war am 1. November 1880 in Berlin als Sohn eines Waisenhausdirektors geboren worden. Nach dem Besuch des Cöllnischen Gymnasiums in Berlin studierte WEGENER in Heidelberg, Innsbruck und Berlin vor allem Astronomie. Nach der Promotion 1904 arbeitete er ab 1905 am Preußischen Aeronautischen Observatorium in Lindenberg. Mit seinem Bruder KURT stellte ALFRED WEGENER 1906 mit einer 52-stündigen Ballonfahrt einen Weltrekord auf (A. PAWLAK 2018, S. 41). In den Jahren 1906 bis 1908 nahm er an einer dänischen Grönland-Expedition teil. Danach habilitierte er sich im Mai 1909 an der Universität **Marburg** für Astronomie, Meteorologie und kosmische Physik (A. PAWLAK 2018), wurde Privatdozent und 1910 Leiter der Sternwarte. WEGENER wurde Mitbegründer des Kurhessischen Vereins für Luftschiffahrt Mit dem dänischen Hauptmann JOHAN PETER KOCH, der Grönland schon kannte, unternahm WEGENER 1912/1913 als Meteo-

rologe erneut eine Reise nach Grönland und dabei wurde die riesige Eisinsel an ihrer breitesten Stelle durchquert. Beim Aufstieg zum Inlandeis gerieten die Forscher in den Abbruch einer 300 Meter lange Gletscherzunge, die im Wasser in 17 große Eisberge zerbrach. Aus so unmittelbarer Nähe wurde das Kalben eines so großen Gletschers aus der Nähe zum ersten Male von Forschen beobachtet worden. 1912 trug er über seine Theorie der Kontinentalverschiebung öffentlich vor. Im November 1913 heiratete WEGENER Frau ELSE KÖPPEN Tochter des Klimatologen WLADIMIR KÖPPEN. Nun kommt der Erste Weltkrieg. Als Infanterieoffizier wird WEGENER schon 1914 zweimal verwundet und war felddienstuntauglich, Und im Sommer **1915** konnte WEGENER sein wegweisendes Buch **'Die Entstehung der Kontinente und Ozeane'** veröffentlichen. Ab 1. September 1915 wurde WEGENER zum Heereswetterdienst einbezogen. Am 3. April 1916 fiel "gegen 15.30 Uhr in Nordhessen ein Meteor (A. PAWLAK 2018). Auf dafür erteiltem Heimaturlaub sammelte WEGENER die Beobachtungen der durch den **Meteoriteneinfall** erschreckten Bevölkerung und berechnete den Einschlagbereich. Der Meteorit wird gefunden. Im Mineralogischen Museum der Universität Marburg ist er zu bewundern. WEGENER wurde angeregt, über Mondkrater nachzudenken und zu experimentieren. Nach kurzer Lehrtätigkeit in Dorpat wurde WEGENER Abteilungsvorsteher für theoretische Meteorologie an der Deutschen Seewetterwarte in Hamburg. Im Jahre 1924 erhielt er eine o. Professur für Meteorologie und Geophysik an der Universität Graz. 1930 leitete WEGENER eine eigene Grönland-Expedition und starb Ende November 1930, als er im erschöpfenden Eilmarsch von der Station Mitte nach der Westküste zurückkehren wollte (K. WEIKEN 1980). Am 12. Mai 1931 fand man WEGENERs Grab, das sein grönländischer Begleiter RASMUS VILLUMSEN noch anlegen konnte. RASMUS VILLUMSEN blieb verschollen und mit ihm WEGENERs Tagebuch (A. PAWLAK 1918). WEGENERs Ehefrau starb

Zur **Idee der Kontinentalverschiebung** war WEGENER (1912) nach eigener Darstellung bei der Betrachtung des schon anderen aufgefallenen Ineinandergreifens der Westküste Afrikas mit der Ostküste von Südamerika gekommen. Im Januar 1911 schrieb WEGENER an seine spätere Frau ELSE KÖPPEN (zitiert aus: W. KERTZ 1980, S. 78), daß er mit seinem Zimmernachbar "stundenlang" im großen Handatlas von Andree die Karten bewunderte und dabei diese Passung fand. "Dem Gedanken muß ich nachgehen", bekräftigte er. WEGENER trug seine Theorie erstmals am 6. Januar 1912 vor der "Geologischen Vereinigung" in Frankfurt a. M. vor (M. DORN 1989). Entscheidend für das Bekanntwerden seiner Theorie wurde nach Zeitschriftenveröffentlichungen für WEGENER dann 1915 die 1. Auflage seines Buches über "Die Entstehung der Kontinente und Ozeane". Gestorben ist WEGENER auf Grönland, Ende November 1930, 50 Jahre alt. Die Ehefrau starb 100 Jahre alt 1992,

Das Gesamtbild vor allem bei WEGENER (1912, 1929 u. a.) war: Die heute getrennten Kontinente sollten einmal in einem Großkontinent, der 'Pangaea', zusammengehangen haben und drifteten erst im Laufe der Erdgeschichte auseinander. Besonders **deutlich** sollte das **auf der Südhalbkugel** sein. Der auch von vorherigen Forschern schon angenommene südliche Großkontinent 'Gondwanaland' war dann nicht im Laufe der Geschichte lediglich zerbrochen und innere Teile an Ort und Stelle versunken, sondern er war in seinen verschiedenen Teilen auseinandergeschwommen. Stillstand gab es vielleicht bei Afrika, während Südamerika, Madagaskar, Australien, ja Antarktika nicht an Ort und Stelle verbliebene Reste des Gondwanalandes waren, sondern von ihm weggedriftete Schollen. In der Weite zwischen Ostafrika und Madagaskar und Ostindien war kein rätselhaft niedergebrosenes Land zu erwarten. Als Kontinentgrenzen betrachtete WEGENER nicht die heutige Strandlinie, sondern den Rand des Kontinentalschelfes, die vor den Festländern liegende, vom Ozean in nicht so großer Tiefe überflutete Region. Erst dann beginnt ozeanwärts der Absturz in die ozeanische Tiefe. Beachtete man die Schelfgebiete, dann paßten Westafrika und das östliche Südamerika noch besser ineinander. Auf der Nordhalbkugel sollte ebenfalls ein Großkontinent in mehrere Teile zerfließen sein.

Abgesunken vom Gondwanaland ist der untermeerische wie ein Kontinent wirkende Sockel, auf dem Neuseeland herausragt (Internet 2018).

Die nicht durch ihre heutigen Festlandsränder, sondern durch ihre vor ihnen liegenden, wasserbedeckten Schelfe begrenzten Kontinente sollten aus einem leichteren Material bestehen als die ozeanische Kruste. Das **Material der Kontinente** bezeichnete SUESS (s. J. H. F. UMBROVE 1942, S. 8); WEGENER mit den schon vorhandenen Begriffen als 'Sial', das Material der **Ozeanböden** beziehungsweise die Unterlage der Kontinente als 'Sima'. Die Abkürzungen entstammen den Elementbezeichnungen Silicium, Aluminium, Magnesium. Die Kontinente, also große Schollen aus Sial, sollten auf dem Sima schwimmen, wie Eisschollen auf dem Wasser. Als eine zähe Flüssigkeit, welche dem Sima eventuell irgendwie zu vergleichen war, nannte WEGENER schwarzes Pech, das unter einem Hammer Schlag wie Glas zerspringt, in dem aber Bleikugeln langsam einsinken. Die Laufzeit der Erdbebenwellen gab ein Bild von den Diskontinuitäten in der Erdskruste. R. A. DALY unterschied 1940 im Erdmantel die etwa 50 Kilometer tiefe Rinde, die 'Lithosphäre', und darunter die deformierbare 'Asthenosphäre' (s. b. J. T. WILSON 1968), auch ein Versuch, der auf eine Erklärung von Kontinenten-Verschiebung weisen konnte.

WEGENER und die anderen Anhänger der Kontinentalverschiebung oder auch der späteren Theorie von der 'Plattentektonik' suchten für ihre Auffassung möglichst verschiedene und voneinander unabhängige Zeugnisse.

Dazu gehören:

1. **Übereinstimmung in der fossilen Tier - und Pflanzenwelt auf verschiedenen Kontinenten**, weil eben einstmals diese Tier- und Pflanzen-Arten sich auf einem Großkontinent wie Gondwanaland ausbreiten konnte und erst nach dessen Zerfall und Auseinanderdriften in durch Ozeane auf voneinander getrennte Teilarealen existierte. Auch SUESS hatte die bestehenden Übereinstimmungen bei Tieren und Pflanzen auf den verschiedenen Kontinenten der Südhalbkugel als Zeugen für das einst zusammenhängende Gondwanaland betrachtet, aber nach der Theorie von der Kontinentaldrift war der Zusammenhang eben durch Wegdriften zerrissen worden. Wieder angeführt wurde für die Pflanzenwelt die schon erwähnte 'Glossopteris'-Flora. Sporen mochten sich über engere Meere verbreiten können. Aber um es vorwegzunehmen: größere Tetrapoden aus der Trias, Reptilien vor allem, wurden 1967 in Antarktika gefunden und darunter die Gattung *Lystrosaurus*, welche ansonsten vom südlichen Afrika her bekannt war (D. H. ELLIOT et al. 1970). Ohne einen einstigen Landzusammenhang, wie schmal vielleicht auch immer, war das Vorkommen solcher Tiere in zwei so weit auseinanderliegenden Regionen nicht zu erklären.

2. **Ergänzung des tektonischen Baues und namentlich von Gebirgszügen auf gegenwärtig voneinander getrennten**, aber ehemals zusammenhängendem Gebiet. So verwies WEGENER darauf, daß die Kapgebirge Süd-Afrikas und die Sierren südlich von Buenos Aires nach tektonischem Bau, Schichtenfolge und Fossilien zusammengehören (auch nach: M. DORN 1989). Teilweise entnommen aus den Arbeiten von DU TOIT nannte WEGENER 15 solche Ähnlichkeiten in der Geologie von Süd-Afrika und Brasilien. Die nordwestlich streichenden Gebirge der Bretagne und Südwest-Englands sollten ihre Fortsetzung in den nordamerikanischen Appalachen finden. Die Gebirge Nord-Schottlands und der Hebriden-Inseln sah man auf Labrador weitergeführt. Das sollte für den einstigen Zusammenhang der gegenwärtig durch den Nord-Atlantik getrennten Landmassen sprechen.

3. Die großen **Faltengebirge** sollten **an der Stirnseite der wandernden Kontinente** entstanden sein. Die Anden entstanden an der Front des westwärts driftenden Amerika, der Himalaja an der Stirn des nordwärts driftenden Indischen Subkontinents. Der asymmetrische Bau der Alpen wurde zurückgeführt auf das Aufschieben des afrikanischen Kontinentalrandes auf den europäischen Bereiches (J. CADISCH 1928), des, wie PIERRE TERMIER formulierte, Hinwegfahren der Dinariden über die Alpiden. Wird bei der Kontinentwanderung das darunter liegende Sima entblößt, sollte das zu submarinen Lavaergüssen führen und das etwa beobachtet werden bei der "mittelatlantische Bodenschwelle", wie WEGENER 1912 noch ziemlich untertrieben den mittelatlantischen Gebirgsrücken nannte, Auf den als Ganzheit driftenden Kontinenten blieben ältere, weithin abgetragene Ge-

birge erhaltne, wie die Aravali-Berge in Indien.

4. Heute getrennt wirkende **ähnliche Lagerstätten und Klimazeugen** waren in einer zusammenhängenden Festlandsmasse in einem viel kleinerem Gebiet zustandegekommen und sind so hinsichtlich ihrer Entstehung weniger schwer zu erklären.

Wenn sich heute Spuren der **permokarbonischen Vereisung** in Südamerika, Süd-Afrika, Ost-Afrika, auf der Arabischen Halbinsel, in Indien und in dem davon fernen Australien finden, dann bedeutet das nicht, daß im Carbon und Perm ein wirklich riesiges, von Süd-Amerika bis nach Australien reichendes Gebiet unter einer Gletscherdecke lag. Wenn alle diese Gebiete ehemals zusammenhingen, dann nahmen sie eine wesentlich kleinere Fläche ein. Das vergletscherte Territorium mußte dann auch nicht größer als jenes im Quartär gewesen sein. Auch war anzunehmen, daß die Lage zum Pol eine andere war, also Gondwanaland eben mehr polwärts lag. Ein erdweit kälteres Klima war nicht notwendig, um die Entstehung dieser Gletscher verständlich zu machen, Verwiesen wurde auch auf Wüstenzeugen, auf Salzablagerungen, die eben nicht von Riesenwüsten stammen mußten.

WEGENER hatte andererseits jedoch noch gedacht, daß sich der nördliche Atlantik noch im Pleistzän ausdehnte und dadurch manches an den Eiszeiten erklären ließ. Das wurde jedoch nicht bestätigt. WEGENER hatte gehofft, daß sich die Kontinentaldrift bereits zu seiner Zeit und mit den damals vorhandenen Mitteln messen läßt. Aber die von ihm schließlich gewonnenen Zahlenangaben wurden als irrig betrachtet. Letztlich hat WEGENER auch in Hoffnung auf solche Messungen 50-jährig im November 1930 auf Grönland sein Leben hingegeben. Die Platten- und damit auch Kontinentenverschiebung wurde am Ende des 20. Jh. Allgemein-
gut.

Diskussion über die Kontinentalverschiebung und volle und teilweise Ablehnung

Gegen die Theorie von der Kontinentaldrift gab es zahlreiche Einwände, teilweise fast haßerfüllt vorgetragen, so als gelte es gegen die Kontinentaldrift wertvolle traditionelle Güter zu retten. Selbst einem Gedankenspiel von der Kontinentalverschiebung wollten manche wohl die Berechtigung versagen. Gegen die Person von ALFRED WEGENER wurde vorgebracht, daß ihm die fachlichen Voraussetzungen für eine solche die Geologie betreffende Theorie fehlten. WEGENER war schließlich vom Studium und von seiner bisherigen Tätigkeit her Meteorologe und galt als solcher manchen Geologen für die Erdgeschichtsforschung nicht als fachkompetent. Als ob nicht grundlegende neue Ideen oft von Außenseitern kamen,

selbstverständlich nicht völlig ungebildeten.

Wie stellte man die **Kontinentaldrift in Frage**, bei SOERGEL 1916, bei PENCK, DIENER, JAWORSKI 1922? Die von WEGENER gebotenen **Argumente** wurden, und zwar nicht ohne Gründe und mit Sachkenntnis, **bezweifelt**. Es sollte eben nicht der von WEGENER gesehene Zusammenhang zwischen dem Gebirgstreichen und den Gesteinähnlichkeiten auf beiden Seiten des Atlantik geben (W. SOERGEL 1916, S. 216 ff.). Die von der Iberischen Halbinsel "gegen das Meer abbrechenden Gebirge" erwähnte WEGENER "nicht" (S. 218), lasse also aus, was ihm Schwierigkeiten bereitet. Wie kam es zu Faltungen vor dem Einsetzen der Kontinentwanderung, also ohne die Schubwirkung der wandernden Kontinente (S. 238). Und das Fehlen von den Anden vergleichbaren Gebirgsketten an der Ostküste von Afrika lasse Afrika ohnehin in Ruhestellung verharren. Gleiche Flora und Fauna lasse sich auch anders erklären, auch über enge und versunkene Landbrücken oder im Meere durch Larvenwanderungen (S. 223). Auch müssen man fragen, warum die Kontinentaldrift erst im Tertiär beginnt, während die angenommene scharfe Trennung von Sial und Sima wohl schon vorher bestanden haben müsse - also ein Appell an Denkmöglichkeit, obwohl ein Trennungsbeginn eben erst zu einer relativ späten Zeit eben auch nicht unmöglich war. In Frage gestellt war mit der WEGENERschen Theorie wenigstens teilweise, daß erdweit derselbe Charakter herrschte, etwa erdweit Wüsten bestanden, wie es teilweise im Jungpaläozoikum auf der Südhalbkugel nahegelegt wurde. Gewiß gab es damals Wüsten auf den heute verschiedenen Kontinenten, aber sie hingen eben damals viel enger zusammen. Die Kontinente oder Teile von ihnen rückten nur zeitweilig in die trocken-heiße Zone und so kamen neue Bilder von der Erdgeschichte zustande. Die Kontinentaldrift-Theorie schien vielen nicht unbedingt erforderlich, um mit ihr Erscheinungen der Pflanzen- und Tier-Verbreitung und die peromokarbonische Eiszeit zu erklären. Alternativen lägen nahe, und deswegen, wie etwa von M. DORN (1989, S. 48) vermutete, sollte die "Demonstration der erklärerischen Kraft" von WEGENERs "Theorie" verpufft sein.

So viele Dinge sich mit der Theorie von der Kontinentaldrift vereinen ließen, es fehlte der letztgültige Beweis, die Herleitung mit zwingender Notwendigkeit etwa aus bekannten und gesicherten Eigenschaften der Erdkruste. Das von Sial und Sima wäre nur Hypothese. Und warum sollten die Sial-Schollen, wenn sie denn schwammen, in Bewegung kommen? Gedacht wurde an Konvektionsströme im Erdinneren unter der Kruste. Aber eben auch das eine Hypothese! Aber zu Recht konnte WEGENER sagen, daß die **Feststellung eines Phänomens** etwas anderes ist als dessen **ursächliche Erklärung**. Viele Phänomene der Erdgeschichte, auch vermeintliche wie die Katastrophen, auch die Kontraktion, wurden zuerst nur konstatiert, aber nicht erklärt. Das Bestehen auf der Ursachenfrage sollte die

gesamte Kontinentaldrifttheorie gefährden.

Vom Fortgehen der Diskussion um WEGENER bis zum Ende der 1930-er-Jahre zeugt die "Tagung der Geologischen Vereinigung zu Frankfurt a. M. am 7. und 8. Januar 1939" (Geologische Rundschau 30. Band 1939) mit mehr doch skeptischen Beiträgen.

In **England** wurde die Kontinental-Verschiebung zum Streitobjekt zwischen A. HOLMES (CH. I. E. LEWIS 2004, K. C. DUNHAM 1966) und HAROLD JEFFREYS. Für HOLMES schien die Kontinenten-Verschiebung die einleuchtendere Erklärung zu sein für die Gemeinsamkeiten auf der Südhalbkugel, einleuchtender als eingebrochenes Festland hinweg über den ganzen Atlantik zwischen Afrika und Südamerika. JEFFREYS lehnte die Kontinenten-Verschiebung ab, weil seiner Meinung nach keine Kraft das bewirken konnte. Aber HOLMES (K. C. DUNHAM 1966, S. 298) meinte, daß die von der Radioaktivität herrührende in den verschiedenen Regionen **im Erdinneren unterschiedlich starke Hitze** und dadurch hervorgerufene **Konvektionsströme** das zuwege bringen können.

Begrenzte Kontinentalverschiebung etwa bei Geologen in Deutschland

Um 1930 wurde in Deutschland eine **begrenztere Verschiebung der Kontinente** diskutiert. so wie es WILHELM SALOMON-CALVI 1933 aus den Ergebnissen der weiteren Erforschung der permocarbonischen Eiszeiten auf der Südhalbkugel sah. Es war nach SALOMON-CALVI jedoch nicht einmal klar, ob die Vereisungen im Süden alle gleichzeitig auf den verschiedenen heutigen Kontinenten stattgefunden hatten. Skeptisch stand er vor allem zur Pangaea. Auch hielt er es nicht für gegeben, daß die Umrisse der Kontinente damals den heutigen so ähnlich waren, daß das Zusammenpassen von Süd-Amerika und Afrika als Beweis für das einstige Zusammenhängen herangezogen werden könne. Mit Vorsicht und nicht recht eindeutig erscheinen Äußerungen bei FRANZ KOSSMAT (1932). So wenn es heißt (S. 89): "Nördlich des indischen Abschnittes der starren indoafrikanischen Krustenregion erscheinen Eurasien und Indoafrika besonders aneinandergedrängt, wobei die Südregion wie ein eindringender stumpfer Keil wirkte und bis weit nach Norden die Anordnung der Ketten beeinflusste." Und wie? 1936 (S. 386) klarer: "Nach meiner Ansicht hat der gesamte Gondwanakontinent und sein ozeanische Umkreis eine Nordverfrachtung in die Richtung gegen Innerasien erfahren, wobei er nicht nur die eurasiatischen Kettengebirge erzeugte, sondern in "Kampffront" selbst in diesen Prozeß hineingezogen wurde." Aber: "Die Zerlegung des Gondwanalandes erfolgte nach meiner Deutung nicht durch Abtrift, sondern durch das Absinken

einzelner Schollen. Der Indische Ozean gehörte mit zu der Schubmasse und ich teile nicht die Ansicht, daß die Indische Halbinsel imstande gewesen wäre, durch ihre Schwimmbewegung die jungen Ketten der Himalaja- und Pamirzone vor sich aufzutürmen." Und war auch bei einer Schollentrift gemäß WEGENER die Bildung der euraisatischen Falten an der Front denkbar, so waren die "Kordillerenzonen ... an der Rückseite" (S. 387), also hier konnte ein driftenes Gonwanaland nicht an ein Widerlager stoßen.

Aus der einstigen Verbreitung der Korallenriffe schloß SCHWARZBACH (1949) auf eine **begrenztere Kontinentalverschiebung** als sie WEGENER angenommen hatte. LOTZE nahm das an aus der Verteilung der Salzlager.

Deduktiv sicherzustellen wäre die Theorie von der Kontinentalverschiebung gewesen, wenn man sichere Kenntnis über Vorgänge im Erdinneren hätte, aus denen eine Kontinentendrift nahezu zwingend zustandekommen müßte. So wie es HOLMES mit seiner unterschiedlichen Erwärmung der einzelnen Regionen wenigstens als Hypothese annahm. Aus der Beobachtung, daß sich Skandinavien oder Kanada nach dem Wegschmelzen des Eises wegen der damit verknüpften Entlastung in vertikaler Richtung hoben wurde argumentiert (J. T. WILSON 1963), es dürfte sich daraus eine solche **Viskosität des Erdinneren** ableiten lassen, daß auch eine langsame Horizontal-Bewegung denkbar ist. J. TUZO WILSON meinte schon 1963 (S. 92), daß die Chemie und die Dichte der Ozeanböden nunmehr so bekannt wären, daß es sogar jetzt sogar schwieriger erscheine "to raise and lower ocean floors than it is to cause continents to migrate". Der holländische Geophysiker FELIX A. VENING MEINESZ hatte über Tiefseegräben die größten Schweredefizienzen gefunden (J. T. WILSON 1963).

Jedoch namentlich in den **50er Jahren** des 20. Jahrhunderts schien die **Kontinentalverschiebungshypothese nur noch eine nicht ernst zu nehmende Marotte gewesen zu sein**. Der Niederländer PH. H. KUENEN war 1958 (s. 3) der Ansicht: "Few geologists still accept WEGENER's hypothesis of continental drift. The arguments against his bold suggestions are partly geological. But they are also derived from the geophysical nature of the deep-sea floor and its thick sedimentary cover denoting great age. However, it should not be forgotten that the questions which WEGENER sought to answer, especially those of plant and animal migration, the Permian ice Age and certain homologies on opposite sides of oceans, are now again without answers that are quite satisfactory"

.

Wiedergeburt der Kontinentaldrift mit Weiterführung zur Plattentektonik

Die Wiederaufnahme des Gedankens der Kontinentwanderung geschah vor allem:

1. mit der **Erschließung der Ozeanböden**, 2. mit der **Messung des Paläomagnetismus** (P. M. S. BLACKETT 1961, 1965, J. T. WILSON 1963). Aus den dabei gewonnenen, mit den älteren Theorien nicht in Zusammenklang zu bringenden Ergebnissen entstand die Theorie von der 'Plattentektonik'. Die Wiederbelebung der Kontinentaldrift-Auffassung und ihre Erweiterung zur Plattentektonik wurden auch durch Symposien gefördert. Ein solches über die Kontinentaldrift veranstaltete die Royal Society in London (P. M. S. BLACKETT 1965, T. S. WESTOLL 1965) und eines über Gondwana-Land fand (G. PIEL u. a. 1968) in den USA statt-

Mit der Lehre von der Plattentektonik erhielt die Geologie, vor allem die Historische Geologie, eine völlig neue Grundlage, entstand ein neues Paradigma. Lehrbücher sind neu zu schreiben. Von der Veränderung des Kontinentenbildes auf der Erde, dem sich 'wandelnden Antlitz der Erde', hatten manche Geologen schon des längeren viele geschrieben. Die Frage nach den Ursachen blieb aber offen. Warum zerfiel also Gondwanaland? Warum wurde das Tethysmeer geschlossen? Warum gab es Orogenesen? Etwa jene Varistische Orogenese, die etwa KOSSMAT so eingehende beschrieben hatte. Heben und Senken schienen für vieles einst auszureichen. Damit war es vorbei.

Ein wichtiger Schritt zur Erkenntnis von den Platten war die Untersuchung des Bodens des Atlantik und dann auch anderer Ozeanböden. Die **Erfassung der Ozeanböden** wurde möglich durch die Verbreitung des **Echolots**. Jedes die Ozeane überquerende Schiff, auch Frachter, konnten mit dem Echolot die Ozeantiefen leicht fortlaufend aufnehmen und registrieren. Die Wissenschaft erhielt so ein reiches Datenmaterial. Damit und durch spezielle Messungen wurde ein System von Gebirgsrücken in den Ozeanen nachgewiesen, die als **mittelozeanische Rücken** bezeichnet wurden. Diese erhoben sich, wie mit Erstaunen festgestellt wurde, etwa 2000 Meter über den Ozeanboden. Ihre Länge wurde bis etwa 1990 mit etwa 60.000 Kilometern erfaßt (M. DORN 1989).

In Weiteruntersuchung dieser Dinge wurde deutlich, daß die Bildung am Mittelatlantischen Rücken weitergeht, daß sich das Randmaterial nach außen verschiebt oder verschoben wird. Daraus entwickelten die beiden US-amerikanischen Forscher R. S. DIETZ (1961) und H. H. HESS **ab etwa 1960 die Hypothese von der Spreitung der Ozeanböden**, das Meeresbodenspreizen, die "spreading sea-floor theory", das "sea-floor spreading", die "Öffnung der Ozeanböden" (R. S. DIETZ 1961, M. DORN 1989, W. v. ENGELHARD 1975, F. J. VINE 1968). Bei WEGENER wurde aus etlichen Phänomenen die Drift von Krustenteilen abgeleitet, indirekt. Nunmehr wurde das Auseinanderdriften von Krustenteilen **direkt** deutlich. Die Phänomene, wie die Pflanzenverbreitung, wurde sekundär, war eher zusätzlicher Beweis, konnte nun von anderer Seite, der Ozeanboden-Untersuchung

abgeleitet werden.

In dem Mitteltal zwischen den beiden parallelen Rücken der mittelozeanischen Gebirge dringt basaltische Lava empor, Sie fließt nach beiden Seiten nach außen. Immer wieder neu aufsteigende Lava drängt vorhandene weiter. Längs der mittelozeanischen Rücken liegt nach außen von der Lavaaustrittsspalte immer ältere Lava parallel zu dem Rücken. Die am weitesten außen liegende Lava ist die älteste. Die zuletzt an der Spalte aufgestiegene Lava, die ihr am nächsten liegende, die jüngste.

Das alles wurde vor allem bekannt vom **Mittelatlantischen Rücken**, Seine **Gestalt** wurde mit den Lotmessungen in seiner Süd-Nord-Ausdehnung erfaßt. Der Mittelatlantischen Rückens besteht aus 2 parallelen, durch ein paralleles Längstal getrennten Ketten, welche von Süden nach Norden durch den ganzen Atlantik ziehen und wie die beiden diese Ketten in beträchtlicher Entfernung begleitenden Kontinentküsten gekrümmt sind. Und gerade beim Mittelatlantischen Rücken fließt aus der Mittelspalte, ein großer tektonischer Graben, nach beiden Seiten Lava, anzunehmende primäre Lava (schon A. RITTMANN 1960, S. 290) und die **Lava aus der Zerrungszone** des Mittelatlantischen Rücken hat diesen Rücken aufgebaut, ein Vulkangebirge und kein Faltengebirge (S. 291), und das setzt sich nach dem Indik fort. Der Atlantik entstand in summierender Betrachtung aus einem aufgerissenen Kontinent, und das Festland, welches der Atlantik ersetzte, wurde nach den Seiten weggeschoben. Der Atlantik ist ein **interkontinentales** Meer, erdgeschichtlich gesehen ein Neuozean. Es gibt eine **westliche amerikanische Erdplatte** und die **östliche eurasische Erdplatte**. **An der Erdoberfläche** ist dieser Mittelatlantische Rücken vorhanden **auf** der Insel **Island**, das also auseinanderspreizt (Internet).

In der Lava sind **magnetische Teilchen** eingeschlossen. Wichtige Zeugnisse für die Bildung der Ozeanböden erbrachte die Messung der früheren Einregelung der magnetischen Minerale, so wie es RUNCORN, BLACKETT von der Universität London und EMILE THELLIER von der Universität Paris gelang (J. T. WILSON 1963). Die Lage des Magnetfeldes früherer Zeiten ist erfaßbar, weil sich etwa in Laven magnetische Minerale gemäß der früheren Lage des Erdmagnetfeldes einregelten und unterhalb einer bestimmten Temperatur diese Einregelung nicht mehr veränderten, also 'konservierten'. Da sich das Magnetfeld der Erde mehrfach umpolte, haben also die Eisenminerale unterschiedliche Lage. Es zeigte sich, daß beiderseitig des mittelatlantischen Rückens gleiche Muster der Umkehrung des Magnetfeldes nachweisbar sind. Weiß man, wann eine Magnetfeld-Umkehr stattfand, kann das **Alter der Lava abgeschätzt** werden. Beidseitig wird der Mittelatlantische Rücken begleitet von einem symmetrischen Muster der Umkehrungen des Magnetfeldes.

Mit der Auffindung des **Meeresbodenspreizens** wurde erstmals deutlich, daß **Erdkruste sich auch neu bildet**. Die Erde, so wurde im Zusammenhang mit diesen neuen Auffassungen festgestellt, schrumpft möglicherweise gar nicht, wie etwa bei SUESS, sondern dehnt sich sogar aus. Es wurde gesprochen von einer Zunahme des Erddurchmessers um etwa 20 Prozent. Aber das letztere war für die Erklärung der Vorgänge an den ozeanischen Rücken wohl nicht einmal erforderlich. Aus der Spreizung ergibt sich, daß wenigstens der Ozeanboden größtenteils jung ist, auf jeden Fall jünger als die Gesteine auf benachbarten Kontinenten (R. S. DIETZ 1961). Es wurde auch tatsächlich aus den Ozeanen kein Sediment gedredgt, daß älter als die Kreidezeit war. Radioaktive Daten vom Basalt am Mittelatlantischen Rücken gaben tertiäres Alter. Von den Inseln in den großen Ozeanbecken haben nach einer Feststellung um 1963 (J. T. WILSON 1963) nur 40 Inseln Gesteine, welche älter als die gegenwärtige Epoche sind. Diese Inseln sind also relativ junge Gebilde. Sehr alte Gesteine besitzen Madagaskar, die Seychellen und im Südatlantik die Falkland-Inseln, die damit wohl als alte, weggedriftete Reste des Südkontinents gedeutet werden mußten, also nicht neuerer Entstehung im Zusammenhang mit der Spreizung des Ozeanbodens sind. Anders steht es mit Island. Im Atlantik wurde festgestellt, daß das Alter der Inseln mit der Entfernung vom Mittelatlantischen Rücken zunimmt.

Die von der großen Spalte nach außen gedrängte Lava und die daraus entstandene neuen Ozeanbodenkruste stößt schließlich an einen Kontinentalrand. Dort taucht die schwerere ozeanische Kruste etwa an der Westküste von Süd-Amerika unter die Ränder der aus leichterem Material bestehenden Südamerikanischen Platte und damit des Kontinents. Das ist das zuletzt entdeckte Phänomen der **Subduktion** (M. DORN 1989 II). Bei diesem Vorgang entstehen 1. Küsten-'Kordilleren', 2. Tiefseegräben, 3. gewaltige seismische und vulkanologische Aktivität. Vorderindien als Teil der indischen oder australischen Platte stößt nordwärts an die 'Eurasische Platte', wobei auch hier Subduktion stattfinden soll, ein hohes Gebirge noch vorhanden ist und ein einst dazwischenliegendes Meer, die Tethys, schon geschlossen wurde. Auf den Philippinen sinkt die Philippische Platte unter die Eurasische und hier befindet sich der 1991 Pinatubo nach langer Ruhe ausgebrochene Vulkan Pinatubo.

Durch die Neubildung von Krustenmaterial aus langen Spalten und den von Subduktion bestimmten Linien entstehen Krustenteile, die durch unruhige Grenzen voneinander geschieden sind und die wie Eisschollen an benachbarte stoßen, mit ihnen kollidieren oder auch voneinander wegdriften. Das sind die **'Platten'**, die Großkrustenteile, deren wechselseitige Beziehung in entscheidendem Maße das irdische Geschehen bestimmen, in der Verteilung der Kontinente einst und in den heutigen Erdbeben- und Vulkangürteln. Auch der Krakatau liegt in einer Subduk-

tionszone, in der von Norden die kleinere Burmesische Platte unter die Indisch-Australische Platte gleitet (Internet 2018).

Die Platten der heutigen Erdkruste und das neue Bild von der Erdkruste

Durch die Feststellung sich langsam bewegender Platten, Lithosphärenplatten, die 'Plattentektonik', wurde vieles im Geschehen auf der Erde weithin erklärbar und unter einen allgemeinen Gesichtspunkt gestellt. Es war eine großartige Weiterentwicklung der Auffassung von der Kontinentalverschiebung. Aber es war eben auch eine Erweiterung, denn Spreizung des Ozeanbodens und Subduktion waren bei WEGENER noch nicht vorhanden. Nicht die Kontinente wanderten auf einem aus anderem Material bestehenden Meeresgrund, sondern es gibt also 'Platten', die **teilweise Meer wie Festland umfassen** und ebenso sowohl aus Kruste wie aus Mantel bestehen. Die Plattengrenzen waren auch nicht die Kontinentgrenzen, auch nicht bei Einbeziehung der vorgelagerten Schelfe. Als eine Plattengrenze erschien etwa der mittelatlantische Rücken beziehungsweise dessen lava-entlassende Längsspalte. Es ist die Ostgrenze einer Platte, die dann über Südamerika bis an die Westküste Südamerikas reicht. Diese Platte, die 'Südamerikanische Platte', umfaßt also den südwestlichen Atlantik und Südamerika. Die Westgrenze dieser 'Südamerikanischen Platte', also die Westküste Süd-Amerikas, ist gekennzeichnet durch Subduktion und damit im Zusammenhang durch eine lange und hohe Küstenkordillere. Wer sich auf Kontinenten sicher fühlt und das mag für lange Zeiten, sogar für viele Jahrtausende gelten, lebt dennoch auf einem sehr beweglichen, den Eisschollen ähnlichem Untergrund, aber mit einer so langsamen Bewegung, das nur die oft vom Unglück betroffenen Bewohner an Plattengrenzen von den kleinen Bewegungen betroffen sind, durch Erdbeben und Vulkane.

Die 'Platten' können sich in dreifacher Weise im Verhältnis zueinander bewegen (J. T. WILSON 1968): 1. voneinander weg, 2. in umgekehrter Richtung längs aneinander vorbei, 3. aufeinander zu. Bei jeder dieser Bewegungen kommen verschiedene Phänomene zustande.

In der Erdgeschichte rissen auf den Platten längs Spalten, es drifteten die so getrennten Teile getrennt und wurden neue Platten. Platten schoben sich wie Kalifornien noch heute aneinander vorbei. Und **Platten vereinten** sich, unter **Auftürrung von Gebirgen** an den Grenzen. Es gab so immer einmal neue Kontinentbildungen, **änderte sich das Kontinentenbild** auf der Erdoberfläche. In sehr langen Zeiträumen. Das Bild von den Eisschollen ist so schlecht nicht, wenn man es denn nicht übertreibt. An den Nahtstellen der Platten gibt es ge-

waltige Verwerfungen, aber die Geologen des 19. Jh. haben die Verwerfungen in den Festländern erkannt und so den Grund für das Verständnis von Verwerfungen gelegt. An den Verwerfungen, wie man sie im 19. Jh. und später zuerst erforschte, fanden sich ebenso wie bei Platten Bewegungen der beidseitigen Schollen, so die Absenkung der einen Seite und die Hebung der anderen mit unterschiedlich großer Sprunghöhe oder auch die vertikale Verschiebung der durch eine Verwerfung getrennten Schollen aneinander vorbei. In der Plattentektonik war das nun viel großräumiger zu sehen. Die 'Schollen' waren Platten, und mit ihnen erfaßt wurden die Kontinente. Es gibt so viele Kontinente, wie Platten oder Plattenteile über die Meeresoberfläche ragen. Mit den wandernden Platten wanderten und änderten sich die Kontinente.

12 sogenannte 'Großplatten' waren etwa **1989** unterschieden (M. DORN 1989 II), Platten, die angesichts ihrer kleinen Bewegungen natürlich so noch lange weiterbestehen, trotz etwa des Ostafrikanischen Grabens. Aber die Plattengrenzen machen sich durch Erdbeben und Vulkane schon so unangenehm genug bemerkbar. 2018 (im Interne) wurden unterschieden **7 Großplatten**: 1-Eurasische, die Europa und Asien umfaßt, 2. Nordamerikanische, 3. Südamerikanische, 4. Afrikanische, 5. Australische, 6. Antarktische, 7. Pazische. Dazu kommen 50 kleinere Platten, so die Anatolische, und manche sind noch im Entstehen.

Das Festland Afrika selbst ist nur ein Teil der '**Afrikanischen Platte**', deren Ostgrenze im Indischen Ozean liegt. Dort grenzt sie an die '**Australische Platte**', auch als '**Indische Platte**' bezeichnet, welche große Teile des Indischen Ozeans, Vorderindien und auch Australien umfaßt. Eine Plattengrenze ist auch das Mittelmeer, wo '**Eurasische Platte**' und '**Afrikanische Platte**' zusammenstießen und noch aneinanderstoßen und auch bei der östlichen Fortsetzung der letzteren, Zerfallsprodukten von Gondwanaland, an der Nordgrenze der '**Arabischen Platte**' und der '**Australischen Platte**' resp. '**Indischen Platte**', sich hohe Gebirge auftürmten. Beim Nordwärtsdriften Vorderindiens gegen Angara-Land wurde der **Himalaja** zusammengeschoben, ein der alpidischen Orogenese angehörendes Gebirge, ein zweiseitig gebautes Orogen (E. KRAUS 1959, S. 123). Die Nahtstelle zwischen Indien und dem übrigen Asien erkannte vor allem in Bhutan der 1955 bis 1977 als Professor der Geologie an der ETH Zürich und der Universität Zürich wirkende bedeutende Himalaja-Kenner AUGUSTO GANSSER (J.-P. BURG 2011). WEGENER, der das Auseinanderdriften von Südamerika und Afrika postulierte, hatte eine eigene Nordwärts-Mobilität für Indien noch nicht gesehen. Auf dem Indischen Subkontinent gibt es ältere Gebirge, so die eher in Nord-Süd-Richtung streichenden Aravalli-Berge, bis zur Höhe eines höheren Mittelgebirges, meist unter 1000 m, mit dem höchsten Gipfel bei 1722 m (Wikipedia 2013), die mit dem gesamten Vorderindien mit nach Norden transportiert wurden.



Abbildung 600: Aravalli b. Udaipur.



Abbildung 601: Aravalli, Udaipur.

Beim **Nordwärtsdriften der 'Arabischen Platte'** bildete sich der aus zwei Ketten bestehende **Kaukasus**, mit der besonders eindrucksvollen nördlichen Kette. Südlich gibt es die Pontischen Gebirge und den Taurus. Von der 'Arabischen Platte' wird angenommen, daß ihre Nordwärtsdrift durchschnittlich 2,5 cm im Jahr betrug (F. NEUKIRCHEN 2011).

Wo Afrikanische und Eurasische Platte zusammenstoßen liegt auf Sizilien der **Ätna**. Eine Verwerfung trennt das mittlere Griechenland vom Peloponnes. Mehrere Millimeter im Jahr trennt sich der Peloponnes vom griechischen Festland. Und das war beim Bau einer Brücke unbedingt zu berücksichtigen. Die Hälfte aller Erdbeben in Europa findet in Griechenland statt. Die 900 km lange und sich bis Griechenland hinziehende Nordanatolische Verwerfung, bei der sich die kleinere Anatolische Platte nach Norden gegen die große Eurasische Platte bewegt, bedroht mit weiteren schweren Erdbeben die 15 Millionen Einwohner aufweisende Stadt Istanbul. Sorgfältige Überwachung der Region findet selbstverständlich statt. Die Grenze von Eurasischer und Pazifischer Platte durchzieht **Japan**, und wo die Philippinenplatte hinstößt befindet sich der Fujiyama, heute 3776, 24 m hoch. Einen bisher letzten Ausbruch gab es am 18. Dezember 1706. Japan wird immer wieder von Erdbeben erschüttert. Das schlimmste, das die Kanto-Ebene betraf, zerstörte 1923 Tokio und dessen Hafenstadt Yokohama nahezu völlig und veränderte Japans Geschichte.

Vor etwa mindestens 25 Millionen Jahren, also tief im Tertiär, begann sich in **Sibirien** von Süd nach Nord ein langer Riß zu bilden, ein kontinentaler Grabenbruch, schließlich 31 722 km lang. Ein Teil begann sich mit dem von zahlreichen Zuflüssen von den Ufern aus mit dem Wasser zu füllen, das den **Baikalsee** bildete, heute 673 km lang, Maximalbreite 82 km, Fläche 21.722 km², Maximaltiefe 1542 m, mittlere Tiefe 758 m. Der Baikalsee wurde der älteste und trotz Sedimentablagerung in ihm der tiefste Süßwassersee der Erde. Er enthält etwa 1/5 der Süßwasservorräte der Erde. Getrennt wurden die sich nun bildende **Eurasischen Platte** im Westen und eine **Amurischen Platte** im Osten. Von Süden her drückt wie ein Keil die Indische Platte. Noch immer etwa 2 cm im Jahre erweitert und vertieft sich der Baikalsee (Wikipedia 2013, 2018). Es gibt hier derzeit keine aktiven Vulkane, aber Thermalquellen und seismische Aktivität.

Die Wasservorräte aller großen nordamerikanischen Seen erreichen nur knapp den Wasservorrat des Baikalsees. Der Wasservorrat des Baikalsees übertrifft etwa 450-mal den Wasservorrat des Bodensees. Das flächenmäßig im Vergleich zum Baikalsee größere Kaspische Meer ist kein reiner Süßwassersee. Im Baikalsee bildete sich auch eine teilweise eigene Organismenwelt heraus. Zu der in Süßwasserseen lebenden variablen Lachsfisch-Gattung *Coregonus* gehört, der Omul resp. Baikal-Renke/*Coregonis migratorius*.



Abbildung 602: Graben zw. 2 Platten: Baikal.



Abbildung 603: Neuseeland S-Insel.

Am Ostwärtsdriften der **Australischen Platte** entstand dann das erdbebenreiche Neuseeland, auf einem breiten untermeerischen Sockel.

Die Norddrift der heutigen Australischen Platte gilt als schnellste gegenwärtigen Plattenbewegung, mit 6 cm/Jahr (YouTube 2018).

Bei der Subduktion und Kollision der Platten entstehen auch so hohe Drucke und Temperaturen, daß die Gesteine aufschmelzen und auch die Verbindung zum Erdinneren freigesetzt wird und somit Vulkane, ja Vulkanreihen gebildet werden. Vulkane und auch Erdbeben sind vielfach an Plattenränder gebunden. Aber unter den wandernden Platten konnten auch große Magmakammern ortsfest bleiben und bilden Vulkane innerhalb von Platten (Internet 2018). Mit der Theorie von der 'Plattentektonik', mit dem Erkennen des Zusammenhangs von Subduktion, Meeresbodenspreizen und Vulkanismus war also eine "vereinheitlichende Theorie

von globaler Tektonik und Vulkanismus geschaffen" worden (M. DORN 1989 II). Es "wurde das Bild der Geologie als Erdwissenschaft mit planetarer Dimension neu definiert" (J.-P. BURG 2011, S. 95).

Es gab noch länger Anhänger der nun veralteten, dem Fixismus verhafteten Geosynkinal-Theorie. Von der ETH Zürich wird erzählt, daß 1972 in einer geheimen Abstimmung darüber entschieden worden sei, ob die Plattentektonik hier gelehrt werden sollte und es gab dafür nur 1 Stimme Mehrheit. Bei wie vielen Anwesenden? Aber berichtet wird auch: "Das alte Modell der Geosynklinale lebt zwar heute noch an unserem", also dem Züricher, "Geologischen Institut weiter, aber nur als jährliches Treffen der Aktiven und Ehemaligen des Institutes um die Weihnachtszeit" (alles b. J.-P. BURG 2011, S. 95). **Schrittweise** war teilweise das **Umdenken**. Mit Vorsicht berichtete CARL ERNST KRAUS 1959, (S. 13 ff.) über WEGENERs Ansichten von der Kontinentalwanderung, der 'Epeirophorese': "An die Stelle des "Fixismus" ist langsam jener des "Mobilismus" - so oder so - getreten" (S. 18) und 1965 (S. 139) als fast hilflose 'Alternativlosigkeit' "wird allmählich der Mobilismus deshalb als zutreffend immer mehr erkannt, weil die bisherigen fixistischen Deutungen vergeblich waren, während die mobilistischen Deutungen identisch sind mit der Annahme der Unterströmungs-Theorie und die endogenen Energie-Quellen als subkrustal tätig nun zu verstehbaren mechanischen Vorstellungen führen."

Zu der Erfassung der mittelozeanischen Rücken trat **weiterhin** die nähere **Betrachtung der großen Bruchlinien auch auf den Kontinenten**, wie es SU-ESS schon angebahnt hatte. Plattengrenzen innerhalb der Großplatten? Was wird die Zukunft des Ostafrikanischen Grabens sein? Eine neue Trennungslinie von Festland? Eine Plattengrenze?

Es gab einmal Großkontinente, die dann in Platten auseinanderdrifteten

Die ältere Vorstellung von ehemaligen Großkontinenten, vor allem von dem Großkontinent im Süden, wurde weiter präzisiert. Die heutigen Großplatten gelten als aus zwei großen Kontinentalräumen hervorgegangen. Das war der schon erfaßte südliche Großkontinent 'Gondwania' und der sich nun deutlicher abzeichnende **nördliche Großkontinent 'Laurasia'**, wobei auch von dem begrenzteren Nordkontinent " **Atlantica**" die Rede ist. Der Atlantik hatte einst nicht bestanden. Die Aufspreizung dieses neuen Atlantik hatte die Platten der westlichen 'Neuen Welt', also vor allem die 'Südamerikanische Platte' und die 'Nordamerikanische Platte' von den östlichen Regionen, also vor allem von der 'Afrikanischen Platte' und der 'Eurasischen Platte' getrennt. Mit der Entstehung des Mittelatlantischen Rückens

und dem Wegschieben der Lavamassen nach dem Westen und dem Osten von ihm erweiterte sich der Atlantik. Einst also hatten zwei große und an ihren Nord- und Südgrenzen auch benachbarte Großkontinente, Gondwania und Laurasia, die Vormachtstellung auf der Erde, mit auch nur einem Großozean. Die 'aufgeteilte Erde' bietet mit ihren Kontinenten und auch voneinander getrennten Ozeanen ein ganz anderes Bild als es die Paläogeographie etwa der Permzeit und auch noch später vermittelt.

Für den einstigen **nördlichen Großkontinent**, der vom heutigen Westeuropa bis weit hinein nach Nordamerika reicht, werden verschiedene Zeugnisse angeführt.

Nordamerika weist keine weiten Jura-Transgressionen auf, weil es in der heutigen und vom Meer im Osten begrenzten Gestalt nicht existierte. Faltensysteme im östlichen Kanada lassen sich gedanklich an Falten im heutigen Schottland anschließen (J. T. WILSON 1963). Die Gesteine von Neufundland in den verschiedenen Gürteln sind vergleichbar denen auf den britischen Inseln (M. KAY 1968). Europäische und nordamerikanische Süßwasserfische hatten im Devon einen größeren gemeinsamen Artenbestand als etwa in der Gegenwart. Die Carbon- Fossilien sind so verteilt, daß damals der Nordatlantik nicht als Trennscheide existiert haben kann (A. S. ROMER 1968).

Bis zum Jungpaläozoikum gab es eine in Verwandtschaften sich ausdrückende **Kohlenflora der nördlichen Hemisphäre**, die sowohl im westlichen Europa wie im östlichen Nord-Amerika vorkommt, also Teile Eurasiens wie Nord-Amerikas über den noch nicht vorhandenen Atlantik miteinander verbindet. Man sprach auch vom Festland 'Atlantica' (J. T. WILSON 1968), Die dann erfolgenden Trennungen auf dem Nordkontinent wurden erschlossen etwa aus der sich ebenfalls trennenden Flora des jüngeren Paläozoikum und des frühen Mesozoikum (A. S. ROMER 1968, J. T. WILSON 1968). Ähnlichkeiten zwischen Europa und dem östlichen Nord-Amerika fanden sich gegenwärtig bei den im Erdboden lebenden 'Regenwürmern', die sich augenscheinlich sehr langsam umbilden und eben noch viel von jenen Gemeinsamkeiten besitzen, die sie auf dem zusammenhängenden Kontinent 'Atlantica' besaßen (J. T. WILSON 1968).

Nach Osten hin gibt es keine Verbindung zum Kontinent 'Atlantica'. Es gibt eine sich unterscheidende fossile Flora großer Teile von China, Südost-Asien und Teilen des westlichen Nord-Amerika, die auf einen abgetrennten Nordkontinent schließen lassen, den man '**Pacifica**' genannt.

Im Süden gibt es dann die schon vielfach und auch vor der Annahme einer Kontinentaldrift als eigenständig erkannte Gondwana-Flora. Für die vom **Gondwana-Land** weggedrifteten Kontinente hat etwa A. S. ROMER (1968) die für die Kontinentenverschiebung beziehungsweise zur Plattentektonik sprechenden Befunde er-

weitert zusammengestellt. Unter den Reptilien fand sich der kleine, frühpermische Mesosaurus in den Dwyka-Schichten im westlichen Kapland, also in Süd-Afrika, und in den vergleichbaren Sedimenten der Itarare-Formation im südlichen Brasilien

Lungenfische gibt es gegenwärtig nur auf den Südkontinenten, waren aber einst auch im Norden vorhanden, also zu Zeiten noch engerer Kontinentenverbindung (T. S. WESTOLL 1965).

Der **Ostafrikanische Graben**, der Afrika in einen West- und einen Ostteil trennt, kann als Fortsetzung des Zerfalls von Gondwana-Land gesehen werden.

Die Plattengrenzen auch über dem Ozean - Plumes

Die mittelozeanischen Rücken sind allerdings nur in ihrem initialen Stadium von einer langgestreckten Spalte begleitet. Die erdumspannenden linearen Rücken verwandeln sich dann in 6 oder 7 mehr punktförmige Zentren, in denen allein noch Lavaaufstieg stattfindet, die '**Plumes**'. Die recht lineare Gestalt des Mittelatlantischen Rückens weist auf sein relativ junges geologisches Alter und ebenso der von ihm ausgehenden Trennung von 'Platten'. Die Bildung des Plumes soll zustandekommen durch Temperaturanomalien unter etwa dem mittelatlantischen Rücken und den Subduktionszonen.

Längs dem Mittelatlantischen Rücken stiegen auch einige Inseln empor, durch welche man die Trennungsspalte verlaufen sah. Das ist der Fall auf der vielerorts Rauchschwaden ausstoßenden nordatlantischen Insel **Island**. Hier kreuzt sich die Mittelatlantische Schwelle auch mit der Nordatlantischen Querschwelle. Die Insel Island besteht fast nur aus vulkanischem Material, Basaltablagerung auf Basaltablagerung. Schwarz ist der Anblick, wo nicht gerade Gras den Basalt überzieht. Island interessierte im Zusammenhang mit den Debatten um die Kontinentaldrift schon in den 1930-er-Jahren und die Spalten dort sollten zurückgehen auf die "Dehnungen des plastischen Untergrundes" (O. NIEMCZYK 1939, S. 312). Von Juni bis Oktober 1938 kartierte eine deutsche Island-Expedition, 5 Wissenschaftler und 3 Hilfsarbeiter, die Spalten "innerhalb der 100 - 200 km breiten rezenten Innenzone Islands", wo die spaltenbildenden Vorgänge noch heute stattfinden. Den Touristen 2006 wird die Plattengrenze gezeigt, ein längshinziehender niedriger Basaltrücken mit einer, ebenso längshinziehenden niedrigen, aus ebenso erstarrtem Material bestehenden Vertiefung in der Mitte. Überzeugt es? Ging all der Basalt der Insel von hier aus? Oder gibt es nicht eine ganze Anzahl paralleler Spalten, die gewiß in die gleiche Richtung ziehen und die breitere Zerreißungszone zeigen (H. G. BACKLUND 1939). .



Abbildung 604: Aufreißende Kontinentalplatte? Isl..



Abbildung 605: Kontinentalgraben Island.

Die Rauchschwanden entsteigen Islands Boden auch weiter weg von der gezeigten Plattengrenze. Als sich der USA-Präsident REAGAN und der Sowjetpräsident GORBATSCHOW in einem Haus in Reykjavik trafen, begegneten sie sich nach verbreiteter Darstellung hier an der unter dem Haus verlaufenden Grenze von zwei aneinanderstoßenden Groß-Platten. Der eine kam von der im Westen liegenden Platte, der andere, GORBATSCHOW, von der Platte im Osten, also beide auch aus geologisch und nicht nur aus weltanschaulich-politisch unterschiedlichen Bereichen.

Phänomene im Zusammenhang mit der Plattenverschiebung, der mit ihnen verschobenen Festländer

Biogeographische Phänomene, also Verteilung von Organismen auf der Erde, aber auch Zusammengehörigkeiten in Gebirgen waren als die Zeugnisse für die Kontinentaldrift herangezogen worden. Der **Erklärungswert** der Theorie von der 'Plattentektonik' für solche Phänomene deckt sich etwa mit den von WEGENER gegebenen. Erklärt, wie schon ausgeführt wurde, werden erdgeschichtliche Gemeinsamkeiten heute getrennter und ehemals offensichtlich zusammenhängender Festlandsregionen. Schon WEGENER hatte auf die heute getrennten Regionen mit **permo-carbonischen Gletscherspuren** verwiesen, die einst zusammenhingen, vom heutigen Vorderindien bis hin zu den Falkland-Inseln (F. S. ROMER 1968). Das ehemals vergletscherte Territorium war zusammenhängend doch kleiner gewesen als einst vermutet. Überflutet wurde das Gebiet nicht (T. S. WESTOLL 1965).

Hat sich die Lage der **Kontinente** geändert, blieben sie nicht an Ort und Stelle, dann **rückten** sie auch in ihrer langen Geschichte **in unterschiedliche Klimazonen**. Die in der Gegenwart bekannten großen Klimazonen konnten dann in ihrer Lage zu den Polen stets bestanden haben (P. M. S. BLACKETT 1965). Dann mußte nicht in der erdgeschichtlichen Vergangenheit ein die gesamte Erdoberfläche betreffendes andersartiges Klima oder eine rätselhafte Wanderung der Klimazonen angenommen werden. Unter den in der Lage zu den Polen stabilen Klimazonen wanderten die Kontinente hinweg. Die Kontinente beeinflussten das Klima nur bis zu einem gewissen Grade durch Bergketten oder größere Gewässer. Für die in der Arktis und in der Antarktis gefundenen tierischen und pflanzlichen Fossilien, welche auf ein subtropisches oder tropisches Klima deuten, verbleibt selbst bei Annahme einst einst erdweiten wärmeren Klimas die Frage, wie diese Lebewesen die Polarnacht überstanden, Aber die Gebiete der Arktis und Antarktis lagen einst eben nicht in Regionen mit Polarnacht. Die langsame Wanderung eines Festlandes in ein anderes Klimagebiet mußte langfristig, also in vielen Jahrmillionen, sich

allerdings auf die Umweltbedingungen seiner Vegetation und Fauna auswirken, auch diese Umweltveränderungen geschahen dann sehr langsam geschehen. Die Organismen konnten nach woanders hin ausweichen, sich verändern, also im Sinne der Evolution "anpassen", oder starben eben schlimmstenfalls aus. Letzteres schuf Platz für neue Formen.

Erdbeben, so wurde schon seit langem festgestellt, treten namentlich längs bestimmter 'Gürtel' auf, die nunmehr als Plattengrenzen angesehen werden. Aber nicht jedes Erdbeben, und das belastet die Vorhersage, erweist sich als an Plattengrenzen gebunden. Island liegt auf dem hier über den Meeresspiegel gehobenen Mittelatlantischen Rücken. Die Verschiebungen nur von cm oder auch nur mm reichen aus, um Inneren Spannungen zu erzeugen, die schließlich zu Erdbeben oder Vulkanen führen.

Furchtbare Erdbeben treten in jedem Jahrhundert mehrere auf: im 20. Jh. etwa San Francisco 1906 an der St.Andeas-Spalte.

Frage: Was rief die Plattenbildung hervorrief und wann?

Mit besonderem Interesse wurde nach dem schon mehrfach erwähnten **zeitlichen Ablauf der** Geschehnisse der **Kontinentaltrennung und -drift** geforscht.

Aus der Ähnlichkeit der Gesteine an verschiedenen Stellen beider Küsten des Atlantik wurde geschlossen, daß **der Atlantik im Jura aufzureißen** begann (M. KAY 1968). Der Ozeanboden in Pazifik und Süd-Atlantik bildete sich nach den seinerzeitigen Angaben F. J. VINE (1968) seit 65 Millionen Jahren, im Indischen Ozean und südlich von Australien vor 40 Millionen Jahren. Vom Meeresboden wurde kein Sediment emporgeholt, daß älter als 120 Millionen Jahre ist.

Plattentektonik und Erdgeschichts-Forschung insgesamt

Die Erfassung der '**Plattentektonik**' wird als **Paradigmenwechsel**, als "**wissenschaftliche Revolution**" im Sinne von THOMAS S. KUHN, in der Geologie angesehen (J. T. WILSON 1968).

Vielfach wird berechtigt gefragt, wieviel von der früheren Geologie, etwa jener von STILLE, in das neue Gebäude von der Plattentektonik übernommen werden kann. Die regionaleren Dislokationen, ja sogar die zeitliche Stellung von Gebirgsbildungen bleiben. Für regionale geologische Forschungen muß die Theorie von der Kontinental-Drift gar nicht immer und unbedingt herangezogen werden. Die Kontinente sind so groß, meinte J. T. WILSON (1963, S. 95), daß viel von der

auf ihnen erforschten Geologie bleibt, ob die Kontinente als Ganzes nun einmal voneinander weggedrifteten oder nicht.

Die **letzte**, erst wenigen Jahrtausenden endende **Glazialzeit** kann nicht mit irgendwelchen ihr zeitlich nahen Verschiebungen der Kontinente oder 'Platten' verbunden werden, da sich in diesem erdgeschichtlich relativ kurzen Zeitraum die Lage der Platten nicht wesentlich änderte. Aber für die vielleicht bei den Vergletscherungen mitspielenden Hochgebirgen kann man bis in die durch Plattenverschiebung hervorgerufenen Gebirgsbildungen im Tertiär zurückgehen. Aber wie nahe waren diese Gebirgsaufstiege der Eiszeit?

Für die Carbon-Perm-Eiszeit im Süden mag Plattentektonik etliche Erklärungen bieten (P. M. S. BLACKETT 1961), aber es müßten nicht alle Eiszeiten auf die gleiche Faktorenkonstellation zurückgehen.

Es ist der große, weitgespanne Rahmen, der mit der Plattentektonik anders zu sehen ist. Das schließt die Ursachen der Gebirgsbildungen ein, für die ein Zusammenhang mit dem Verschieben, dem Aufeinanderzudriften, besteht. W. v. ENGELHARDT betonte 1975, daß auch bisher in der Geologie "theoretische Entwürfe" eine Rolle spielten. Das waren etwa die Anschauungen über die Entstehung der magmatischen Gesteine, die Bedingungen der Metamorphose, die Abfolge tektonischer Phasen bei den Gebirgsbildungen, die Bildung geosynklinaler Sedimentationsräume als Voraussetzung für die Entstehung von Faltengebirgen und Anschauungen über die Abfolge der Organismenentwicklung. Aber alle diese theoretischen Aussagen betrafen einzelne Bereiche, waren oft an bestimmte fachliche Disziplinen innerhalb der Geowissenschaften gebunden.

Die WEGNERSche Theorie der Kontinentaldrift und die ihr folgende Theorie der Plattentektonik berührte die verschiedensten, ja alle geowissenschaftlichen Disziplinen, die Paläoklimatologie ebenso gut wie die Geophysik. Sie lieferte den verschiedenen Fachdisziplinen Erklärungen, sie war auf die Übereinstimmung der Aussagen aus den verschiedenen Fachdisziplinen angewiesen. Sie vereinigte auch Aussagen aus verschiedensten Disziplinen unter einem gemeinsamen Gesichtspunkt. Sie war, nach den Worten von ALFRED WEGENER 1912 (S. 276), ein "erster Versuch", "die Grossformen der Erdrinde, d. h. die Kontinentaltafeln und die ozeanischen Becken, durch ein einziges umfassendes Prinzip genetisch zu deuten ..."

Gefragt wurde auch nach "Platten" auf anderen festen Himmelskörpern. **Platten** sah man als eine **Besonderheit der Erde**.

Alles, was zur Plattentektonik gesagt wurde, muß nicht das letzte Wort sein!

Der Mensch als geologischer Faktor, zunehmend - Gibt es das ganz neue Erdzeitalter des 'Anthropozän'?

Plattentektonik, mit Erdbeben und Vulkanismus, kann "der Mensch" nicht abstellen, und wenn Erdplatten sich einander nur wenig nähern und es Spannungen in der Erdkruste gibt wie im Himalaja, dann kracht es bisweilen unbeeinflussbar gewaltig und herrscht die Tiefe, das Fließen tief unten, und das 'Exogene' sieht ziemlich mickrig aus. Um bei unvermeidbaren Erdbeben Schaden zu mindern, muß "erdbebenfest" gebaut werden, was immer es an Einschränkungen auch dafür gibt. Auch Stürme und Meereswogen sind kaum zu besänftigen. Trotzdem hat der "wirtschaftende Mensch" auf der Erdoberfläche und sogar bis in gewisse Tiefe so viel verändert, daß auch bei einem hoffentlich vermeidbaren baldigen Verschwinden der **Menschheit die Spuren untilgbar** wären (K. VON BÜLOW 1956).

Es gibt nun Geologen, die von einem ganz neuen Erdzeitalter, dem '**Anthropozän**' sprechen. Wegen der Kürze und des umstrittenen Anfangs dieses Erdzeitalters blieb der Begriff auch umstritten. VON BÜLOW meinte (1953), daß wie bei einer erdgeschichtlichen Formationsgrenze eine "erdgeschichtliche Neuordnung stattfindet, und, statt vielleicht nur zu jammern, gesagt werden kann wie von GOETHE nach der Schlacht von Valmy: "Wir sind dabei gewesen." Aber wer hätte schon dabei sein wollen, als das Bikini-Atoll durch Wasserstoffbomben-Explosion weggesprengt wurde. Jedenfalls gewinnt die Erdoberfläche **an-aktualistische**, also **exzeptionelle Züge**, und das anthropogen bedingt.

Natürlich oben, auf der Erdoberfläche, dort, wo die **exogenen Faktoren** wirken, wurde durch den 'wirtschaftenden Menschen' vieles und das irreversibel geändert. Wie es unter deutschen Geographen und Geologen etwa der zuletzt in West-Berlin wirkende Wirtschaftsgeograph EDWIN FELS (1954, 1965), aber auch K. VON BÜLOW (1953, 1956) in den 1950-er-Jahren und danach betonten. Veränderungen namentlich auf der Oberfläche gab es in etlichen Regionen schon im Altertum, in Mitteleuropa verstärkt seit dem Hochmittelalter. Durch Dämme an Küsten wurde selbst Meeresstransgression bis zu gewissem Grad verhütet. Fast überall auf der Erde wurde die Pflanzendecke enorm verändert. Wasserhaushalt und vor allem Wasserabfluß veränderten sich mit. Bodenerosion erhöhte das Anfallen von Material, das irgendwo sedimentiert wird. Wasserstau und Kanäle veränderten die Geschwindigkeit, ja den Lauf von Flüssen. Selbst ferne Meere werden durchfischt, auf die großen Wale schon seit längerer Zeit. Bergbau hat an zahlreichen Orten in Tagebau wie in Tiefbau solche Lücken in den Schichten und anderen Gesteinen hinterlassen, daß sie immer nachweisbar bleiben werden. Flußablagerungen wurden und werden vielerorts nach Gold völlig durchwühlt. In den USA wurden ganze Bergkuppen weggesprengt, um an Kohle in diesen zu gelangen - Kohle, die mit

dem Aufstieg des Gebirges mitgehoben wurde. Am Beginn des Jahres 1957 wurde von den USA gemeldet, daß 2213 in Betrieb genommene oder im Bau befindliche Stauanlagen eine Wassermasse von 499 Quadratkilometer und damit etwa das 10-fache der Wassermasse des Bodensees speichern können (E. FELS 1965, auch das weitere). Ein Großteil dieser Wassermasse geht in die Bewässerung von Ackerland. Von dem in den Golf von Mexico mündendem Rio Grande schrumpfte 1954 - 1957 infolge von 25 Sperren der Eintrag in den Golf von Mexico auf etwa mehr als 3% der ursprünglichen Wassermenge zusammen. Große Wassermengen wurden von einem Flußgebiet in ein anderes geleitet, auch über kontinentale Wasserscheiden hinweg. Es geschah also in viel größeren Dimensionen, was in mitteleuropäischen Bergbaugebieten mit kleinen Fluß- und Bachläufen seit dem 16. Jh. geschah. In dicht besiedelten Regionen wird es immer schwieriger, **Böden** zu finden, die noch die natürlichen Bodenbildungsvorgänge erkennen lassen. Die Schlußfolgerung von FELS schon 1965: "Die geomorphologische Wirkung des Menschen ist unbedenklich den Leistungen der Natur an die Seite zu stellen, ja in vielen Gebieten ein Mehrfaches, wenn nicht Vielfaches erreicht."

Hinsichtlich der **chemischen Elemente** hat etwa VERNADSKY (dtsch. 1930) auf den anthropogenen Einfluß für deren Kreislauf, ja für deren Erscheinen auf der Erdoberfläche überhaupt hingewiesen, jener Elemente, Metalle etwa, "die für die Technik und zur Aufrechterhaltung und Entwicklung zivilisierter Lebensbedingungen nötig sind" (S. 231). VERNADSKY wollte damals die gegenwärtige geologische Epoche gar als "Psychozoikum", als die Epoche des Geistes, bezeichnen.

In der **Sowjetunion** sollten die ins Eismeer mündenden großen sibirischen Ströme nach dem Süden umgelenkt werden und es wurden riesige Staubecken angelegt. GORBATSCHOW hat das gestoppt. Aber wie lange, wenn, wie in den USA 2017, Arbeitsplätze gesichert werden müssen?

Wenn die Zerstörung der Ozonschicht in der Hochatmosphäre auf das aus der Menschenwelt aufgestiegene FCKW zustandekam und durch Verzicht auf FCKW die Ozonschicht offenbar wieder bildete, war es mit **Einflußnahme der technisierten Menschenwelt** so weit gekommen, daß selbst die höhere Atmosphäre, das vielerorts immer noch bestehende blaue 'grenzenlose' Luftmeer der Dichter, so verändert wurde, daß es man hier regulieren mußte. Auch durch all die Maßnahmen im 21. Jh., um den Anstieg von CO₂ zu mindern. Wie weit darf der Luftverkehr noch zunehmen? Da die viel CO₂ bindenden Kieselalgen/Diatomeen in vielen Ozeanregionen an Eisenmangel leiden, untersucht man, vom Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven aus, in 'Geoengineering' den südlichen Ozeanen Eisen zuzuführen, was aber nur sinnvoll ist, wenn die dadurch höhere Menge an Diatomeen in die Tiefe absinkt und nicht alsbald von anderen Organismen gefressen ihr CO₂ wieder freigesetzt wird.

Beachtlich ist auch der menschliche **Einfluß auf die Seen**. Durch Wasserabzug können sie **Ausrocknen**, Wie große Teile am Aralsee. **Abwässer** und **Düngemittelzufuhr** bringen Verschiebungen im Artenspektrum hervor (S. NÄHER et al. 2017). Aus dem sauerstoff-reichen **oligotrophen** wird ein nährstoffreicher, jedoch am Sauerstoff verarmter **eutropher** See.

20. Der Geologe muß auch in den Kosmos blicken

Der Kosmos und vor allem der nähere in ihrer Wirkung auf die Erde und vor allem ihre Oberfläche

Die Erde ist kaum isoliert von anderen Himmelskörpern entstanden, sie wird von ihnen **ständig und immer beeinflusst**. wäre ohne sie nicht das, was sie ist. Wie es der britische Evolutionsbiologie RICHARD DAWKINS so eindrucksvoll formulierte (in 2008, S. 148): "Gäbe es nicht die Wärme der Sonne und die wechselnde Anziehungskraft des Mondes, stünden Luft und Meer still. Energie von außen treibt die Meeresströmungen an, läßt den Wind wehen, wirbelt den Staub der Wüste auf und schüttelt die Atmosphäre ... durcheinander, ..."

Ein Meteorit schafft den Erdmond? - Spekulationen über den einzigen Mond der Erde - Der Erdmond als Erdabkömmling und sein Herausschlagen als Impuls für alle weitere Erdkrustenumbildung?

Es war **der Mond unserer Erde**, unser einziger Mond, der für Weiteres Erklärung bieten sollte (H. QUIRING 1953). Sahen manche den Erdmond als eingefangen aus dem Weltall wie nach CHAMBERLIN und anderen ja die ganze Erde aus sich vereinigenden Kleinkörpern entstanden war, so sollte nach Meinung anderer **der Mond von der Erde stammen**, sich in erdgeschichtlicher Frühzeit von der Erde gelöst haben. Und der nördliche Pazifik, der wie ein großen Loch erscheint, sollte die "Mondnarbe" sein, das heißt von dorthier sollte unser Mond herkommen, wie ein kleiner Zwilling aus gemeinsamer Wurzel mit der Erde. Meteorite, welche für die Mondbildung hätten eingefangen werden können, bestehen zu 92% aus Nickeleisen. Aus solchem Material besteht der Mond nicht. Das sollte die Hypothese vom Einfangen von einem Meteoriten oder mehreren Meteoriten ausschließen.

Des große Biologen CHARLES DARWINs Sohn GEORG HOWARD DARWIN war ziemlich der erste mit der Ansicht der Herkunft des Erd**mondes von der Erde** und, mathematisch begabt, lieferte er dazu Berechnungen. Wie aber löste sich 'unser' Mond von der Erde? Gedacht wurde etwa von dem britischen Astrophysiker JAMES JEANS an die Annäherung eines fremden Himmelskörpers an die Erde und dessen Gravitationswirkung zog den Mond heraus. Oder der vorbeiziehende fremde Gast wirkte über starke Gezeiten und die Zentrifugalkraft schleuderte den Mond davon. Man verwies dabei auch auf die Saturnringe als möglicherweise herausgeschleudertes Saturn-Material. Manchen erschien die Hypothese von der Mondablösung absurd, andere Geologen, so der Niederländer JOHANNES HERMAN FREDERIK UMBGROVE (1942, S. 103) diskutierten sie wohlwollend. Mit der Mondablösung verblieben von der die Erdoberfläche bedeckenden Sialschicht die Kontinente, welche epochenlang langsam auf der schwerern Sial-Schicht drifteten. In den Tiefen des Pazifik, der eventuellen Stelle der Mondoberfläche, wurde die Sima-Schicht sogar an der Oberfläche vermutet. ESCHER (zit, b. J. H. F: UMBGROVE 1942, S. 103) berechnete die Dicke der verlorengegangenen Sialmasse vergleichend mit der verbliebenen. Es war die sich langsam von der "amputation" erholende Erde in einen neuen Zustand geraten.

Der über die Folgen einer Mondablösung ähnlich wie UMBGROVE spekulierende QUIRING (1948, 1953) sah die Ursache für die Mondablösung anders als UMBGROVE, in einer zu seiner Zeit spekulativeren Weise, durch den **Einfall eines größeren Meteoriten** auf die Erde. Dieser auf der Erde eingeschlagene Meteorit **schlug die Mondmaterie heraus**. Ein Faktor aus dem Kosmos ließ einen Teil der Erde im Kosmos, einem erdnahem Kosmos, unterbringen. Dieser Fall eines Großmeteoriten auf die Erde wäre ein letzter Großeinfluß des erdnahen Kosmos auf die Erde gewesen, Anfang einer Geschichte, auf die sich Ereignis auf Ereignis häuft - wie auch in der Menschheitsgeschichte lange zurückliegende Entstehung von Reichen über die Jahrtausende hinweg nachwirken. Aber zurück zum 19. Jahrhundert! (E. KRAUS 1959, S. 252 ff). Auf die Erdoberfläche gleichmäßig verteilt hätte das vom Mond mitgenommene Material etwa 20 km Kruste ergeben, war damiz etwa 1,2% der Erdmasse. Das so entstandene Loch, die "Nordpazifische Depression", sollte seine Nachbarregionen auf der Erdkruste ins Rutschen gebracht haben, wie schnell oder langsam auch immer, und das sollte sich immer weiter ausgewirkt haben, bis heute. Das bis unter die Sial genannte obere Schicht der Erdkruste reichende gewaltige Loch, habe die angrenzenden Teile der Edkruste in allmähliches Rutschen gebracht, so vielleicht wie ein Tagebauloch die umgebenden Bereiche ins Rutschen bringen kann, sich die aufgehäuften steilen Tagebauhänge unbefestigt weiter ins Umland ausbreiten. Die angestoßene Bewegung auf der Erdkruste durch das nord-pazisische Riesenloch habe die Kontinentenbewegung, die Bildung von nicht stillstehenden 'Platten', auf diese vor 3,2 bis 4 Milliarden Jahren angesetz-

te Mondablösung bewirkt. Der Zusammenschub der Hochgebirge bei der Bewegung von sich zueinander bewegenden Platten brachte die Bildung der Gebirge in Anlehnung an verfestigte Kontinente, Schwächezonen mit Vulkanen und Erdbeben - alles schien sich so **in einem Gesamtbild** mit einer **Einzelursache** unterbringen lassen, dem durch einen Großmeteoriteneinfall verursachten Mondverlust der Erde. Als eine vorangegangene und noch immer nicht von allen aufgegebene Ursache für vieles Geschehen in der Erdkruste galt deren **Kontraktion**, vertreten in der Kontraktionstheorie, welche durch die Wärmeabgabe radioaktiv zerfallender Elemente zweifelhafter geworden war.

Der Tektoniker STILLE hatte ohne Bezugnahme auf die Mondablösung mit einem Umbruch auf der Erde im Archaikum gerechnet, dem "Laurentischen Umbruch" und seitdem kam es zu der von ihm beschriebenen Bildung etwa der Teile Europas von stehengebliebenen Kratonen aus, in Europa von Fennoskandia her. QUIRING schien also mit der Ausschleuderung der Mondmaterie die Ursache geboten zu haben, "Nirgends hat das Archaikum seine söhlige, ursprünglich Lagerung bewahrt, während alle späteren Gebirgsbewegungen sich auf mehr oder weniger breite Einzelzonen (Akratone, Orogene) zwischen starren Kratonen bewegen", meinte QUIRING (1948, S. 213). "Der ganze heutige Pazifik, ja die ganze Erde ist erschüttert worden" (H. QUIRING 1953, S. 61). Mit dem Mond kamen viel stärkere Gezeiten als die Sonne auslösen konnte. Diese wirken ja nicht nur auf die Wasserhülle der Erde, sondern mit viel geringerem Tidenhub auch auf feste Kruste. Mit dem Mond wurde die Erdumdrehung verlangsamt. nachdem schon die viel schwächeren Gezeiten aus der Sonnenwirkung eine Verlangsamung der anfänglichen Erdumdrehung bewirkt hätten. Ach, wie kurz wären unsere Tage ohne den Mond, nachdem die Erdkontraktion wegen der Verkleinerung des Erddurchmessers auch verkürzend gewirkt hatte.

Mit dem Flug von Raumfahrzeugen zum Mond, mit der Analyse von **zur Erde** gebrachtem **Mondgestein** kam neue Bewegung in die Erörterung um die Mond-Entstehung. Es war basaltisches Gestein, das sich auf dem Monde fand (B. MASON 1973), der oberen Erdkruste nicht fremdes Gestein. Zur Geologie trat die Planetologie (s. d.).

Die heutige Plattentektonik kann auf die Mondablösung verzichten und sieht die Plattenbewegung in den Magmen des oberen Erdkernes.Oder?

Die **Sicht auf den Erdmond** ist differenzierter geworden (A. PAWLAK 2019), wie etwa der Planetologe RALF JAUMANN erläuterte. Ohne den Mond würde die Erde viel schneller rotieren. Der Mond hebt nicht nur Wasser, er "bewegt auch die Erdkruste etwa" 10 m "auf und ab" (S. 29) und konnte sie die Plattentektonik auslösen. Dabei wurde jenes CO₂ freigesetzt, ohne welches die Erdoberfläche viel

kälter wäre. In der Frühzeit der Erde "rotierte die Erde schneller", der Mond war näher bei der Erde, die Gezeiten waren stärker. "Der Mond stabilisierte auch die Rotationsachse der Erde, die ansonsten zwischen Sonne und Jupiter hin und hergezogen würde und wir beim Mars umkippen könnte, dann würden abwechselnd die Pole oder der Äquator ausfrieren. "Das komplexe Zusammenwirken von Erde und Mond sorgt sehr wahrscheinlich dafür, dass die Erde ein so perfektes Raumschiff geworden ist." (S. 29). Die mineralogische Zusammensetzung der Mondoberfläche kann durch die Spektroskopie im nahen und mittleren Infrarot auch von der Erde aus untersucht werden und ergänzt so die Untersuchung der vom Mond mitgebrachten Gesteinsproben.

Die Mondoberfläche ist wie **übersät von Einschlagkratern**. Die **Einschlagkrater auf dem Mond** sind teilweise gewaltig und zeugen davon, was Meteoriten auf einem Planeten anrichten können: der "Einschlagkrater Tycho auf der südlichen Mondhemisphäre ... hat einen Durchmesser von 90" km "und in der Mitte einen 3000" m "hohen Berg. So hoch sind auch die Kraterränder" die damit ein die Alpen übertreffendes Gebirge bilden und das ist entstanden im Unterschied zu den Alpen nicht in vielen Jahrmillionen, sondern in "wenigen Minuten" (S. 27). Durch den ständigen Aufprall von meistens kleinen Asteroiden ändert sich durch Felsstürze die Mondlandschaft ständig, ist also nicht so still wie es schien (RND 10. 6. 2020).

Vergleich der Erdgeschichte mit der möglichen Geschichte anderer Himmelskörper

Was schon manchmal in eher spekulativer Weise geschehen war, mußte angesichts zunehmender Blicke in den Weltraum sowohl von der Erde aus als dann von künstlichen Satelliten her anerkannt werden: **Die Erde** ist nur einer von den Planeten und deren teilweise erdähnlichen Monden im Sonnensystem, ist nur **einer von zahlreichen verschiedenartigen Himmelskörpern**. Die Frage lag nahe nach den Besonderheiten der Erde und ihren Ähnlichkeiten mit manchen anderen Himmelskörpern namentlich nach deren Entwicklung, das man mit dem **vergleichen** kann, was für die Erde Geologie heißt. Die 'Geologie', zusammenhängend mit 'Gea' = Erde, ist dann eine Art Spezialfall in der Geschichte eines Himmelskörpers, die aus dessen Kruste erforscht wird. Die 'Geologie' mochten dann vergleichbaren Wissenschaften für die anderen Himmelskörper an die Seite gestellt werden. Für den Erdmond sprach man in der Tat von der 'Selenologie'. Zur geschichtlichen Entwicklung anderer Himmelskörper wurde von '**Cosmogeologie**' gesprochen (H. L. FAIRCHILD 1938), auch von '**vergleichender Planetologie**' (P. CLOUD 1980).

'Krater' auf dem Mond hatte mit dem neuen Fernrohr GALILEI gesehen und sie schienen irdischen Kratern so ähnlich zu sein, daß auf Vulkanismus auf dem Erdmond geschlossen wurde. 1873 hat der britische Astronom und Popularisator der Astronomie RICHARD ANTHONY PROCTOR die Annahme eingeworfen, daß die Mondkrater **von auf den Mond gefallenenen Meteoriten** stammen können (H. C. UREY 1952, S. 26). Die immer interessierenden **Meteorite** haben Eigenschaften, die den irdischen Gesteinen bis zu einem gewissen Grade vergleichbar sind. Und sie zeugen von der Materiewandlung und Stoffbildung anderswo im Weltall. GUSTAV TSCHERMAK in Wien betrachtete 1877 den 'Vulkanismus' als eine 'kosmische Erscheinung'. Der 'tellurische Vulkanismus' erschien nur als eine Sonderform. Die Ausbrüche auf der Sonne wären für TSCHERMAK riesenhafte Vergrößerungen jener Eruptionen, welche der Vulkanismus auf der Erde hervorbringt. G. K. GILBERT vom USA Geological Survey studierte mit dem Teleskop den Erdmond, um Aufschluß über Impaktphänomene, also Meteoriteneinschlagsphänomene, auf der Erde zu erhalten (P. CLOUD 1980).

Mit der Untersuchung von Himmelskörpern mittels 'Weltraumfahrzeugen' oder gar der Landung von Menschen auf dem Monde 1969 wurde klar, daß "außer der Erde auch andere feste Körper des Planetensystems geowissenschaftlichen Methoden zugänglich sind" (W. von ENGELHARDT 1975, S. 18), also die 'Geologie' tatsächlich Teil einer umfassenderen 'Planetologie' sein kann. Aus der Dichte des Mondes und anderem war schon auf Elemente geschlossen worden. Erste direktere Hinweise auf das Vorkommen bestimmter chemischer Elemente auf dem Erdmond lieferte die sowjetische Luna 10-Sonde, welche im April 1966 den Mond umkreiste und ein Gamma-Strahlen-Spektrometer mit sich führte (B. MASON 1973). Kalium, und vor allem die radioaktiven Elemente Thorium und Uran wurden als deutlich häufiger als auf der Erde nachgewiesen. Zwischen Juni 1966 und Januar 1968 landeten Raumflugkörper des NASA Surveyor Programme weich auf der Mondoberfläche. Und dann betraten Menschen 1969 den Mond und sammelten an Ort und Stelle und andere Raumflugkörper sammelten automatisch und kamen mit Mondgestein zurück. Vorhanden sind die auf der Erde als lithophil bezeichneten, also in der Kruste vorhandenen Elemente, die Zirkonium, Strontium, Niob, Uran, Thorium, die Seltenen Erden und vor allem auch Titan. Andere Elemente sind augenscheinlich verschwunden.. Die Mondoberfläche erwies sich als basaltisch. Vulkanismus hatte es gegeben, war aber vor 3 Milliarden Jahren zu Ende, und auf den Hochregionen liegen vor 4 Milliarden Jahren erstarrte Gesteine. Alles als 'geologisch' zu sehende Geschehen war also zu Ende, als es auf der Erde noch richtig lief und bis heute andauert. Ohne Atmosphäre und ohne Wasser gab es so etwas wie exogene Vorgänge nicht, keine Abtragung, keine Sedimentation. Nur vom Kosmos kommende Außenwirkungen gab es, durch den Sonnen'wind' und durch Meteoriten-Bombardement. So die Zusammenfassung bei dem aus Neu-

seeland stammenden, bei GOLDSCHMIDT promovierten Geochemiker und dann auch führenden Meteoritenforscher BRIAN MASON (Wikipdeia 2014) 1973. Kann nach den chemischen Befunden der Erdmond von der Erde kommen? Oder welches Material wurde hier eingefangen?

Dann rückte der noch nicht von Menschen erreichte **Planet Mars** ins Blickfeld, und von dessen Oberfläche gibt es mittlerweile großartige fotografische Aufnahmen. Der Vergleich der Krustenentwicklung auf den verschiedenen Himmelskörpern müßte aufschlußreiche Erkenntnisse über die Entwicklung von größeren Körpern im All erwarten lassen und neues Licht auch auf die Erdentwicklung werfen.

Leben wurde - bisher - auf keinem anderen Himmelskörper nachgewiesen. Die Paläontologie, wie die Biologie insgesamt, sind damit rein irdische Wissenschaften.

Einflüsse aus dem Weltall auf die Entwicklung auf der Erde

Die Erde ist nicht isoliert vom Weltall. Die Erde mit all ihrer von der Geologie erforschten Erdgeschichte ist namentlich mit ihrer Entstehung eng mit der Entwicklung des Sonnensystems verbunden und ist es auch in vielen geblieben. Aus dem Weltall kommt auf die Erde 1. **elektromagnetische Strahlung**, auch jene, welche die Photosynthese der grünen Pflanzen ermöglicht und so höheres Leben sich ausbilden ließ. 2. Es kommen aus Ionen bestehende **Plasmaströme**. 3. kamen **kleine** feste und in der Erdatmosphäre fast alle **verglühende**, Meteore genannte **feste Körper**, also unsere Sternschnuppen. 4. Es kamen, größere bis auf die Erdoberfläche auffallende und in etlichen Fällen auch Krater schlagende größere **Meteoriten**. Geologische Auswirkungen von allen diesen Einwirkungen gibt es durchaus.

Strahlung aus dem All - Erde und Weltall

Die Sonnenstrahlung ist der Motor fast aller Vorgänge auf der Erdoberfläche. Ohne Sonne mit ihren die Photosynthese der grünen Pflanzen ermöglichenden elektromagnetischen Strahlen, gäbe es kein Leben- eine Binsenweisheit.

Ob die ständige **Kosmische Strahlung** in eventuell zeitweilig erhöhter Dosis nach SCHINDEWOLFs (1958) Vorstellung die Evolution des Lebens beeinflusste sei dahingestellt. Über die etwa das Leben beeinflussenden Strahlungsvorgänge wurden erst in neuerer Zeit viele Erkenntnisse gewonnen. Es gibt bis heute Änderungen

des erdmagnetischen Feldes, Magnetanomalien. Und in fernerer Vergangenheit gab es Umpolungen. Bei anderer Feldstärke des erdmagnetischen Feldes gibt es Änderungen in der Einwirkung des aus dem Weltall kommenden Strahlung. Dann wurde die Kosmische Strahlung verstärkt, nicht polwärts abgelenkt. Für Lebewesen könnte das manche Auswirkungen haben. Im Jahre 1859 wurden die Folgen eines starken Sonnenwindes erstmals bekannt wurden, als 'Carrington-Ereignis' benannt nach dem britischen Sonnenforscher RICHARD CARRINGTON. Der damals durch Kabel mögliche Telegrafverkehr wurde stark gestört, Transformatoren schmolzen. Nordlichter erschienen bis in niedere Breiten. Immerhin, und da haben die den Aktualismus vertretenden Geologen recht: gab es nie eine völlige Unterbrechung der Evolution. Man meint, daß Menschen das Klima im günstigen Sinne beeinflussen können, nachdem sicherlich durch Waldrodung und Feldbau manche Änderung eingetreten war. Gegen die Sonne und das Weltall überhaupt und auch gegen den Erdmagnetismus besteht völlige Hilflosigkeit.

Immer weniger Spekulation: Feste Bomben aus dem Weltall, Meteoriten auf die Erde - lange verkannter Faktor in der Erdentwicklung, lange verkannte Meteoriten-Krater

Meteoriten im Widerstreit - Gibt es Meteoriten?

Meteoriten gehören zu den Faktoren der Erdkrustengestaltung von möglicherweise enormer Auswirkung, was lange Zeit nicht gesehen wurde und dann auch nicht bei der Erklärung bestimmter Phänomene herangezogen wurde. Im späten 18. Jahrhundert, als aller Aberglaube verbannt werden sollte, wurden von einflußreichen Gelehrten auch Steine aus dem Himmel in das Reich der Phantasie gestellt. Der Österreicher KARL SCHREIBERS war einer jener, die Meteoriten nachgingen, und CHLADNI trug ebenso Beweise für die Existenz von auf die Erde fallenden Meteoren zusammen.

Meteoriten oder überhaupt im Weltall heraukrieselnde Kleinkörper wurden in neueren **kosmologischen Hypothesen** über die Entstehung der Erde und anderer Himmelskörper, so der des Sonnensystems, als Ursprungskörper angenommen, also dienten zur Erklärung für Geschehnisse in frühen Zeiten, über die nicht die Geologie forschte und nicht der Aktualismus der Geologen als gültig angenommen wurde. So in der Planetesimal-Hypothese von T. C. CHAMBERLIN und F. R. MOULTON (H. QUIRING 1961, auch folg.), 1916 etwa. Die durchaus nicht seltenen Sternschnuppen, kleine Meteoriten, zerglühten in der Atmosphäre, aber erkaltet mußten sie als Staub niederrieseln, bei Nickel-Eisen als die Oxide dieser

Metalle. Das Eisen mit der niedrigeren Schmelztemperatur von 2730°C mochte sich dabei eher aus dem Nickel-Eisen-Verband abtrennen als das bei 3177°C siedende Nickel. Auf Schnee bei Stockholm und in der Arktis suchte 1874 A. E. NORDENSKIÖLD nach Meteritenstaub und gab als solchen nachgewiesenen Eisenstaub an. 1883 schätzte NORDENSKIÖLD die "Gesamtmenge des pro Jahr auf die Erde fallenden kosmischen Staubes auf 0.5 bis 1 Million t." Aus der Tiefsee im Pazifik holte J. MURRAY von der 'Challenger-Expedition' und der Däne HANS PETTERSSON 1947/1948 auf der 'Albatros' auf meteoritische Herkunft zurückgeführte magnetische Eisenkugeln. Es wurde abgeschätzt, daß aus dem Weltall in der auf 5 Milliarden geschätzten Geschichte der Erde nur ein kosmische Material von etwa 6.67 m Höhe aufgetroffen sein konnte, zu wenig um allzuviel in der Erdgeschichte zu erklären (H. QUIRING 1961, S. 261). Um 1960 (A. RITTMANN 1960, S. 298) wurde geschätzt, daß "täglich etwa 500 kg Meteoriten und meteorischer Staub auf die Erde" "fallen." Rechnet man diese Masse auf 3 Milliarden Erdgeschichte um, würde das Ergebnis nur "etwa ein Hundertmillionstel Prozent der Erde ausmachen" (S. 298), konnte also die Materie der Erdoberfläche nur sehr gering bereichern. Diese Überlegung läßt daran zweifeln, daß, gemäß der Planetesimalhypothese, die Erde aus der Zusammenballung sehr vieler kleiner Bruchstücke entstand (S. 298)., wenn nicht deren Masse einmal 10 hoch 17 höher gewesen wäre. Ebenso wenig wie Ereignisse auf der Erde kaum auf fein verteiltes außerirdisches Material zurückgeführt werden konnten, konnte auch die Sonnenenergie nicht auf dauernd auf die Sonne einfallende Meteorite zurückgeführt werden - was auch einmal diskutiert worden war. Die Erde muß, wie auch VON WEIZSÄCKER und KUIPER annahmen, gleichzeitig mit der Sonne entstanden sein (S. 298/299).

War feineres Material aus dem Weltall nicht für Geschehnisse auf der Erdoberfläche entscheidend, so wurde **zunehmend anerkannt**, daß andererseits **größere Einzelmeteorite** regional oder gar weithin darüber hinaus **Auswirkungen auf die Gestaltung der Erdoberfläche** besessen haben. Zur erdgeschichtlichen Rolle größerer Einzelmeteorite trat im 20. Jh. im Denken eine Wende ein, und wird auf Meteorite daraufhin manches zurückgeführt. Am 3. April 1916 war ein Meteorit bei Marburg gefallen und auf Grund der ALFRED WEGENER mitgeteilten Beobachtungen konnte nach WEGENERS Berechnung der Einschlagbereichs der Meteorit sogar gefunden werden. Um er vorwegzunehmen: Auf der heutigen Erde sind nach Stand vom April 2013 (M. SCHMIEDER et al. 2013, S. 388), 184 Impaktstrukturen, also Folgen von Meteoriteneinfällen, bekannt. Im heutigen **Europa** sind seit dem Proterozoikum, anzusetzen auf 1,15 Milliarden Jahre zurück, als es Europa im heutigen Sinne natürlich nicht gab, **48 Impaktereignisse** nachgewiesen. Auch an Meteoriten wurde mit der radioaktiven Altersbestimmung das Alter zu bestimmen versucht, aber wenigstens einst ein relativ geringes Alter, 2000 bis 3000 Millionen Jahre festgestellt (J. H. F. UMBROVE 1942, S. 10).

Das geologische Rätsel "Nördlinger Ries"

In Mitteleuropa wurden erst im 20. Jahrhundert zwei "Becken" in Süddeutschland, mehr oder weniger runde flache Territorien in der Schwäbischen Alb mit mehr oder weniger vorhandenen Randwällen, das **Nördlinger Ries** und das **Steinheimer Becken**, als Ergebnis von Meteoriteneinfällen erkannt beziehungsweise anerkannt.

Das **Nördlinger Ries** ist eine rundliche Ebene von 21 bis 24 Kilometer Durchmesser, eingesenkt in den Trauf der Schwäbischen Alb (P. DORN 1948) nahe der Stadt Nördlingen. Es wirkt wie ein "Fremdkörper", eine fremdes Landschaftselement, in dem umgebenden Hügelland, und forderte die Geologen heraus. OSCAR FRAAS schrieb 1878 (S. 67 / 68): "Es gibt in der That Nichts überraschenderes für den schwäbischen Jurageologen, der auf der Höhe seiner regelrecht geschichteten Alb wandelt und auf dem ganzen langen Körper derselben von Tuttingen bis zum Herdtfeld kaum eine Spur unterirdischer Gewaltstörungen gewahrt, als der Anblick der vom Albplateau ins Ries führende Strasse eröffnet, indem er eingesenkt in das ringförmig umgebende, wallartig hoch vorstehende Randgebirge plötzlich eine weite Ebene von 12 1/2 Quadrat-Meilen, 500 Fuss tief unter sich erblickt, gegen Süden in schönem regelmässigem Amphitheater sich trennend von der steilen waldigen Jurawand, gegen O., W. und N. aber in breiten, radial auslaufenden Thälern sich zwischen den weniger schroffen Seitenbergen des Keupers und Lias vorlagernd." Sedimentäre und teilweise granitische Schollen wurden beim Nördlinger Ries über die Umfassung hinausgeschoben, in der Mitte aber blieb die granitische Basis erhalten. Der Jurakalk ist teilweise völlig zertrümmert, "vergriest".

Eine ähnlich merkwürdige Ebene ist das kleinere **Steinheimer Becken** mit einem Durchmesser von rund 3 Kilometer.

BRANCA bezeichnete das Nördlinger Ries als "das größte geologische Rätsel in deutschem Boden" (POMPECKJ 1928) und die verschiedensten Geologen, namentlich die württembergischen wie DEFFNER und OSCAR FRAAS haben immer wieder im Nördlinger Ries gewelt, kartiert, gedeutet. Selbst Gletscher wurden etwa von DEFFNER in die Erörterungen einbezogen. Wurde angenommen, daß eine Vulkanexplosion die mehr oder weniger kreisförmige Ebene geschaffen hatte, so standen dem manche Befunde entgegen. Das besonders Rätselhafte war die 'Bunte Brekzie', die 'wurzellos am Riesrand lagert. Riesschutt fand sich auf der Malmtafel bis zu 15 bis 25 Kilometer vom Riesrand entfernt, im Lias- und Keuperland jedoch nur 3 Kilometer weit (A. BENTZ 1929). Die Riestrümmen liegen also bemerkenswert exzentrisch um den Rieskessel. Das wurde auf ungleiche Erosion in den verschiedenen Umgebungen rings um den Rieskessel zurückgeführt, aber die Erklärung befriedigte auch nicht. Später wurde auch ein Massendefizit im Kessel

festgestellt. Manche, so BRANCA und FRAAS (A. BENTZ 1929), hielten den Rieskessel für ein 'Einbruchsfeld' (s. E. SUESS 1909, S. 655). Gedacht wurde an Einbruch nach Hebung, so an eine mehrere Kilometer hohe magmatische Hebung und die darauf folgende Absenkung einer riesigen Gesteinsscholle. SUESS schrieb von einer "phreatischen Explosion".

Der Ingenieur-Offizier WALTER KRANZ (1911) dachte 1910 an eine im Obermiozän erfolgte einzige große Wasserdampfexplosion, eine allerdings bei rezenten Vulkanen unbekannte Erscheinung (s. a. P. DORN 1948). KRANZ (W. STRÖBEL 1955), der Sohn eines Stabarztes, war Pionieroffizier geworden, hatte auch Geologie und Paläontologie gehört und gilt als Begründer der 'Wehrgeologie'. Nach Ende des Ersten Weltkrieges trat er 1919 als Geologe in die Geologische Abteilung des Württembergischen Statistischen Landesamts, war 1923 bis 1938 Landesgeologe und ließ sich danach am Rande "seines geliebten Rieses" in Bopfingen nieder. An Beobachtungen im Gelände hatte 1910 der von BRANCA und FRAAS damals als Laie abgetane KRANZ (1912, S. 55) etwa auf die enorme Zertrümmerung der einen Scholle (Kalkstein-Scholle) verwiesen, wobei hier "von einfacher Überschiebung, von Abrutschen am Gehänge eines Riesberges keine Rede mehr sein" kann, "das Gestein drängt hier geradezu den Gedanken auf, daß es aus dem Riesessel herausgeschossen, durch die Luft geflogen ist und beim Aufprall vollkommen zerschmettert wurde." Gewaltiges mußte also auf Grund der Beobachtungen auch anderer Feldgeologen geschehen sein. Um seine Ansicht von der einmaligen Explosion zu beweisen, verwies der Kriegsgeologe KRANZ auf die Wirkung von Fladderminen, auf eine Riesensprengung der Engländer im Weltkrieg in Flandern und führte, er war ja Pionieroffizier, an der Ostseeküste auf einer Stranddüne unweit Swinemünde an einem naturgetreuen Riesmodell aus Kiesbeton nach 28 Tagen Abbindezeit und dann daraufgelegtem Dünen sand am 13. November 1911 eine Modellexplosion durch. Die Sprengung hatte für KRANZ (1913, S. 80) "die Möglichkeit der Entstehung radialer und konzentrischer Spalten von ungeahnter Längen- und Breitenausdehnung unmittelbar durch eine gewaltige vulkanische Sprengung erwiesen..." Für das Steinheimer Becken mit ebenfalls Vergriesung des Malmkalkes an der Peripherie nahm er ebenfalls eine starke zentrale, flachsitzende vulkanische Sprengung an. E. FRAAS (1914, S. 114) entgegnete, daß er bei seinen Grabungen niemals "das Bild einer Lockerung, sondern im Gegenteil stets dasjenige einer starken Pressung" vorfand - verwies also auf eine andere Beobachtung.

Manche kraterartigen Einsenkungen als Meterokrater anerkannt - Streit um die Meteoriten-Theorie

Schon im späten 19. Jh. wurden **Maare** auf der Erde, in der Eifel oder Süddeutschland, mit den ebenso genannten **Gebilden auf dem Monde verglichen**. FAY nannte um 1895 auf der damals allein sichtbaren, der Erde zugewandten Seite des Mondes bis 30 000 solche kreisförmigen Vertiefungen (W. BRANCO 1895). Eine Entstehung der irdischen und der auf dem Mond liegenden 'Maare' wurde erörtert. Auch Meteore wurden für die Entstehung der Mondmaare ins Gespräch gebracht, aber es blieb offen, warum die Erdoberfläche nicht ebenso narbig von Maaren übersät ist wie der Mond. Gewiß, so wurde gemeint, gibt es auf der Erde eine andersartige Verwitterung und diese konnte viele solche Aufschlagsstellen von Meteoriten verwischt haben. Aber auf dem Mond sollte doch eine starke Verwitterung durch Insolation erfolgen und diese hätte ebenfalls die Mond-Maare zerstören müssen. Die Anerkennung von mehr Meteoriteneinschlagsorten auf der Erde kam im 20. Jh.

Der Anerkennung von Meteorokratern auf der Erde, also dem Phänomen, daß manche kraterähnlichen Vertiefungen durch Meteoriteinschläge verursacht rückte man näher mit der Erforschung des merkwürdigen Coon Butte-**"Krater"** im nördlichen **Arizona** (USA), bekannt auch als der **"Canyon Diablo"**. Diese merkwürdige Vertiefung befindet sich in einer fast vegetationslosen Ebene aus Kalkstein und Sandstein, etwa 1700 m hoch (O. STUTZER 1936), ohne vulkanische Gesteine in der Nähe. Schon 1856 hatten Schäfer dort metallisches Eisen gefunden (G. K. GILBERT 1896). Die außerirdische Herkunft des Eisens wurde anerkannt. Auch für den Krater wurde danach die Entstehung durch einen **Meteoriteneinfall** erörtert. Zwei Wochen verbrachte der führende USA-Geologe GROVE KARL GILBERT (1896) mit Mitarbeitern an dem Krater, er, der auch den Mond kartierte und als Mitarbeiter am Geological Survey damit einen Kongreß-Abgeordneten am Nutzen des Geological Survey zweifeln ließ (C. L. FENTON 1952). Am "Canyon Diablo"-Krater führte GILBERT mit seinem Team topographische und magnetische Messungen durch und sie untersuchten manche Details. Es wurde dann dennoch die Hypothese vertreten, daß eine **vulkanische Explosion** den Krater schuf. Eine Begründung dafür war, daß die Masse des Gesteinsmaterials am Rande in den Krater zurückgeworfen diesen nicht ausfüllen könnte, was man erwarten müßte, wenn das Material aus dem Krater nur herausgeflossen wäre. Es fehle auch die im Falle eines Meteoriteneinfalls angeblich zu erwartende außerirdische Materie. GILBERT verwies auf die dem Arizona-Krater in manchem ähnlichen "Maare" der Eifel. Solche Maare in der Eifel gibt es jedoch mehrere, verteilt über ein größeres Gebiet, und das läßt ihre Entstehung durch einen Meteoriten eher unwahrscheinlich erscheinen. Obwohl Meteoritenschauer gibt es allerdings auch, und diese könnten

mehrere Krater in Nachbarschaft hervorbringen.

Eine **Herausforderung** auch für den Geologen blieben andererseits die zahlreichen im Fernrohr sichtbaren **Krater auf dem Mond**, für deren Entstehung Meteoriteneinfälle die nächstliegende Erklärung darstellten, wenn man nicht Vulkantätigkeit auf dem Mond annehmen wollte. Wenn der Mond öfters von Meteoriten bombardiert worden war, dann war das für die Erde aber kaum auszuschließen. Gewiß, der Mond hat kein Magnetfeld und keine Atmosphäre und kleine Meteoriten "verglühten" nicht wie in der Erdatmosphäre, also mußten auch kleinere Meteoriten die Mondoberfläche erreichen. Die Substanz auch kleinerer Meteorite, etwa entstehende Metall-Oxide, verschwindet auch auf der Erde aber trotz "Zerstäubung" nicht. Jedoch warum sollten Teile größerer Meteorite nicht auch durch die Atmosphäre hindurchstoßen können, auch, wenn sie nicht abgebremst werden wie Raumschiffe?

Den **Arizona-Krater** besuchte von deutschen Geologen OTTO STUTZER (R. SCHREITER 1937), der Professor für Brennstoffgeologie an der Bergakademie Freiberg/Sachsen war und auf den Zusammenfassungen seiner Lehrtätigkeit, auch ein 5-bändiges Lehrbuch, über die Lagerstätten der Nichtmetalle zurückgehen. Nach STUTZER wurde ein höherer Berg in Kanadisch-Alaska benannt. Am Arizona-Krater konnte er sich, in Erfüllung eines lang gehegten Wunsches, am 29. Februar 1936 aufhalten, sprach darüber am 27. August 1936 auf der Hauptversammlung der Deutschen Geologischen Gesellschaft und starb, erst 55 Jahre alt, am 20. September 1936. Für die Entstehung des Arizona-Kraters durch einen Meteoriteneinfall sprach nach seiner Ansicht (1936), daß etwa 20.000 Kilogramm Eisen gesammelt worden waren, und dieses offenbare Meteoreisen zwischen dem ausgeworfenen Schutt lag, also offenbar gleichzeitig mit diesem ausgeworfen wurde, wenn es denn nur ausgeworfen wurde. Die Schichten der Hochebene, in welche der "Meteor Crater" eingesenkt ist, liegen andererseits flach, sind ungestört. Nur rings um den Krater sind die Schichten aufgerichtet und fallen nach allen Seiten von dem Krater weg. Das offensichtlich herausgeschleuderte Material liegt bis 10 Kilometer von dem Krater entfernt. Es fehlt in den Auswurfmassen vulkanisches Gestein. Bei Bohrungen wurde in einer Tiefe von 270 Meter unter dem Kraterboden ungestörter, nicht in den Auswurfmassen vorhandener permischer Sandstein ("Supai-Sandstein") festgestellt. Die Explosion konnte also nicht aus größerer Tiefe gekommen sein. Wenn ein Meteor eingeschlagen war, dann hatte dieser bis zu einer bestimmten feststellbaren Tiefe gewirkt. Da bei Indianern Sagen über ein Himmelsgeschoß erzählt wurden, waren also offenbar sogar einmal Menschen Zeugen des Meteoriteneinfalls gewesen. Aus anderen Zeugnissen wurde der Einfall auf das jüngste Interglazial verlegt. Jedenfalls sah sich STUTZER in der Meinung von der Entstehung des Arizona-Krates durch einen Meteoriten bestätigt.

Auf Grund seiner Erfahrungen am Arizona-Krater argumentierte der nur noch wenig Wochen lebende STUTZER noch 1936 auch für die Entstehung des Nördlinger Ries durch einen Meteoriteneinfall. Über Schriften mit anderer Auffassung (S. 517) zum Nördlinger Ries meinte er: "Beim Lesen der Veröffentlichungen, die über das Ries in so großer Zahl erschienen sind, fühlt man förmlich, wie unbefriedigt die Autoren waren, als sie ihre Ansichten über die Entstehung der Sprengung niederschrieben." Das Steinheimer Becken, etwa 30 Kilometer vom Nördlinger Ries entfernt, mit einem Durchmesser von 2,5 bis 4 Kilometer, hat schon BRANCA immerhin mit einem Mondkrater verglichen. Für die Meteoriteneinfälle sprächen, daß unter den Auswurfmassen jedes vulkanische Gestein fehlt. Einzelne Blöcke des Auswurfs wurden bis 60 Kilometer weit geschleudert. Die Sprengwirkung muß jede vulkanische Sprengung übertroffen haben. Die als glasige Bomben und als Tuffgrundmasse beschriebenen Materialien können auf andere Weise umgeschmolzenes Grundgebirge sein, und, vor allem, die Sprengtiefe ist wie bei dem Krater in Arizona gering,

KRANZ 1937 brachte noch einmal Einwände vor, auch die vermeintliche Nichtvorstellbarkeit großer Meteoritenwirkung auf der Erde. Das Steinheimer Becken sei im Mittel 18,5-mal größer als die als Meteoritenkrater in Arizona (USA) anerkannte Vertiefung. Also hätte in Schwaben ein nahezu undenkbar großer Meteoriten das Material der Becken herausblasen müssen. Es gäbe über gewaltige Wirkungen vulkanischer Explosionen Beobachtungen, KRANZ verweist auf Sumatra, wo bei manchen vulkanischen Explosionen kein frisches Magmamaterial an die Erdoberfläche kam. KRANZ verwies auf die 130 kleinen Maaren vergleichbaren Schlote auf der Schwäbischen Alb, von BRANCAs als zweifellos vulkanischen Ursprungs nachgewiesen, als "Vulkanembryonen" bezeichnet. Es wäre merkwürdig, daß in einem Gebiet, Schwaben, sowohl Vulkanembryonen wie auch Meteoritenkrater auftreten sollen. Bei Steinheim etwa hätte man auf der einen Seite zwar keine "echt" vulkanischen Gesteine gefunden, aber ebensowenig allem Anschein nach aus dem Weltall gekommene Gesteine.

Noch etwa 1948 wurde die Meteoritentheorie für die Entstehung von Ries und Steinheimer Becken von entscheidenden Geologen verworfen.

Anerkennung von Meteorkratern ab der 1960er-Jahre

Rasch zunehmend ab **1960**, als der USA-Astronom EUGENE MERIE SHOEMAKERS das Nördlinger Ries besuchte und hier den **Suevit** nachwies, als **Impaktgestein**, und es galt das Nördlinger Ries als das mitteleuropäische Musterbeispiel für die Folgen eines Meteoreinfalles. Der Suevit entstand aus dem verdampften Meteoritenmaterial und den aufgewühlten, in die Höhe geworfenen und wie-

der abgesackten Gesteinen im Einachlagsort. **Suevit** wurde benannt nach 'Suevia' = Schwaben, also Schwabenstein. In ihm befinden sich damals gebildeten Mineralien, die auf die Bedingungen beim Meteoriteneinfall zurückzuführen sind, Hohldruckvarianten von Glas, Coesit, Shitshovit, winzige Diamanten im Gestein. Der Suevit wurde außer einiger isolierten höheren Vorkommen aber von Seeablagerungen überdeckt. Kleinere irdische Mineralien werden bei dem Meteoriteneinfall verglast, werden damit **Tektite**, und finden sich weggeschleudert auch hunderte Kilometer entfernt. In Tschechien werden solche verglasten Mineralien, die also irdischer Natur sind, auch Moldavite genannt und werden auf den Meteoriteneinfall zurückgeführt, der zum Ries führte. Im Jahre 2018 (Wikipedia 2018) werden 4 Streufelder genannt, die einem Ursprungskrater zugeordnet werden können, Für den Mondflug ab Apollo 14 vorgesehene Astronauten wurden im Nordlinger Ries geschult, um auf dem Mond auf Suevit zu achten, was auch erfolgreich geschah (SWR 2018), Der Asteroid muß in 2 Teilen niedergegangen sein, ein kleinerer Teil bildete das nicht weit entfernte kleinere **Steinheimer Becken**. Der Name Suevit wurde auch auf Impaktgesteine anderswo angewandt. Den leicht bearbeitbaren und zu einem Spezialmörtel verwendbaren Suevit benutzten schon die Römer und unter den Gebäuden in Nördlingen wurde erbaut die das Stadtbild bestimmende St. Georgskirche mit dem 90 m hohen Turm und das Rathaus. Suevit ist aber nicht verwitterungsfest gegen die Luftverschmutzung. In Nördlingen gibt es zu den Meteoriten nunmehr ein eigenes Museum. SHOEMAKER, kam mit seiner Frau am 18. Juli 1997 69-jährig bei einem Autounfall auf einer Überlandpiste nördlich Alice Springs in Australiens Outback zu Tode.

Der Chemiker UREY (K. P. COHEN et al. 1983) und andere schlossen aus der Häufigkeit der Krater auf dem Monde, daß auf dem Erdtrabanten auch sehr alte Krater erhalten blieben, während sie auf der Erde durch Erosion und Tektonik oft bis zur Unkenntlichkeit oder vollständig wieder verschwanden. Auch müssen auf der Erde Meteorite eine Atmosphäre durchdringen und erleiden dadurch Glühverluste. Dennoch war nicht auszuschließen, daß auch die Erde immer wieder einmal auch von einem größeren Meteoriten getroffen wurde, der irgendwo auf der Erdoberfläche aufprallte. Am Ende des 20. Jahrhunderts gibt es einigermaßen sichere Kriterien, um Einschlagkrater von anders entstandenen Formen zu unterscheiden. Vor allem bieten die Gesteine rings um einen solchen Einschlagkrater Merkmale, die sonst nicht auftreten. Am Ende des 20. Jahrhundert sind auf der gesamten Erde etwa 160 Einschlagstellen aus älterer und jüngerer Zeit dokumentiert (J. C. WYNN et al. 1999). Auf dem Eis der Antarktis blieben wenigstens kleinere Meteoriten liegen und können dort leicht erkannt werden. Ihr Auftreten dort gibt eine Vorstellung von der Häufigkeit von Meteoriteneinfällen, wenn auch die auf dem antarktischen Eis sehr klein sind und diese also das Eis nicht durchschlugen.

In Sibirien in der wilden Taiga an der **Tunguska** hatte es am **30. Juli 1908** eine große Explosion gegeben und waren weithin die Bäume vom Zentrum nach außen abgeknickt (alles nach Video-Berichten auf You Tube 2018). Erst 1927 hat unter LEONID ALEXEJEWITSCH KULIN eine kleine Expedition das Gebiet erreicht. KULIK meldete sich nach dem deutschen Überfall auf die Sowjetunion zu einer Reservetruppe. Er starb 59 Jahre alt an Typhus in einem deutschen Kriegsgefangenenlager auf sowjetischem Boden. Vermutet worden war der Einfall eines Meteoriten. Aber es fand sich kein Einschlagkrater. Auch keine Meteoritenüberreste, Auch nicht, als nach dem Ende des Kalten Krieges auch Forscher aus Bologna und auch Deutschland in dem Gebiet forschen durften. Ein Meteorit kann auch hoch über dem Erdboden explodiert sein. Der Astrophysiker WOLFGANG KUNDT; Bonn, dachte statt des Meteoriten an eine Explosion von aus dem Untergrund aufgestiegenen Gasen. Sich erinnernde Ewenken sprachen von mehreren Explosionen. Die Meteoriten-Hypothese behielt die meisten Anhänger, aber es gibt auch die Ansicht, daß es sich um ein unlösbares Rätsel handelt. Beim Denken an einen Meteoriteneinfall kamen schon nach 1908 die Sorgen um die bisher in einem solchen Ausmaß nicht vermutete Gefahren aus dem All, die im Falle des Treffens einer Großstadt gewaltige Vernichtung treffen könnten.

Der etwa das Nördlinger Ries schaffende Meteoriteneinfall und auch der für den Arizona-Krater zuständige – sie haben wie wohl andere keine nachweisbaren Spuren bei den Lebewesen geschaffen, etwa gar Artenverminderung und Aussterben hervorgerufen, wie das dem vermeintlichen Riesenmeteorit am Ende der Kreidezeit nachgesagt wird. Beim Niedergehen des Meteoriten, der das Nördlinger Ries zuwege brachten, gab es allenfalls in nicht zu entfernter Umgebung tote Großtiere.

Trotz aller lebenswidrigen Bedingungen auf einem Meteoriten auf dem Wege zur Erde wurde sogar diskutiert, ob solche Meteoriten in winzigen Spalten einfachste Lebensformen mit sich führten und so Leben auf die Erdoberfläche trugen. Leben war dann nicht auf der Erde selbst entstanden. Organische Substanzen wurden in Meteoriten auf jeden Fall nachgewiesen.

Irdische Katastrophen und erdweites Aussterben durch Meteoriten?

Aber Meteoriten wurde in den letzten Jahrzehnten des 20. Jh. und bis heute noch mehr zugetraut, als einen begrenzten Krater zu schaffen. Wenigstens ab und zu einmal sollten so **gewaltige Meteorite** niedergegangen sein, an deren Wirkung gemäß LUIS ALVAREZ und dessen die geologischen Verhältnisse aufklärendem

Sohn WALTER ALVAREZ ganze **Tiergruppen** und selbst Einzeller-Gruppen von der Erde **verschwanden**.

Das relativ kurzzeitige Verschwinden der Dinosaurier am Ende der Kreidezeit war schon länger bekannt. Als eine Ursache wurde dann und auch neben der Meteoritentheorie später vor allem lange Zeiten anhaltende Vulkanausbrüche diskutiert, vor allem jene, welche das mächtige Dekkan-Plateau in Vorderindien hervorbrachten. Freigesetztes Kohlendioxid mit folgender Erdwärmung, Schwefel oder im Meerwasser gelöstes Methan aus zersetztem Methanhydrat von Meeresküsten und rascher Sauerstoff-Mangel mochten das Aussterben bewirkende Faktoren gewesen sein. Das sollte auch gelten für das lange bekannte Aussterben am Ende der Permzeit, nachdem er sibirische Trapp entstand.

Neue Formen, die das Aussterben am Ende der Kreidezeit überlebt hatten, vielleicht weil sie wie die ursprünglichen Säugetiere klein waren und viel unterirdisch lebten, konnten sich nun ohne herrschende Reptilien ungehindert entfalten, große Gruppen bilden und auch den Weg zum Menschen bahnen. Mit dem Massenaussterben der einen konnte die Evolution neue Richtungen bei anderen einschlagen, und das sogar zum 'Fortschritt'.

LIUS ALVAREZ (E. M. McMILLAN 1968) war einer der bedeutendsten Atomphysiker und dabei namentlich Partikelforscher der USA und Nobelpreisträger für Physik 1968. 1980 hatte der Physiker LOUIS ALVAREZ in der 'Science' (zit. n. S. ULMER 2003) nach der mit seinem Sohn durchgeführten Untersuchung von Sedimenten in Italien bei der am Hang des Apennin liegenden Stadt Gubbio (Wikipedia 2017) berichtet, daß in der die **Kreide vom Tertiär** trennenden Ton-schicht auffällig viel **Iridium** enthalten war. Als Grund dafür wurde erörtert, daß dies von einem auf der Erde eingeschlagenen größeren Meteoriten stamme. Ein in den 1990-er-Jahren nachgewiesener Krater in der Einbuchtung vor Yukatan sollte der Ort des Meteoriteingeschlags gewesen sein. Der Schwede BIRGER SCHMITZ (National Geographic im Internet) arbeitete 1988/1989 als Postdoktorant mit den ALVAREZ am Lawrence Berkeley Laboratory zusammen und seine Untersuchungen an der Kreide-Tertiär-Grenze an erdweit 50 Lokalitäten habe ihn wegen der Iridium-Anomalien von der Richtigkeit der Asteroid-Theorie überzeugt. Ein Großteil der Dinosaurier starb, die Meteoritentheorie als anerkannt vorausgesetzt, wohl nicht bei oder kurz nach dem Impact des Meteoriten in dessen Nähe, und manche vielleicht erst nach Tausenden von Jahren an den Veränderungen in der Umwelt, in den Lebensräumen. Ab 1990 in Lund in Schweden galt das Interesse von SCHMITZ einem auch für das Ordoviciem, also vor 470 Millionen Jahren, postulierten Meteoriteneinfall. In geschliffenen marinem Kalkstein jener Zeit suchte er die Meteoritenspuren. Und es wurde dann bei jedem der dann ausgemachten 5 großen und etwa 20 kleineren Massensterben (s. S. ULMER 2003) ein Meteoriten-

einfall wenigstens erörtert. Das Massenaussterben am Ende des Perm wird aber auf den großen Vulkanismus in Sibirien zurückgeführt, Aber was löste ihn aus? Ein rein auf Ereignisse in der Erdkruste zurückführbares Geschehen?

Bei einem solchem Prozeß wie einem erdweiten Verschwinden von Organismengruppen und der evolutionären Herausbildung neuer konnte man allerdings auch weiterhin andere **Faktoren als denkbar anführen**, und ein abschließendes Urteil galt bald als doch nicht möglich. Und forderten die einen fast ultimativ die Anerkennung der Meteoriten-Hypothese, haben andere bald Gegenargumente geliefert. Teilweise ältere wieder aufgegriffen. Etwa gewaltige Magmenausbrüche wie sie schon FRECH als Grund für Aussterben angeführt hatte. Auch die populärwissenschaftliche Presse schaltete teilweise wieder vom Kosmos auf irdische Ursachen. Für das Aussterben an der **Perm-Trias-Grenze** wurde auf die gewaltigen Magmamassen Sibiriens verwiesen, Basaltschichten bis 3000 m, auf einer Fläche von der Größe der Europäischen Union, emporgefördert in nur etwa 600.000 Jahren (S. ULMER 2003). Durch sie wurde es zu warm und gab zu viel Kohlendioxid und zu wenig Sauerstoff. Zudem mochten dadurch Gashydrate an Meeresrändern aufgeschmolzen sein und ihr Methan und das Kohlendioxid verursachten einen hohen Treibhauseffekt, wie es auch für den Meteoriteneinfall denkbar schien. Immerhin könnte eine Abnahme des O-18-Gehaltes auf eine Senkung der globalen Durchschnittstemperatur um 6°C verweisen. PETER WARD von der Universität Washington in Seattle untersuchte 126 Schädel von Reptilien und Amphibien von 21 verschiedenen Arten in verschiedenen Lagen der 300 m mächtigen Perm-Trias-Schichten in der Karoo in Südafrika und fand ein allmähliches Aussterben (S. ULMER 2005, S. 47, nach Science 302, 2005). Ein Meteorit hätte plötzliche Aussterben bringen müssen. Das Sterben am **Ende der Kreidezeit** konnte nach allen Zeugnissen selbst bei einem Meteoriteneinfall ebenfalls nicht sofort geschehen sein. Allenfalls waren auf lange Folgewirkungen denkbar. Aber das über Jahrhunderttausende hin? Die Entwicklung der Pflanzenwelt war augenscheinlich nicht unterbrochen, jedenfalls nicht völlig. Es gab zu den Angiospermen gehörende Blütenpflanzen, auch Bäume, und auch schon länger existierende Nadelhölzer, vor und nach der Wende von der Kreidezeit zum Tertiär. Im französischen Massif Central gibt es einen fossilen Waldsee aus dem mittleren Paläozän, etwa 60 - 61 Millionen Jahre alt mit Blättern zahlreicher Baumarten und an den Blättern Fraßspuren von Insekten. In Nordamerika sollen damalige Waldreste jedoch artenärmer sein (D. KLÄRNER 2010, S. N 2), aber in einer Lokalität Castle Rock in Colorado unweit Denver wurde ein auf 64,1 Millionen Jahre zurückdatierbarer, also nahe dem Tertiär-Beginn, im Paläozän gewachsener artenreicher tropischer Regenwald gefunden (K. R. JOHNSON et al. 2002). Da der Wald etwa 1,4 Millionen Jahre nach der postulierten Meteoriten-Katastrophe wuchs, hat sich wenigstens hier, vielleicht auf Grund schützender örtlicher Umstände, die Flora wenigstens nach der immerhin auch gewaltigen Zeitperiode von etwa ein-

einhalb Millionen Jahren wieder gut erholt. Oder was war überhaupt passiert? Welche Zeiträume der Verdunkelung hätten Bäume ertragen bis sie abstarben und auch ihre Samen nicht mehr keimungsfähig waren? Was die Großsaurier betraf, so war deren Arten- und Individuen-Zahl wohl nie sehr groß. Kaum jemals lebten von ihnen gleichzeitig mehr als 50 Arten (F. STRAUCH 2004). Auch engten sich offensichtlich ihre Areale schon länger vor dem endgültigen Verschwinden ein. Auch die Größe des Meteoritenkraters erwies sich als kleiner als vermutet und der Meteorit fiel für das Aussterben zu früh, ist wohl etwa 300.000 Jahre älter als vermutet und eine Kalksteinschicht lagert über dem Einschlaggebiet (A. BOJANOWSKI 2003). Also wieder beruhigter im LYELL-Sinn in eine jedenfalls von der Natur her katastrophenlose Zukunft schauen? Über einer geologischen Dramenvorstellung fiel vorzeitig der Vorhang? Wenn ein Aussterben kam, mochte dann irgendwann verstärkte kosmische Strahlung die Mutationsrate erhöhen?

Meteorite und überhaupt der Kosmos boten auch der Geologie mehr

Meteorite boten andererseits Altersvorstellungen über Körper aus dem Weltall. Auch in Meteoriten fanden sich radioaktive Isotope und deren Zerfallsprodukte. Nach den für irdische Mineralien bekannten Verfahren wurde für die Substanz der Meteoriten ein Alter bis 4, 5 Milliarden Jahren (J. ZÄHRINGER 1960) ermittelt. **Körper des Weltalls** erwiesen sich damit als **älter als die Erde**. Das war auch vorher vermutet worden. Die Erde als nicht das erste Produkt im Sonnensystem, entstanden aus vorhandener kosmischer Materie, deren Geschichte danach beginnt, und vielleicht nicht einmal glutflüssig.

Literatur

Archivalien

Universitätsarchiv **Halle**, Personalakte 16629: JOHANNES WALTHER.

Universitätsarchiv **Jena**, Bestand M, No. 621: ERNST KALKOWSKY; No. 644, JOHANNES WALTHER.

Universitätsarchiv **Leipzig**, so PA 981

Literatur

(Vorname wurden abgekürzt oder in voller Schreibweise ausgeführt jeweils wie in den zitierten Arbeiten. Auch Familiennamen, z. B. russische, wurden der in einer Übersetzung angepaßt).

1873, Lz: Dr. A. E. Reuss †. Verhandlungen der Kaiserlich - Königlichen Geologischen Reichsanstalt Wien, Nr. 16, S. 280 - 282.

1892, A. J. J.-B.: Jukes, Joseph Beete. Dictionary of National Biography, Vol. XXX, S. 224 / 225.

E., V. A., 1939: William Smith (1769 - 1830), the Father of English Geology. Nature, Vol. 144, August, S. 354 / 355.

1871: Wilhelm Ritter von Haidinger. Sitzungsberichte der mathematisch - physikalischen Classe der k. b. Akademie der Wissenschaften zu München. Band I. S. 153 - 156.

1927: Morphologie der Klimazonen. Herausgegeben von FRANZ THORBECKE. - Düsseldorfer Geographische Vorträge und Erörterungen. Dritter Teil. Breslau.

Dr. JOHANN GEORG KRÜNITZ ökonomisch-technologische Encyklopädie, oder allgemeines System der Staats-, Stadt-, Haus- und Landwirthschaft, und der Kunstgeschichte in alphabetischer Ordnung. Früher fortgesetzt ... 178. Theil. Berlin.

Encyclopedia of Geology, 2005, Volume Four. Edited by RICHARD C. SELLEY, L. ROBIN, M. COCUS, JAN PLIMER Amsterdam, Boston, Heidelberg.

A. J. A., 1886: Buchanan, Francis. Dictionary of National Biography, Vol. VII, S. 186.

ABEL, OTHENIO, 1926: Amerikafahrt. Einrückte, Beobachtungen und Studien eines Naturforschers auf einer Reise nach Nordamerika und Westindien. Jena.

ABEL, OTHENIO, 1928 a: Otto Jaekel. Ein Gedenkblatt. Paleobiologica, I, S. 143 - 186.

ABEL, OTHENIO, 1928 b: Die paläobiologischen Sammlungen des paläontologischen und paläobiologischen Institutes der Universität Wien. Palaeobiologica I, S. 270 - 282.

ADAM, KARL DIETRICH, 1972 / 73: Anfänge urgeschichtlichen Forschens in Südwestdeutschland. Quartär, 23. / 24. Band, S. 21 - 36.

AGASSIZ, ELISABETH, CARY, 1886: Louis Agassiz's Leben und Briefwechsel. Berlin.

AGASSIZ, LOUIS, 1833 - 1843: Recherches sur les Poissons Fossiles. Tome I, II, III. Neuchatel.

AGASSIZ, LOUIS, 1841: Untersuchungen über die Gletscher. Solothurn.

AGASSIZ, LOUIS, 1843: Ueber die Aufeinanderfolge und Entwicklung der organisirten Wesen auf der Oberfläche der Erde in den verschiedenen Zeitaltern. Rede bei der Einweihung der Akademie zuz Neufchatel am 18. November 1841. Aus dem Französischen von Dr. N. GRÄGER. Halle.

AGASSIZ, LOUIS, 1844: Monographie des Poissons fossiles du Système Dévonien (Old Red Sandstone). Neuchatel.

AGASSIZ, LOUIS, 1849: On the Differences between Progressive, Embryonic, and Prophetic Types in the Succession of Organized Beings through the whole Range of Geological Time. Proceedings of the American Association for the Advancement of Science. Second Meeting, held at Cambridge, August 1849. S. 432 - 438.

AGASSIZ, LOUIS, 1854: The Primitive Diversity and number of Animals in Geological Times. The American Journal of Science and Arts, Second Series, Vol. XVII, May, S. 309 - 324.

AGASSIZ, LOUIS; A. A. GOULD, M. PERTY, 1855: Naturgeschichte des Thierreichs, mit besonderer Rücksicht auf Gewerke, Künste und praktisches Leben. Stuttgart.

AGRICOLA, GEORGIUS, 1556, deutsch 1557: De re metallica.

AHNERT, FRANK, 1996. Einführung in die Geomorphologie. (UTB) für Wissenschaft. Große Reihe. Stuttgart.

AHRENS, L. H., 1966: The Chemical Bond and the Geochemical Distribution of the Elements. Chemistry in Britain, Volume 2, S- 14 - 19.

AHRENS, WILHELM und KURD VON BÜLOW, 1934: Das Alter des Laacher Bimssteinausbruches. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 84, S. 90 - 99.

ALBERTI, FRIEDRICH von, 1834: Beitrag zu einer Monographie des Bunten Sandsteins, Muschelkalks und Keupers, die Verbindung dieser Gebilde zu einer Formation. Stuttgart und Tübingen.

ALDRICH, MICHELE L., 1972: Hitchcock, Edward. Dictionary of Scientific Biography. Volume VI, S. 437/438, New York.

ALDRICH, MICHELE L., 1973: King, Clarence Rivers. Dictionary of Scientific Biography, Volume VII, S. 370 / 371, New York.

ALDRICH, MICHELE L., 1976: Taylor, Frank Bursley. Dictionary of Scientific Biography, Volume XIII, S. 269 - 271, New York.

AMPFERER, OTTO, 1942: Geologische Formenwelt und Baugeschichte des östlichen Karwendelgebirges. Akademie der Wissenschaften in Wien, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse. Denkschriften, 106. Band, 1. Abhandlung, S. 1 - 95.

AMPFERER, OTTO: Bergtage. Gewalt und Glück der Höhen. München.

AMSTUTZ, G. C., 1975: Pumpelly, Raphael. Dictionary of Scientific Biography, Volume XI, S. 209 - 211.

ANDERSSON, J. G., 1906: Solifluction, a Component of subaërial Denudation. The Journal of Geology, Vol. XIV, S. 91 - 112.

ANDRÉE, K., 1911: Die Diagenese der Sedimente, ihre Beziehungen zur Sedimentbildung und Sedimentpetrographie. Geologische Rundschau, 2. Band, S. 61 - 74, 117 - 130.

ANDRÉE, K., 1930: Karl Ernst Adolf von Hoff als Schriftgelehrter und die Begründung der modernen Geologie. Schriften der Königlichen Deutschen Gesellschaft zu Königsberg Pr. Königsberg Pr.

ANDRÉE, KARL, 1948: Aus der Geschichte der Deutschen Geologischen Gesellschaft. Festvortrag aus Anlaß der Hundertjahrfeier. gehalten in Hannover am 12. Oktober 1948. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 100, S. 1 - 24.

ANDRUSSOW, NIK., 1897: Der Adschi-darja oder Karabugas-Busen. Petersmanns Geographische Mittheilungen, 43. Band, Heft II, S. 25 - 34.

ARGYLL, Duke of, 1873: Ansprache zum Tode Adam Sedgwick. The Quarterly Journal of the Geological Society of London. Volume 29, S. XXX - XXXIX.

ARLDT, TH., 1912: Paläogeographische Fragen. Geologische Rundschau, 3. Band, S. 93 - 111.

ARRHENIUS, SVANTE, 1909: Die physikalischen Grundlagen der Kohlensäuretheorie der Klimaveränderungen. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie. S. 481 - 491.

ARRHENIUS, SVANTE und RICHARD LACHMANN, 1912: Die physikalisch-chemischen Bedingungen bei der Bildung der Salzlagerstätten und ihre Anwendung auf geologische Probleme. Geologische Rundschau, 3. Band, S. 139 - 157.

AXELROD, DANIEL I., 1959: Poleward Migration of Early Angiosperm Flora. Science, Volume 130, No. 3369, S. 203 - 207.

BACH, FRANK; MATTHIAS HENNIGER, RONNY M. LEDER, MANJA LÖSER, ARNOLD MÜLLER, 2009: Geologisch-Paläontologische Sammlung Universität Leipzig. Leipzig.

BACHMANN, GERHARD H.; BODO-CARLO EHLING, RUDOLF EICHNER und MAX SCHWAB (Herausgeber), 2008: Geologie von Sachsen-Anhalt. Stuttgart.

BACKLUND, HELGE G., 1939: Islandprobleme. Geologische Rundschau, 30. Band, S. 624 - 630.

BADASH, LAWRENCE, 1989: The Age-of-the-Earth Debate. Scientific American, August, S. 78 - 83.

BAHNERS, PATRICK, 1997: 6000 Jahre sind wie ein Tag. James Ussher kannte Tag und Stunde der Schöpfung. Frankfurter Allgemeine Zeitung (F. A. Z.), Samstag, 25. Oktober, Nr. 248, Beilage.

BAILEY, E. B., 1962: Charles Lyell. London.

BALDAUF, RICHARD, 1910: Über das Kryolith-Vorkommen in Grönland. Zeitschrift für praktische Geologie, XVIII. (18.) Jahrgang, S. 432 - 446.

BALDRIDGE, W. SCOTT, 1984: The Geological Writings of Goethe. American Scientist, Volume 72, March - April, S. 163 - 168.

BALLENSTEDT, J. G. 1819 (3. Auflage): Die Urwelt oder Beweis von dem Daseyn und Untergange von mehr als einer Vorwelt. Quedlinburg und Leipzig.

BALMER, HEINZ, 1969: Jean de Charpentier, 1786 - 1855. Gesnerus, Jahrgang / Volume 26, S. 213 - 232.

BALMER, HEINZ, 1974: Louis Agassiz, 1807 - 1873. Gesnerus, Jahrgang / Vol. 31, Heft 1 / 2, S. 1 - 18.

BALMER, HEINZ, 1970: Ignaz Venetz. Gesnerus, Jahrgang 27, S. 138 - 168.

BARRETT, PAUL H., 1977, edit.: Collected Papers of DARWIN. University of Chicago Press.

BAUMANN, OSCAR, 1894: Durch Massailand zur Nilquelle. Reisen und Forschungen der Massai-Expedition des deutschen Antisklaverei-Komite in den Jahren 1891 - 1893. Berlin.

BAUMGÄRTEL, HANS, 1970: Alberti, Friedrich August von. Dictionary of Scientific Biography, Vol. I, S. 95 / 96.

BEAUMONT, ELIE DE, 1832: Zweiter geologischer Breif des Hrn. Elie de Beaumont an Hrn. Alexander von Humboldt über das relative Alter der Gebirgszüge. Annalen der Physik und Chemie...POGGENDORFF, 25, 1, S. 1 - 58.

BECK, HANNO, 1961: Thaddaeus Haenke und Alexander von Humboldt. Forschungen und Fortschritte, 35. Jahrgang, März, Heft 3, S. 65 - 71.

BECKE, F., 1910: Die Entstehung der kristallinen Gebirge. Verhandlungen der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte, 81. Versammlung zu Salzburg, 19. - 25. September 1909. Leipzig. S. 164 - 177.

BECKINSALE, ROBERT P., 1974: Dictionary of Scientific Biography, Vol. X, New York. S. 501 - 506.

BECKSMANN, ERNST, 1932: Orogene und morphogene Phasen. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 84, S. 721 - 723.

BECKSMANN, ERNST, 1934: Ewald Wüst †. Schriften des Naturwissenschaftlichen Vereins für Schleswig-Holstein, Band XX, S. 541 - 552.

BEDERKE, E., 1960: Kritische Betrachtung physikalischer Altersbestimmungen. Geologische Rundschau, 49. Band, S. 314 - 319.

BEEGER, HANS-DIETER, 1962: Vulkanismus in Sachsen. Sächsische Heimatblätter, 8. Jahrgang, Heft 9, S. 664 - 670.

BEEGER, HANS-DIETER und WERNER QUELLMALZ, 1965: Geologischer Führer durch die Umgebung von Dresden. Dresden und Leipzig.

BEER, Sir GAVIN DE, 1962: The Volcanoes of Auvergne. Annals of Science, 18, 1.

BEHREND, FRITZ und GEORG BERG, 1927: Chemische Geologie. Stuttgart.

BEHRENS, GEORG HENNING, 1703: Hercynia curiosa oder Curiöser Hartz-Wald ... Nordhausen.

BEMMELEN, J. M. van, 1900: Über das Vorkommen, die Zusammensetzung und die Bildung von Eisenanhäufungen in und unter Mooren. Zeitschrift für anorganische Chemie, XXII (22), S. 313 - 377.

BENTZ, A., 1929: Der heutige Stand des Riesproblems. Vortrag, gehalten in der Sitzung am 10. April 1929. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 81, S. 71 - 75.

BERCKHEMER, FRITZ, 1941: Friedrich von Alberti. Schwäbische Lebensbilder, 2. Band, Stuttgart. S. 1 - 10.

BERENDT, G., 1881 / 1882: Die Sande im norddeutschen Tieflande und die grosse diluviale Abschmelzperiode. Jahrbuch der Königlich Preussischen geologischen Landesanstalt und Bergakademie zu Berlin für das Jahr 1881. S. 482 - 495.

BERENDT, G., 1888: Die südliche baltische Endmoräne in der Gegend von Joachimsthal. Jahrbuch der Königlich Preussischen geologischen Landesanstalt und Bergakademie zu Berlin für das Jahr 1887.

BERENDT, G., 1888 / 1889: Mittheilungen ...über einige Ergebnisse bei den Aufnahmen im Flachland. Jahrbuch der Königlich Preussischen geologischen Landesanstalt und Bergakademie zu Berlin für das Jahr 1888. S. CXVIII - CXXI.

BERENDT, G., 18: Äsarbildungen in Norddeutschland. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, Band XL, 3, S. 483 - 489.

BERG, GEORG, 1922: Probleme der Lagerstättenlehre. Geologische Rundschau, 13, S. 349 - 381.

BERG, GEORG, 1936: Das Leben im Stoffhaushalt der Erde. Leipzig.

BERG, GEORG, 1940: Ist die Entstehung des Lebens aus Anorganischem erklärbar? Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 92, S. 180 - 196.

BERG, GEORG, 1949 / 1951: Ernst Zimmermann †. Geologisches Jahrbuch, 65, S. XXVII - XLII. Hannover 1951. (Also posthum gedruckter Artikel).

BERGER, HANS-DIETER und WERNER QUELLMALZ, 1965: Geologischer Führer durch die Umgebung von Dresden. Dresden und Leipzig.

BERINGER, CARL CHRISTOPH, 1939: Das Werden des erdgeschichtlichen Weltbildes. Stuttgart.

BERINGER, CARL CHRISTOPH, 1954: Geschichte der Geologie und des geologischen Weltbildes. Stuttgart.

BERL, E. und BIEBESHEIMER, 1933: Zur Frage der Entstehung des Erdöls. Annalen ... S. 38 - 71.

BEURLIN, KARL, 1939: Erd - und Lebensgeschichte. Leipzig.

BEYRICH, 1853: Die Conchylien des norddeutschen Tertiärgebirges. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, V. Band, S. 273 ff.

BEYRICH, ERNST, 1853 / 1857: Die Conchylien des norddeutschen Tertiärgebirges. 1. bis 6. Lieferung. Berlin.

BEYSCHLAG, FRANZ und KARL VON FRITSCH, 1899: Das Jüngere Steinkohlengebirge und das Rothliegende in der Provinz Sachsen und den angrenzenden Gebieten. Berlin.

BEYSCHLAG, F., 1907: Allgemeine geologische Einführung. In: EVERDING, H., 1907: Zur Geologie der Deutschen Zechsteinsalze. Leitung: F. BEYSCHLAG. S. 1 - 7. Berlin.

BIREMBAUT, ARTHUR, 1970: Archiac, Étienne-Jules-Adolphe Desmier (or Desmier) de Saint-Simon, Vicomte d'. Dictionary of Scientific Biography, Volume, I, S. 209 – 212, New York..

BIREMBAUT, ARTHUR, 1971: Elie de Beaumont, Jean-Baptiste-Armand-Louis-Leonce. Dictionary of Scientific Biography, Volume IV, S. 347 – 350, New York.

BISCHOF, GUSTAV, 1863, 1864, 1866: Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. Erster Band, Zweite gänzlich umgearbeitete Auflage, Bonn 1863. - Zweiter Band,...1864. - Dritter Band,...1866.

BISWASS, MARGARET und ASIT K., 1974: Perrault, Pierre. Dictionary of Scientific Biography, Vol. X, New York, S. 521 / 522.

BLACKETT, P. M. S., 1961: Comparison of ancient climates with the ancient latitudes. Proceedings of the Royal Society of London, Series A, Volume 263, S. 1 - 30.

BLACKETT, P. M. S., 1965: Introduction zu: A Symposium on Continental Drift. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A, Volume 258, Mathematical and Physical Sciences. S. Vii - X.

BLANCK, E. und A. RIESER, 1926: Über die chemische Veränderung des Granits unter Moorbedeckung. Chemie der Erde, 2. Band, S. 15 - 48.

BLANCKENHORN, M., 1907: Der Haupt-Buntsandstein ist keine echte Wüstenbildung. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, 59. Band, S. 297 - 311.

BLUMENBACH, JOH. FRIEDRICH, 1790: Beyträge zur Naturgeschichte. - Darin: S. 1 ff.: Ueber die Veränderlichkeit in der Schöpfung. Göttingen.

BODLAENDER, G., 1897: Die Fortschritte der chemischen Geologie. Zeitschrift für Anorganische Chemie, 14. Band, S. 309 - 313.

BOEHM, JOHANNES und HENRY SCHROEDER, 1909: Hercyne Gerölle im Senon des Austberges bei Benzingerode. Abhandlungen der Königlich Preussischen Geologischen Landesanstalt, Neue Folge, Heft 56, S. 20 - 31.

BOJANOWSKI, AXEL, 2003: Kein großer Knall. Welt am Sonntag, Nr. 18, 4. Mai, S. 54.

BOJANOWSKI, AXEL, 2005. Ein Knall, der Erdteile verwüstet. Der Ausbruch eines Supervulkans ... Süddeutsche Zeitung, Nr. 56, Mittwoch, 9. März, S. 16.

BOJANOWSKI, AXEL, 2007: Der große Unbekannte. Im Jahr 1258 muss irgendwo auf der Erde ein gewaltiger Vulkan ausgebrochen sein - ... Süddeutsche Zeitung, Nr. 223, Donnerstag, 27. September, S. 24.

BONNEY, T. G., 1871: On the Formation of "Cirques" and their bearing upon Theories attributing the excavation of Alpine Valleys mainly to the Action of Glaciers. The Quarterly Journal of the Geological Society of London. Vol. 27, Part the First. Proceedings of the Geological Society. S. 312 - 324.

BOGAARD, PAUL VAN DEN und HANS-ULRICH SCHMINCKE, 1988: Aschenlagen als quartäre Zeitmarken in Mitteleuropa. Die Geowissenschaften, 6. Jahrgang, Nr. 3, S. 75 - 84.

BORN, A., 1921: Ein Beitrag zur Gebirgsbildung des Varistischen Bogens. Geologische Rundschau, 12. Band, S. 202 - 309.

BORN, IGNATZ, Edl. von, 1774: Briefe über Mineralogische Gegenstände, auf seiner Reise durch das Temeswarer Bannat, Siebenbürgen, Ober - und Nieder - Ungarn, an den Herausgeber derselben, Johann Jacob Ferber. Frankfurt und Leipzig.

BORY DE ST. VINCENT, B. G. M., 1805: Reise nach den vier vornehmsten Inseln der Afrikanischen Meere, gemacht auf Befehl der Regierung in den Jahren neun und zehn der Französischen Republik. Nebst der Geschichte der Fahrt des Capitain Baudin bis Port Louis auf der Insel Moriz. Erster Theil. Leipzig.

BOSA'K, PAVEL/Editor, 1989: Paleokarst a systematic and regional review. Prague.

BOTTJER, DAVID J., 2012: Life in the Early Triassic Ocean, Science, Volume 338, 19 October, S. 336/337.

BOUÉ, A., 1863: Über die mikroskopische Untersuchung der Gebirgsarten mit Hilfe ihrer mechanischen Zerreibung, partiellen Schleifung und Ätzung. Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch - Naturwissenschaftliche Classe, 47, S. 457 - 459.

BRADBURY, J. PLATT; B. LEYDEN, M. SALGADO-LABORIAU, W. M. LEWIS, Jr., C. SCHUBERT, M. W. BINFORD, D. G. FREY, D. R. WHITEHEAD, F. H. WEIBEZAHN, 1981: Late Quaternary Environmental History of Lake Valencia, Venezuela. Science, Volume 214, 18 December, S. 1299 - 1305.

BRANCO, W., 1894, 1895: Schwabens 125 Vulkan-Embryonen und deren tuffgefüllte Ausbruchsröhren; das grösste Maargebiet der Erde. Teil I. Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg, 50. Jahrgang, Stuttgart 1894, S. 505 ff.; Teil II, ebenda, 1895, S. 123 ff.

BRANCO, W., 1896: Einige neuere Hypothesen über die Entstehung der Eiszeit. Naturwissenschaftliche Rundschau, XI, Nr. 38, S. 479 / 480.

BRANCA, W., 1908: Nachtrag zur Embryonenfrage bei Ichthyosaurus. Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften, XVIII, S. 392 - 396.

BRANCA, W., 1909: Widerlegung mehrfacher Einwürfe gegen die von mir vertretene Auffassung in der Spaltenfrage der Vulkane. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie. S. 97 - 113.

BRANCA, W., 1913: Hypothesen über die Herkunft des Lebens. Deutsche Revue, 38, 4, S. 199 - 211.

BRATRANEK, F. TH., 1866: Briefwechsel zwischen Goethe und Kaspar Graf von Sternberg. Wien.

BRAUNS, R., 1912: Ferdinand Zirkel †. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, No. 1, S. 513 - 521.

BRAUNS, R., 1934: Erich Kaiser zum Gedächtnis. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Abteilung A, S. 97 - 112.

BREWSTER, DAVID, 1851: Adress als President der British Association for the Advancement of Science. Report of the Twentieth Meeting of the British Association for the Advancement of Science, held at edinburgh in July and August 1850. London. S. XXXI - XIv.

BREYER, LEOPOLD, 1957: Bilderstreit und Arabersturm in Byzanz. Das 8. Jahrhundert (717 - 813) aus der Weltchronik des Theophanes übersetzt, eingeleitet und erklärt von LEOPOLD BREYER. Byzantinische Geschichtsschreiber ... Band VI. Graz, Wien, Köln.

BRICE, WILLIAM R.; SILVIA F. DE M. FIGUEIROA, 2001: Charles Hartt, Louis Agassiz and the Controversy over Pleistocene Glaciation in Brazil. History of Science, Volume 39, S. 161 - 184.

BRINKMANN, R., 1946: Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 98, S. 1 - 6.

BRINKMANN, ROLAND, 1948: Die Allgemeine Geologie (insbes. die exogene

Dynamik) im letzten Jahrhundert. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 100, S. 25 - 49.

BRINKMANN, R., 1990 14: Abriß der Geologie. Erster Band: Allgemeine Geologie. 14. Auflage, neu bearbeitet von WERNER ZELL. Stuttgart.

BROCKMANN-JEROSCH, MARIE, ARNOLD und HELENE HEIM, 1952: Albert Heim. Basel.

BRONN, HEINRICH GEORG, 1835 - 37: Lethaea Geognostica oder Abbildungen und Beschreibungen der für die Gebirgs - Formationen bezeichnendsten Versteinerungen. Stuttgart.

BRONN, HEINRICH GEORG, 1858: Untersuchungen über die Entwicklungs - Gesetze der organischen Welt während der Bildungs - Zeit unserer Erd - Oberfläche. Eine von der französischen Akademie im Jahre 1857 gekrönte Preisschrift. Stuttgart.

BROOKS, C. E. P., 1926: Climate through the Ages. London.

BROWN, P. E., 1929: The New Soil Science. Science, Vol. LXX, Friday, December 27, No. 1826, S. 619 - 622.

BROWN, ROBERT, 1871: Das Innere von Grönland. Petermann's Geographische Mitteilungen, S. 377 - 389.

BRUCE, DUNCAN W. and DERMOT O' HARE, 1992: Inorganic materials. Chichester.

BRÜCKNER, ED., 1891: Das Klima der Eiszeit. Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Davos den 18., 19. und 20. August 1890. 73. Jahresversammlung. Jahresbericht 1889 / 1890. S. 141 - 156.

BUBNOFF, SERGE von, 1921: Die Grundlagen der Deckentheorie in den Alpen. Stuttgart.

BUBNOFF, S. von, 1935: Wilhelm Deecke †. Zentralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, S. 264 - 272.

BUBNOFF, S. von, 1940: Zwei Welten. (Ist dort wirklich alles anders?). Geologische Rundschau, Band 31, Heft 7 / 8, S. 451 - 456.

BUBNOFF, SERGE von, 1953: Requiem. Geologische Rundschau, Sonderband, 41. Band, S. 1 - 10. - (Geht um H. CLOOS).

BUBNOFF, SERGE von, 1954 (3. Auflage): Grundprobleme der Geologie. Berlin.

BUBNOFF, SERGE von, 1956 (3. rev. Aufl.): Einführung in die Erdgeschichte. Berlin.

BUCH, LEOPOLD von, ab 1867: Gesammelte Schriften. Herausgegeben von J. EWALD, J. ROTH und H. ECK. Berlin.

BUCH, LEOPOLD von, 1818-1819/1877: Ueber die Zusammensetzung der basaltischen Inseln und über Erhebungs-Kratere. Vorgelesen den 28. Mai 1818. -

In: Leopold von Buch's Gesammelte Schriften ... 3. Band, S. 3 - 19.

BUCH, LEOPOLD von, 1822/1877: Ueber Dolomit als Gebirgsart. Gelesen in der Akademie der Wissenschaften am 31. Januar 1822. Abhandlungen der physikalischen Klasse der Wissenschaften aus den Jahren 1822 - 1823. Berlin 1825. p. 83 - 81. - In: Leopold von Buch's Gesammelte Schriften ... 3. Band, S. 55 - 132..

BUCH, LEOPOLD von, 1823/1877. Ueber Dolomit als Gebirgsart. Zweite Abhandlung. Gelesen in der Akademie der Wissenschaften am 6. Februar 1823. Abhandlungen der physikalischen Klasse der Wissenschaften aus den Jahren 1822 - 1823. Berlin 1825. p. 83 - 112. - In: Leopold von Buch's Gesammelte Schriften ... 3. Band, S. 92 - 113.

BUCH, LEOPOLD von 1824/1877: Ueber das Vorkommen des Dolomits in der Nähe der vulcanischen Gebilde der Eifel. Aus einem Briefe an Herrn Nöggerath. - In. Leopold von Buch's Gesammelte Schriften ... 3. Band, S. 133 - 134..

BUCH, VON, 1828 (1831): Einige Bemerkungen über die Alpen in Baiern. Abhandlungen der mathematischen Klasse der Königlischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, S. 73 - 84. Berlin 1831.

BUCH, LEOPOLD von, 1838/1885: Bemerkungen zu N. G. Sefströms Abhandlung: Untersuchung über die auf den Felsen Skandinaviens in bestimmter Richtung vorhandenen Furchen und deren wahrscheinliche Entstehung. Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie 1838, Band 43, p. 567 - 570. - In. Leopold von Buch's Gesammelte Schriften ... 4. Band, S.510 ff..

BUCKLAND, WILLIAM, 1824: Reliquiae diluvianae or, observations on the organic remains contained in caves, fissures, and diluvial gravel, and on other geological phenomena, attesting the action of an universal deluge. Second Edition. London.

BUCKLAND, WILLIAM, 1830: Transactions of the Geological Society of London. Second Series, Vol. III, Part the First. S. 223 - 236. - 1831: Ueber die Entdeckung urweltlicher Excremente. Annalen der Physik und Chemie ... C. POGGENDORFF, 21. Band, ganze Folge 97. Band, S. 336 - 352.

- BÜDEL, J., 1961: Morphogenese des Festlandes in Abhängigkeit von den Klimazonen. Die Naturwissenschaften, 48. Jahrgang, Heft 9, S. 313 - 318.
- BÜLOW, KURD VON, 1927 a: Die deutschen Moore. Jahrbuch der Preußischen Geologischen Landesanstalt zu Berlin,, Band XLVIII, S. 387 - 426. Berlin 1928.
- BÜLOW, KURD VON, 1927 b: Die Rolle der Toteisbildung beim letzten Eisrückzug in Norddeutschland. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 79. Band, S. 273 - 283.
- BÜLOW, KURD VON, 1930: Alluvium. Grundsätzliches und Programmatisches zur Geologie der jüngsten erdgeschichtlichen Epoche. Berlin.
- BÜLOW, KURD VON, 1941: Grundsätzliches zur Gliederung der erdgeschichtlichen Zeitenfolge. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 93, S. 423 - 432.
- BÜLOW, KURD VON, 1942: Die Florengeschichte als Motor der tierischen Entwicklung. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 94, S. 328 - 357.
- BÜLOW, KURD VON, 1952: Abriss der Geologie von Mecklenburg. Berlin.
- BÜLOW, KURD VON, 1953: An-aktualistische Wesenszüge der Gegenwart. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 105, 2. Teil, S. 183 - 206.
- BÜLOW, KURD VON, 1956. Der Mensch leitet einen neuen Abschnitt der Erdgeschichte ein. Leipzig / Jena.
- BURG, JEAN-PIERRE, 2011: Prof. em. Dr. Augusto Gansser (1910 - 2012). Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, Jahrgang 157, Heft 3/4, S. 93 - 95.
- BURKE, JOHN G., 1971: Cordier. Dictionary of Scientific Biography, Volume XVII, Supplement II, S. 492 - 494, New York.
- BURKE, JOHN G., 1971: Dufrénoy, Ours-Pierre-Armand. Dictionary of Scientific Biography, Volume IV, New York, S. 217 / 218.
- BURKE, JOHN G., 1974: Naumann, Karl Friedrich. Dictionary of Scientific Biography, Volume IX, S. 620, New York.
- BURKE, JOHN G., 1975: Quenstedt, Friedrich. Volume XI, S. 235 / 236, New York.
- BURKHARD, FELIX, 1980: Carl Christian Ulrich Deffner und sein Sohn Carl

Ludwig Deffner. Lebensbilder aus Schwaben und Franken, 14. Band, S. 166 – 191.

BURRI, CONRAD, 1953: Prof. Dr. Paul Niggli. Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, 98. Jahrgang, S. 256 - 258.

BUTTNER (BÜTTNER), M. D. S., 1710: Rudera diluvii Testes i. e. Zeichen und Zeugen der Sündfluth / In Ansehung des itzigen Zustandes unserer Erd- und Wasser - Kugel / Insonderheit der darinnen vielfältig auch zeither in Querfurtischen Revier Unterschiedlich angetroffenen / ehemahls verschwenten Thiere und Gewächse / Bey dem Lichte natürlicher Weißheit betrachtet / Und nebst vielen Abbildungen zum Druck gegeben. Leipzig.

C., W., 1964: Washington, Henry Stephens. Dictionary of American Biography, Volume X, S. 527 / 528.

CADISCH, JOOS, 1928: Das Werden der Alpen im Spiegel der Vorlandsedimentation. Vortrag ... Geologische Rundschau, 19. Band, S. 105 - 119.

CARLE', WALTER, 1955: Carl Deffner und die Frühzeit der tektonischen Forschung in Württemberg. Jahreshefte des Geologischen Landesamtes in Baden-Württemberg, Band 1, S. 377 – 393.

CAROZZI, ALBERT V., 1975: Raspe, Rudolf Erich. Dictionary of Scientific Biography, Volume XI, S. 302 – 305, New York.

CANDOLLE: s. DE CANDOLLE.

CHAKHMOURADIAN, ANTON R. and FRANCES WALL, 2012: Rare Earth Elements: Minerals Mines, Magnets (and More). Elements, Volume 8, Number 5t, October, S. 333 . 340.

CHALLINOR, JOHN, 1972 a: Geikie, Archibald. Dictionary of Scientific Biography, Volume V, S. 333 – 138, New York.

CHALLINOR, JOHN, 1972 b: Geikie, James. Dictionary of Scientific Biography, Volume V, S. 338 / 339, New York.

CHALLINOR, JOHN, 1973: Lapworth, Charles. Dictionary of Scientific Biography, Volume VIII, S. 32 – 34, New York.

CHALLINOR, JOHN, 1976: Webster, Thomas. Dictionary of Scientific Biography, Volume XIV, S. 210, New York.

CHAMBERLIN, ROLLIN THOMAS, 1932: Thomas Chrowder Chamberlin. Biographical Memoir, National Academy of Sciences of the United States of America, Volume XV, S. 307 - 407.

CHAMBERLIN; ROLLIN T., 1935: Certain Aspects of Geologic Classifications and Correlations. Science, Vol. 81, Friday, February 22, No. 2095.

CHAMBERLIN, T. C., 1897: A Group of Hypotheses bearing on climatic Changes. The Journal of Geology, Vol. V, S. 653 - 683.

CHAMBERLIN, C. T., 1899 a: Science, Vol. X.

CHAMBERLIN, C. T., 1899 b: An Attempt to frame a working hypothesis of the cause of glacial periods on an atmospheric basis. The Journal of Geology, Volume VII, S. 545 - 584.

CHARPENTIER, JOHANN FRIEDRICH WILHELM, 1778: Mineralogische Geographie der Chursächsischen Lande. Leipzig.

CHARPENTIER, JOHANN FRIEDRICH WILHELM von, 1804: Beytrag zur geognostischen Kenntniss des Riesengebirges schlesischen Antheils. Leipzig.

CHARPENTIER, JOHANN von, 1825: Schreiben des Herrn Johann von Charpentier, Bergwerksdirektor im Canton de Vaud, an Leopold von Buch über die Salz - Lagerstätte von Bex. Annalen der Physik und Chemie (J. C. POGGENDORFF), 3. Band, S. 75 - 80.

CHORLEY, R. J., 1973: Johnson, Willard Drake. Dictionary of Scientific Biography, Volume VII, S. 148 – 150, New York.

CHOULANT, LUDWIG, 1843: Die Vorwelt der organischen Wesen auf der Erde oder von der Erdoberfläche, Petrefactenkunde, den frühern Thier - und Pflanzengeschlechtern, Entstehung der organischen Wesen, von der Schöpfung, der Sündfluth und der Zukunft der Erde. Eine Einleitung zu FRIEDRICH HOLL' s Handbuch der Petrefactenkunde. Neue Ausgabe. Quedlinburg und Leipzig.

CLARK, T. H., 1971: Dawson, John William. Dictionary of Scientific Biography, Volume III, S. 608 / 609, New York.

CLARK, T. H., 1973: Logan, William Edmond. Dictionary of Scientific Biography, Volume VIII, S. 461 / 462, New York.

CLARKE, ANDREW and HANS-OTTO PÖRTNER, 2010: Temperature, metabolic power and the evolution of endothermy. Biological Review 85, S. 703 - 727.

CLARKE, F. W., 1891: The Relative Abundance of the chemical Elements. Bulletin of the United States Geological Survey. No. 78. Washington. S. 34 - 42.

CLAUS, H., 1926: Beiträge zur Geschichte der geologischen Forschung in Thüringen. Beiträge zur Geologie von Thüringen, 2. Heft. Jena.

CLOOS, HANS, 1917: Tektnische Probleme am Nordrand des Harzes. Geologische Rundschau, 7. Band, S. 314 - 329.

CLOOS, HANS, 1936: Einführung in die Geologie. (Ein Lehrbuch der Inneren Dynamik). Berlin.

CL, H., = CLOOS, HANS, 1940: Berge wachsen sehen. Geologische Rundschau, Band 31, S. 113 - 120.

CLOOS, HANS, 1951: Gespräch mit der Erde. Geologische Welt- und Lebensfahrt. München.

CLOOS, HANS, 1959: Gespräch mit der Erde. Frankfurt a. M. und Hamburg.

CLOUD, PRESTON, 1980: The improbable Bureaucracy: The United States Geological Survey, 1879 - 1979. Proceedings of the American Philosophical Society, Vol. 124, No. 3, June, S. 155 - 167.

COHEN, K. P. and S. K. RUNCORN, H. E. SUESS, H. G. THODE, 1983: Harold Clayton Urey. Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society, Volume 29, S. 623 - 653.

COHN, 1860: Ursprung der schlesischen Flora. Flora, No. 16, 28. April, S. 254 / 255. Zusammenfassung.

COLBERT, EDWIN H., 1975: Gregory. Biographical Memoirs, National Academy of Science of the United States of America, Vol. XLVI, S. 90 - 133.

COLEMAN, A. P., 1926: Ice Ages Recent and Ancient. New York.

CONWENTZ, H., 1885: Heinrich Robert Goeppert, sein Leben und Wirken. Gedächtnisrede, gehalten in der allgemeinen Sitzung der Naturforschenden Gesellschaft zu Danzig, am 5. November 1884. Schriften der Naturforschenden Gesellschaft zu Danzig, Neue Folge 6, 2, S. 253 - 272.

CONYBEARE, WILLIAM D., 1824: On the Discovery of an almost perfect Skeleton of the Plesiosaurus. Transactions of the Geological Society of London, Second Series, Volume I.

CONYBEARE, W. D., 1830: Letter from the Rev. W. D. Conybeare ... on Mr. Lyell's "Principles of Geology". The Philosophical Magazine or Annals of Chemistry, Mathematics, Astronomy, Natural History, and General Science. Vol. VIII, S. 215 - 219.

CORDA, AUGUST JOSEPH, 1845: Beiträge zur Flora der Vorwelt. Prag.

CORRENS, CARL W., 1933: Über die Bestandteile der Tone. Vortrag gehalten

auf der Hauptversammlung der Deutschen Geologischen Gesellschaft in Lübeck, am 6. August 1933. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 85, S. 206 - 712.

CORRENS, CARL W., 1938: Die Tone. Geologische Rundschau, 29. Band, S. 201 - 219.

CORRENS, Carl W., 1943: Die Stoffwanderungen in der Erdrinde. Die Naturwissenschaften, Heft 3/4, 15. Januar, S. 35 - 42.

CORRENS, CARL W., 1948: Probleme der Sedimentpetrographie. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 100, S. 158 - 163.

CORRENS, CARL W. (Herausgegeben), Autoren: BARTH, TOM. F.; CARL W. CORRENS, PENTTI ESKOLA, 1960 Die Entstehung der Gesteine. Ein Lehrbuch der Petrogenese. Berlin, Göttingen, Heidelberg.

COTTA, BERNHARD, 1854: Geologische Bilder. Zweite vermehrte und verbesserte Auflage. Leipzig.

COTTA, von, 1862: Die Erzlagerstätten Europas. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, XIV. Band, S. 686 - 688.

CRAWFORD, ELISABETH T., 1996: Arrhenius: from ionic theory to the green-house effect. Uppsala studies in history of science; 23. Canton, MA.

CREDNER, HERM., 1882: Besprechung zu: Die Stegocephalen (Labyrinthodonten) aus dem Rothliegenden des Plauen'schen Grundes bei Dresden. I. Theil. 1) Einleitung. 2) Branchiosaurus gracilis Cred. Zoologischer Anzeiger, V. Jahrgang, S. 290 / 291.

CREDNER, HERMANN, 1871: Das Leben in der todten Natur. Vortrag gehalten am 24. März 1871 im Gewandhaussaale zu Leipzig. Leipzig.

CREDNER, HERMANN, 1872, 1906/10, 1912/11: Elemente der Geologie. Leipzig. - 11., neubearbeitete Auflage 1912, Leipzig.

CREDNER, RUDOLF, 1887: Die Reliktseen. Eine physisch-geographische Monographie. I. Teil: Über die Beweise für den marinen Ursprung der als Reliktseen bezeichneten Binnengewässer. Ergänzungsheft No. 88 zu "Petermanns Mitteilungen", S. 1 - 110, - II. Teil: ... Ergänzungsheft Nr. 89, S. 1 - 51. Gotha.

CREDNER, WILHELM; 1933: Zur Problematik einiger Durchbruchstäler in Kwantung (Süd-China). Geologische Rundschau, Sonderband. Für Salomon-Calvi. S. 154 - 167.

CREDNER, W., 1940: A. G. HÖGBOM als Geograph. Geologische Rundschau, 31. Band, S. 94 -96.

CROSBY, ALFRED W., 1991: Die Früchte des weissen Mannes - ökologischer Imperialismus 900 - 1901. Aus dem Engl. von NIELS KADRITZKE. Frankfurt/Main; New York.

CUTLER, ALAN, 2003: Die Muschel auf dem Berg. Über Nicolaus Steno und die Anfänge der Geologie. Aus dem amerikanischen Englisch von HARALD STADLER, München. - Original: The Seashell on the Montaintop. 2003.

CUVIER, G., dtsh. 1822: Ansichten von der Urwelt. Bonn.

CUVIER, G., 1830: Die Umwälzungen der Erdrinde in naturwissenschaftlicher und geschichtlicher Beziehung. Nach der 5. Original - Ausgabe übersetzt von Dr. J. NÖGGERATH, 1. Band, Bonn.

DACQUE', E., 1940: Zum 75. Todestage Albert Oppel's. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 92, S. 600 - 602.

DAHL, FRIEDRICH, 1921: Grundlagen einer Ökologischen Tiergeographie. Jena.

DAHL, FRIEDRICH, 1923: Grundlagen einer Ökologischen Tiergeographie. Zweiter, spezieller Teil. Jena.

DAHM, RICHARD, 1957: Gümbel, Carl Wilhelm v. Neue Deutsche Biographie, Band 3, S. 259.

DAMES, W., 1873: Beitrag zur Kenntniss der Gattung Dictyonema Hall. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, Band XXV, S. 383 - 387.

DANA, JAMES D., 1901, 3. Auflage: Manual of Geology: Treating of the Principles of the Science with special reference to American Geological History. NewYork, Cincinnati, Chicago.

DANIEL, STEPHEN H. 2004: Toland, John. Oxford Dictionary of National Biography, Volume 54, S. 893 - 898.

DARWIN, CHARLES, 1840: On the Connexion of Certain Volcanic Phenomena in South America; and on thr Formation of Moumtain Chaines and Volcanos, as the Effect of the Same Power by which Continents Are Elevated. Read 7 March 1838. Transactions of the Geological Society of London, 2d ser. pt. 3, 5, S. 601 - 631, - In: P. H. BARRETT 1977, S. 53 - 86.

DARWIN, CHARLES, 1840: On the Formation of Mould. Transactions of the Geological Society of London. Second Series, Vol. V, Part the Third. S. 505 -

DARWIN, CHARLES, edited by PAUL H. BARRETT, 1977: The Collected Papers of Charles Darwin. (With a Foreword by THEODOSIUS DOBZHANSKY). Two Volumes in One. The University of Chicago Press. Chicago and London.

DATHE, E., 1887: über: A. v. Könen: 'Über das Verhalten der Dislocationen im nordwestlichen Deutschland' und 'Über Störungen, welche den Gebirgsbau im nordwestlichen und westlichen Deutschland bedingen'. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie, 1. Band, S. 266 / 267.

DAVIES, GORDON L. HERRIES, 2004: Jukes, (Joseph) Beete. Oxford Dictionary of National Biography, Volume 30, S. 817 / 818.

DAVIS, W. M., 1901: Systematic Geography. Proceedings of the American Philosophical Society, Vol. XL., 235 - 259.

DAVIS, W. M., 1910: Experiments in Geographic Description. The Present Condition of our Association. Science, N.S. Volume XXXI, No. 807, Friday, June 17, S. 921 - 940-

DAVY, HUMPHREY, 1808: The Bakerian Lecture, on some new Phenomena of chemical Changes produced by Electricity, particularly the Decomposition of the fixed Alkalies, and the Exhibition of the new substances which constitute their bases; and on the general Nature of alkaline Bodies. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. For the Year MDCCCVIII. S. 1 - 44.

DAWKINS, RICHARD, 2008 (dtsch. zuerst 2001): Gipfel des Unwahrscheinlichen. Wunder der Evolution. ... Deutsch von SEBASTIAN VOGEL. Reinbek bei Hamburg. - Original: 1996: Climbing Mount Improbable. London.

DEAN, DENNIS R., 1979: The Word 'Geology'. Annals of Science, 36, S. 35 - 43.

DEAN, DENNIS R., 1981: "Through Science to Despair": Geology and the Victorians. Annals of the New York Academy of Science, Volume 360, April 20, S. 111 - 136.

DE CANDOLLE, ALPHONSE, 1834 - 1835: On the History of Fossil Vegetables. The Edinburgh New Philosophical Journal, Vol. XVIII, S. 81 - 102.

DECHEN, von, 1881: über grosse Dislocationen. Verhandlungen des naturhistorischen Vereines der preussischen Rheinlande und Westfalens, 38. Jahrgang, Vierte Folge: 8. Jahrgang, Bonn, S. 9 - 25.

DEECKE, W., 1907: Geologie von Pommern. Berlin.

DEECKE, W., 1916: Über Meerestransgressionen und daran sich anknüpfende Fragen. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 68. Band, S. 360 - 391.

DEECKE, W., 1917: Tektonik und Vulkanismus in Südwest-Deutschland. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, B. Monatsberichte, S. 107 - 219.

DEECKE, W., 1920: Die Herkunft der west- und süddeutschen Sedimente. Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Abteilung A. Mathematisch-physikalische Wissenschaften, 3. Abhandlung.

DEECKE, W., 1923: Mitteleuropäische Meereströmungen der Vorzeit. Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Mathematisch - naturwissenschaftliche Klasse, Abteilung A, 1. Abhandlung.

DEECKE, W., 1926: Das Vikariieren der Organismen in der geologischen Vergangenheit. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, A, 78. Band. 1. Heft, S. 213 - 268.

DEFORD, RONALD K., 1972: Gilbert, Grove Karl. Dictionary of Scientific Biography, Vol. V., New York, S. 395 / 396.

DEHM, RICHARD, 1977: Kaiser, Erich. Neue Deutsche Biographie, 11, S. 35 / 36.

DELAMETHERIE, JEAN CLAUDE, 1797, 1798: Theorie der Erde. Aus dem Französischen übersetzt und mit einigen Anmerkungen vermehrt von D. CHRISTIAN GOTTHOLD ESCHENBACH, Professor der Chemie in Leipzig . Nebst einem Anhang von D. JOHANN REINHOLD FORSTER, Professor in Halle. Erster Theil: Leipzig 1797; Zweyter Theil: Leipzig 1797; Dritter Theil: Leipzig 1798.

DEL-NEGRO, WALTER, 1928: Zur Alpensynthese. Geologische Rundschau, 19. Band, S. 493 ff.

DERHAM, WILLIAM, 1710: Physico-Theologie oder Natur - Leitung zu GOtt, Durch aufmercksame Betrachtung der Erd - Kugel, und der darauf sich befindenden Creaturen, Zum augenscheinlichen Beweiß daß ein GOtt, und derselbige ein Allergütigstes; Allweises, Allmächtigstes Wesen sey. In die deutsche Sprache übersetzt ...von JOH. ALBERTO FABRICIO. Hamburg.

DESMOND, ADRIAN/JAMES MOORE, 1994 (dtsh. zuerst 1992): Darwin. Deutsch von BRIGITTE STEIN. Reinbek bei Hamburg. - Original: 1991 Darwin. London.

DESMOND, R., 1972: Hooker, Joseph Dalton. Dictionary of Scientific Biography, Vol. VI, New York, S. 488 - 492.

DESOR, E., 1872/1873: Die Moränen-Landschaft. Vortrag, gehalten in der allgemeinen Sitzung der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft in Schaffhausen den 20. August 1873. Verhandlungen der Schweizerischen naturforschenden Gesellschaft in Schaffhausen am 18., 19. und 20. August 1873. Jahresbericht 1872-73. Schaffhausen.

DIENEMANN, WILHELM, 1948: Angewandte Geologie im Rahmen der Deutschen Geologischen Gesellschaft. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 100, S. 164 - 180.

DIETZ, ROBERT S., 1961: Continent and Ocean Basin Evolution by Spreading of the Sea Floor. Nature, Vol. 190, No. 4779, June 3, S. 854 - 857.

DOLOMIEU, B, DEODAT, 1798: Ueber die Gebürge der Auvergne, die Lagerstätte der Vulkane, und über die Kohlenblende. Chemische Annalen ... CRELL, 2. Band, S. 91 - 93.

DONATI, VITALIANO, deutsch 1753: Auszug seiner Natur - Geschichte des Adriatischen Meers, den Boden des Meers zu untersuchen, nebst Instrumenten in solcher Tiefe zu fischen, von Classen der Meerpflanzen, der Polyparen, der Thierpflanzen und Pflanzenthier, oder Uebergang der natur vom Pflanzenreiche zum Thierreiche. Nebst LEONHARD SESLERS Anhang einer besondern Bergpflanze, Vitaliana. Aus dem Italiänischen übersetzt und mit nöthigen Kupfern versehen. Halle.

DÖRING, MATHIAS, 1997: Antike Schwerlasttransporte. Steinbrüche am "Ende der Welt" ... Damals, 11, S. 43 / 44.

DORN, MATTHIAS, 1989: Von Alfred Wegeners Verschiebungstheorie zur Theorie der Plattentektonik. Teil I: Alfred Wegeners Verschiebungstheorie der Kontinente. Die Geowissenschaften, 7. Jahrgang, Nr. 2, S. 44 - 49; Teil II: Der Neuansatz durch die Theorie der Plattentektonik. Nr. 3, S. 61 - 70.

DORN, PAUL, 1926: Beiträge zur Geologie des Frankendolomits. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, A. Abhandlungen, 78. Band, 1. Heft. S. 134 - 175.

DORN, PAUL, 1948: Ein Jahrhundert Riesgeologie. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 100, S. 348 - 365.

DREIßIG, KARIN; THOMAS MARTENS (Hg.), 2012: Vorwort und Herausgabe zu: HOFF, KARL ERNST ADOLF: Annalen meines Lebens. Die Tagebücher ...

Weimar.

DRESCHER, R., 1863: Ueber die Kreide - Bildungen der Gegend von Löwenberg. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, XV (15), S. 291 ff.

DREVERMANN, F., 1929: Otto Jaekel †. Palaeontologische Zeitschrift, 11, 3, S. 183 / 184.

DRYGALSKI, ERICH von, 1906: Ferdinand Freiherr von Richthofen. Gedächtnisrede...In: Männer der Wissenschaft, Heft 4. Leipzig.

DRYGALSKI, ERICH von, 1933: Ferdinand von Richthofen und die deutsche Geographie. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, 3 / 4, S. 88 - 97.

DUFF, P, McL. D., 1993: Holmes' Principles of Physical Geology. Fourth Edition. London, Glasgow, NewYork ...

Duke of ARGYLL: s. ARGYLL.

DUNHAM, K. G., 1966: Arthur Holmes. Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society, Volume 12, S. 290 – 310.

DUNKER, WILHELM, 1846: Monographie der Norddeutschen Wealdenbildung. Ein Beitrag zur Geognosie und Naturgeschichte der Vorwelt. Nebst einer Anhandlung über die in dieser Schrift bis jetzt gefundenen Reptilien von HERMANN von MEYER. Braunschweig.

EDMONDS, J. M., 1974: Phillips, John. Dictionary of Scientific Biography, Volume X, S. 583 / 584, New York.

EISSMANN, LOTHAR, 1984: Über Gletscherschliffe, Gletscherbewegung und Inselberg in Sachsen. Mit einer Skizze über Albrecht Pencks frühes Wirken in Sachsen zu seinem 125. Geburtstag. Abhandlungen und Berichte des Naturkundlichen Museums 'Mauritianum' Altenburg, Band 11, Heft 2, S. 114 - 136 + Tafel IX - XXXIII. Altenburg.

ELLIOT, DAVID H.; EDWIN H. COLBERT, WILLIAM BREED, JAMES A. JENSEN, JON S. POWELL, 1970: Triassic Tetrapods from Antarctica: Evidence for Continental Drift. Science, Volume 169, 18 September, S. 1197 - 1201.

EMONS, HANS-HEINZ; HEIDELORE VOIGT, 1990: Anorganische Salze - Natürlicher Schatz unserer Erde. Sitzungsberichte der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig. Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Band 122, Heft 3. Berlin.

ENGELHARDT, WOLF Freiherr VON, 1959: Kreislauf und Entwicklung in der Geschichte der Erdrinde. Vortrag auf der Jahresversammlung der Deutschen Aka-

demie der Naturforscher Leopoldina am 11. Mai 1959 in Halle/Saale. Nova Acta Leopoldina, N.F., Nummer 142, Band 21, S. 85 - 99.

ENGELHARDT, WOLF von, 1975: Theorienwandel in der Geowissenschaft. Freiburger Universitätsblätter, 14. Jahrgang, Heft 49, S. 17 - 30.

ENGELHARDT, WOLF von, 1990: Correns, Carl Wilhelm. Dictionary of Scientific Biography, Volume 17, Supplement II, S. 181/182, New York.

ENGELMANN, GERHARD, 1960: Briefe Albrecht Pencks an Joseph Partsch. Wissenschaftliche Veröffentlichungen des Deutschen Instituts für Länderkunde, Neue Folge 17 / 18.

ENGELMANN, GERHARD, 1977: Keilhack, Konrad. Neue Deutsche Biographie, Band 11, S. 408 / 409.

ENGLER, C., 1888: Zur Bildung des Erdöls. Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft, 21, S. 1816 - 1827.

ENGLER, C., 1900: Zur Geschichte der Bildung des Erdöls. Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft, 33. Jahrgang, Band I, S. 7 - 21.

ERDMANNSDÖRFFER, O. H., 1931: Mineralogie einst und jetzt. Rektoratsrede gehalten bei der Stiftungsfeier der Universität am 21. November 1931. Heidelberger Universitätsreden 15.

ERICSON, DAVID B. and GOESTA WOLLIN, 1968: Pleistocene Climates and Chronology in Deep-Sea Sediments. Science, Volume 162, No. 3859, 13 December, S. 1227 - 1234.

ERMAN, ADOLPH, 1833: Reise um die Erde durch Nord-Asien und die beiden Ozeane in den Jahren 1828, 1829 und 1830. Erste Abtheilung: Historischer Bericht. Erster Band. Reise von Berlin bis zum Eismeere im Jahre 1828. Berlin.

ESAKOV, VASILY A., 1971: Dokuchaev, Vasily Vasilievich. Dictionary of Scientific Biography, Volume IV, S. 143 - 146, New York.

ESKOLA, P., 1936: J. J. Sederholm als Bahnbrecher der präkambrischen Geologie. Geologische Rundschau, 27. Band, S. 293 - 297.

ESKOLA, PENTTI, 1940: Waldemar Christofer Brögger. Die Naturwissenschaften, 28. Jahrgang, Heft 39, 27. September, S. 617 - 619.

ESKOLA, PENTTI, 1943: Naturwissenschaftliche Forschungen in Kola und Ostkarelien. Geologie 15, 19, S. 5 - 18, Literatur S. 25 - 27.

- ESKOLA, P., 1946: Kristalle und Gesteine. Ein Lehrbuch der Kristallkunde und Allgemeinen Mineralogie. Wien.
- ETZOLD, FRANZ, 1914: Zu Hermann Credner's Gedächtnis. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie. S. 37 - 587.
- EVERDING, H., 1907: Zur Geologie der Deutschen Zechsteinsalze. Leitung: E. BEYSCHLAG. Berlin.
- EYLES, V. A., 1954: Nicolaus Steno, Seventeenth-Century Anatomist, Geologist and Ecclesiastic. *Nature*, Vol. 174, July 3, S. 8 - 10.
- EYLES, V. A., 1963: The Evolution of a Chemist. Sir James Hall...*Annals of Science*, Vol. 19, No. 3, S. 153 - 183. *Dictionary of Scientific Biography*, Volume IV, S. 9 - 11, New York.
- EYLES, V. A., 1971: De la Beche, Henry Thomas.
- EYLES, V. A., 1972 a: Greenough, George Bellas. *Dictionary of Scientific Biography*, Volume V, S. 518 / 519, New York.
- EYLES, V. A., 1972 b: Hall, Sir James. *Dictionary of Scientific Biography*, Volume VI, S. 54 - 56, New York.
- EYLES, JOAN M., 1973 a: Jameson, Robert. *Dictionary of Scientific Biography*, Volume VII, S. 69 - 71, New York.
- EYLES, V. A., 1973 c: Joly, John. *Dictionary of Scientific Biography*, Volume VII, S. 160 / 161, New York.
- EYLES, JOAN M., 1973 b: Jukes, Joseph Beete. *Dictionary of Scientific Biography*, Volume VII, S. 185 / 186, New York.
- EYLES, V. A., 19: Woodward, John. *Dictionary of Scientific Biography*, Volume XIV, S. 500 - 503, New York.
- F., A., 1923: Sir Norman Lockyer, K. C. B., 1836 - 1920. *Proceeding of the Royal Society of London. Series A. Vol. CIV. S. i - Xiv.*
- FAIRCHILD, HERMAN L., 1938: Selenology and Cosmogeology. Cosmic and Geological Import of the Lunar Features. *Science*, Vol. 88, No. 2294, Friday, December 16, S. 555 - 562.
- FALKOWSKI, PAUL G., 2003: Der unsichtbare Wald im Meer. Das Phytoplankton entzieht der Atmosphäre großen Mengen Kohlendioxid. ... *Spektrum der Wissenschaft*, Juni, S. 56 - 62.

FALLER, ADOLF, 1957: Niels Stensen. Anatomicus regius - Episcopus titiopolitanus (1638 - 1686). Gesnerus, Jahrgang / Volume 14, S. 40 - 50.

FALLER, ADOLF, 1978: Nicolaus Stenonis, Anatom, Geologie und Bischof. Das Abenteuer eines reich bewegten Lebens. Abschiedsvorlesung...Freiburger Universitätsreden, Neue Folge, Nr. 32.

FELIX, J. und H. LENK, 1902: Zur Frage der Abhängigkeit der Vulkane von Dislocationen. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie, S. 449 - 460.

FELS, EDWIN, mit R. LÜTGENS und E. OTREMABA, 1954: Der wirtschaftende Mensch als Gestalter der Erde. Stuttgart.

FELS, EDWIN, 1965: Nochmals: Anthropogene Geomorphologie. Petermanns Geographische Mitteilungen, 109. Jahrgang, 1. Heft.

FENTON, CARROLL LANE and MILDRED ADAMS FENTON, 1952: Giants of Geology. New York.

FERBER, JOHANN JAKOB, 1773: Briefe aus Wälschland über natürliche Merkwürdigkeiten dieses Landes an den Herausgeber derselben Ignatz Edlen von Born ... Prag.

FERBER, JOHANN JAKOB, 1774: Beyträge zur Mineral-Geschichte von Böhmen. Berlin.

FILCHNER, WILHELM, 1938: Bismillah! Vom Huang-ho zum Indus. Leipzig.

FIRBAS, FRANZ, 1949, 1952: Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen. Erster Band: Allgemeine Waldgeschichte. 1949, Jena. - Zweiter Band; Waldgeschichte der einzelnen Landschaften, 1952, Jena.

FISCHER, WALTHER, 1933: Zur Würdigung Abraham Gottlob Werners. Eine Darstellung der Beziehungen Werners zu Dresdner Gelehrten der Goethezeit. Abhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Görlitz, 32. Band, 1. Heft, S. 21 - 39.

FISCHER, WALTHER, 1953: Becke, Friedrich Johann Karl. Neue Deutsche Biographie, 1, S. 708 / 709.

FISCHER, WALTHER, 1955: Brauns, Reinhard Anton. Neue Deutsche Biographie, 2. Band, S. 562.

FISCHER, WALTHER, 1957; Cohen, Emil Wilhelm. Neue Deutsche Biographie, 3. Band, S. 310 (on-line).

FISCHER, WALTHER, 1969: Hausmann, Johann Friedrich Ludwig. Neue Deutsche Biographie, 8. Band, S. 124 / 125.

FISHER, DONALD W., 1972: Hall, James jr. Dictionary of Scientific Biography, Volume VI, S. 56 - 58, New York.

FITTING, HANS, 1907: Sporen im Buntsandstein - die Makrosporen von *Pleuro-meia*? Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, Band XXV (25), S. 434 - 442.

FITZ-ROY, ROBERT, 1839, neu 1966: Proceedings of the Second Expedition, 1831 - 1886. Volume II von Narrative of the Surveying Voyages of His Majesty's Ships Adventure and Beagle, between the years 1826 and 1836, describing their Examination of the Southern Shores of South America und the Beagles Circumnavigation of the Globe. London 1839. New York 1966.

FLEGEL, 1927: Bericht über einen Vortrag: Geschichtlicher Überblick über die geologische Erforschung des Harzes. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, B. S. 169 - 175.

FLÜGEL, HELMUT W., 2004: Die virtuelle Welt des Otto Ampferer und die Realität seiner Zeit. Geo.Alp, Vol. 1, S. 1 - 9.

FOCHLER-HAUKE, GUSTAV, 1958: Fritz Machatschek. Petermanns Geographische Mitteilungen, 102, S. 1 - 5.

FOOTE, YOLANDA, 2004: Wright, Thomas. Oxford Dictionary of National Biography, Volume 60, S. 496/497.

FORSTER, GEORG, orig. 1791, in 1958: Ansichten vom Niederrhein von Brabant, Flandern, Holland, England und Frankreich, im April, Mai und Junius 1790. - In: FORSTER, GEORG, 1958: Werke in vier Bänden. Herausgegeben von GERHARD STEINER. Zweiter Band. S. 367 - 906. Leipzig.

FRAAS, E., 1899: Die Bildung der germanischen Trias, eine petrogenetische Studie. Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg, 55. Jahrgang, S. 36 - 100.

FRAAS, E., 1914: Erwiderung auf W. KRANZ, "Das Problem des Steinheimer Beckens". Jahres-Berichte und Mitteilungen des Oberrheinischen geologischen Vereines, Neue Folge, Band 4, Heft 2, S. 113 - 115.

FRAAS, OSCAR, 1867: Aus dem Orient. Geologische Beobachtungen am Nil, auf der Sinai-Halbinsel und in Syrien. Stuttgart.

FRAAS, OSCAR, 1878: Nekrolog des Carl Deffner. Jahreshefte des Vereins für

vaterländische Naturkunde in Württemberg, 34. Jahrgang, S. 61 – 75.

FRANCHINI, JOSEPH, 1931: Antonio Vallisneri. Annals of Medical History, New Series, Vol. III, No. 1, whole No. 53, January, S. 58 - 68.

FRECH, FRITZ, 1899: Über die Gebirgsbildung im paläozoischen Zeitalter. Geographische Zeitschrift, S. 563 - 579.

FRECH, FRITZ, 1902 a: Studien über das Klima der geologischen Vergangenheit. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, S. 611 - 629, S. 671 - 693.

FRECH, FRITZ, 1902 b: Über den Bau der schlesischen Gebirge. Geographische Zeitschrift, 8. Jahrgang, S. 553 - 570.

FRECH, FRITZ, 1905: Die wichtigsten Ergebnisse der Erdgeschichte. Geographische Zeitschrift, 11. Jahrgang, S. 65 - 85, 134 - 145, 218 - 227.

FRECH, FRITZ, 1906: Über die Gründe des Aussterbens der vorzeitlichen Tierwelt. Archiv für Rassen - und Gesellschafts - Biologie, 3, 4, S. 469 - 498.

FRECH, FRITZ, 1908: Neuere Literatur über geologische Einflüsse auf Entwicklung und Untergang tierischer Arten. Archiv für Rassen - und Gesellschaftsbiologie, 5, 5 / 6, S. 612 - 620.

FRECH, FRITZ, 1909: Geologische Triebkräfte und die Entwicklung des Lebens. Archiv für Rassen - und Gesellschaftsbiologie, 6, 1, S. 1 - 27.

FRECH, FRITZ, 1917: Neue Forschungen über die Brüche und Gräben Ostafrikas. Dr. A. Petermanns Mitteilungen als Justus Perthes' Geographischer Anstalt, 63. Jahrgang, S. 277 - 281.

FREYBERG, B. VON, 1920: Der Wipperdurchbruch bei Seega. Mitteilungen des sächsisch-thüringischen Vereins für Erdkunde 1915 - 1920.

FREYBERG, BRUNO VON, 1932: Die geologische Erforschung Thüringens in älterer Zeit. Berlin.

FREYBERG, BRUNO VON, 1935: Zur Paläogeographie des Jungpaläozoikums in Deutschland. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 87, S. 193 - 209.

FREYBERG, BRUNO VON, 1937: Abdeckung oder Einebnung. Zur Diskussion über die Entstehung der ostthüringischen Schiefergebirgs-Rumpffläche. Petermanns Geographische Mitteilungen, 83. Jahrgang, Heft 6, S. 162 - 166.

FREYBERG, BRUNO VON , 1973: Lehmann, Johann Gottlieb. Dictionary of Scientific Biography, Volume VIII, S. 146 – 148, New York.

FREYBERG, BRUNO VON, 1975: Schlotheim, Ernst Friedrich, Baron von. Dictionary of Scientific Biography, Vol. XII, New York, S. 182 / 183.

FREYBERG, BRUNO VON, 1977 (laut Amazon).: Im Banne der Erdgeschichte.

FRITSCH, KARL VON, 1859: Geognostische Skizze der Umgegend von Ilmenau am Thüringer Walde. Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft, Band XII, S. 97 ff.

FRITSCH, KARL VON, 1888: Allgemeine Geologie. Bibliothek geographischer Handbücher. Stuttgart.

FRITSCH, KARL VON, 1899: s. a. BEYSCHLAG, F.

FRITS, HERMAN R., 1958: Davis, William Morris. Dictionary of American Biography, Volume XI, Supplement Two, S. 229 - 231.

FÜCHTBAUER, HANS (herausgegeben), 1988, 4., gänzlich neubearbeitete Auflage: Sedimente und Sedimentgesteine. Sediment-Petrologie Teil II. Stuttgart.

FULDA, ERNST, 1924: Studie über die Entstehung der Kalilagerstätten des deutschen Zechsteins. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, B, S. 7 - 30.

FULDA, ERNST, 1927: Salztektunik. (Vortrag, gehalten in der Sitzung am 3. November 1926). Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 79, S. 178 - 196.

FULDA, E., 1928 b: Bericht über: Zum Problem des Kupferschiefers. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 80. Band, S. 343.

GAGEL, C., 1913: Die Beweise für eine mehrfache Vereisung Norddeutschlands in diluvialer Zeit. Geologische Rundschau, 4. Band, S. 321 ff.

GALE, NOËL H. and ZOFIA STOS-GALE, 1981: Lead and Silver in the Ancient Aegean. Scientific American, Volume 244, No. 6, June, S. 142 - 152.

GALLWITZ, H., 1937: Fließerde und Frostspalten als Zeitmarken im Löß bei Dresden. Geologische Rundschau, 28. Band, S. 612 - 623.

GALLWITZ, H., 1940: Erdgeschichtliche Entwicklung einer Störungszone und heutige Krustenbewegung. Vortrags-Zusammenfassung. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 92, S. 607.

GALLWITZ, HANS, 1949: Johannes Weigelt zum Gedächtnis. Forschungen und Fortschritte, 25, 5 / 6, S. 71.

GALLWITZ, H., 1952: H. Stille's Beitrag zur Entwicklung der Tektonik. Halle'sches Jahrbuch für Mitteldeutsche Erdgeschichte, 1. Band, Lieferung 4, Halle.

GARUTT, W. E., 1964: Das Mammut *Mammuthus primigenius* (Blumenbach).. Die Neue Brehm-Bücherei. Wittenberg.

GEER, GERARD DE, 1912: Geochronologie der letzten 12 000 Jahre. Geologische Rundschau, 3. Band, S. 457 - 471.

GEIKIE, ARCHIBALD, 1892: The Anniversary Address of the President. The Quarterly Journal of the Geological Society of London, Volume the Forty -Eight/48, S. 38 ff.

GEIKIE, ARCHIBALD, 1892: VI. Old Red Sandstone. - In: Anniversary Address of the President. The Quarterly Journal of the Geological Society of London, Volume 48, S. 62 ff.

GEIKIE, ARCHIBALD, 1924: A long life's work. An Autobiography. London.

GEIKIE, ARCHIBALD, 1937: Streiflichter. Was lehrt die Geschichte der Geologie? Übersetzt von ERICH HAARMANN. Geologische Rundschau, 28. Band, S. 626 - 629.

GEINITZ, F. EUGEN, 1900 a: Hanns Bruno Geinitz. Ein Lebensbild aus dem 19. Jahrhundert. Leopoldina, Heft XXXVI, Nr. 4, April, S. 59 - 70; Heft XXXVI, Nr. 5, Mai, S. 85 - 89; Heft XXXVI, Nr. 6, Juni, S. 98 - 104.

GEINITZ, F. EUGEN, 1900 b: † Hanns Bruno Geinitz. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie, S. 6 - 21.

GEINITZ, EUGEN, 1922: Geologie Mecklenburgs mit geologischer Übersichtskarte von Mecklenburg. I. Theil: Diluvium und Alluvium (Quartär). II. Theil: Das Ältere Gebirge. Rostock.

GEINITZ, HANNS BRUNO, 1843: Die Versteinerungen von Kieslingswalda und Nachtrag zur Charakteristik des sächsisch-böhmischen Kreidegebirges. Dresden und Leipzig.

GEINITZ, HANNS BRUNO, 1846: Grundriss der Versteinerungskunde. Dresden und Leipzig.

GEINITZ, HANNS BRUNO, 1849 - 1850: Das Quadersandsteingebirge oder Kreidegebirge in Deutschland. Freiberg.

GEINITZ, HANNS BRUNO, 1861 a: Dyas oder die Zechsteinformation und das Rothliegende. Leipzig.

- GEINITZ, H. B., 1861: Die Dyas, oder die Zechsteinformation und das Rothliegende. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, XIII, S. 683 - 694.
- GEINITZ, H. B., 1899: Othniel Charles Marsh. ... Zur Erinnerung von ... Leopoldina, Heft XXXV, S. 122 - 124.
- GEORGE, W. H., 2004: Taylor, Alfred. Oxford Dictionary of National Biography, Volume 55, S. 772/773,
- GERTH, H., 1952: Das Klima des Permzeitalters. Geologische Rundschau, 40. Band, S. 84 - 89.
- GILBERT, G. K., 1896 a: Laccolites in Southeastern Colorado. The Journal of Geology, Volume IV, S. 816 - 825.
- GILBERT, G. K., 1896 b: The Origin of Hypotheses, illustrated by the Discussion of a topographic Problem. Science, N. S. III, No. 53, January 3, S. 1 - 13.
- GIRTANNER, CHRISTOPH, 1795: Anfangsgründe der antiphlogistischen Chemie. Zweite, verbesserte und stark vermehrte Auflage. Berlin.
- GLÄSEL, RUDOLF, 1955: Die geologische Entwicklung Nordwestsachsens. Berlin.
- GLAESSNER, MARTIN F., 1961: Pre - Cambrian Animals. Scientific American, Volume 204, No. 3, March, S. 72 - 78.
- GLINKA, 1914: Die Typen der Bodenbildung, ihre Klassifikation und geographische Verbreitung. Berlin.
- GLOCKER, E. F., 1854: Über die nordischen Geschiebe der Oderebene um Breslau. Verhandlungen der Kaiserlichen Leopoldinisch - Carolinischen Akademie der Naturforscher, 16. Band, 1. Abtheilung. S. 411 ff.
- GOLDSCHMIDT, RICHARD B., 1959: Erlebnisse und Begegnungen. Aus der großen Zeit der Zoologie in Deutschland. Hamburg und Berlin.
- GÖPPERT, H. R., 1836: Ueber den Zustand, in welchem sich die fossilen Pflanzen befinden und über den Versteinerungsprocess insbesondere. Annalen der Physik und Chemie, herausgegeben von POGGENDORFF, 38, 8, S. 561 - 573.
- GÖPPERT, H. R., 1837: Ueber die Bildung der Versteinerungen auf nassem Wege. Annalen...POGGENDORFF, 42, S. 593 - 607.
- GÖPPERT, H. R., 1841: Ueber die Bildung der Versteinerungen. Annalen...POGGENDORFF, 54, S. 570 - 579.

GÖPPERT, H. R., 1851: Ueber die Flora des Uebergangsgebirges. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, III, 2, S. 185 - 207.

GÖPPERT, H. R., 1853: Über die Bernsteinflora. Bericht über die zur Bekanntmachung geeigneten Verhandlungen der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. S. 450 - 476.

GÖPPERT, HEINRICH ROBERT, 1864 - 1865: Die fossile Flora der Permischen Formation. Palaeontographica, 12. Band, Cassel.

GOEPPERT, H. R. und A. MENGE, 1883: Die Flora des Bernsteins und ihre Beziehungen zur Flora der Tertiärformation und der Gegenwart. Danzig.

GÖRGEY, R., 1911: Die Entwicklung der Lehre von den Salzlagerstätten. Geologische Rundschau, 2, S. 279 - 302.

GORJANOVIC'-KRAMBERGER, KARL, 1906: Der diluviale Mensch von Krapina in Kroatien. Ein Beitrag zur Paläoanthropologie. Wiesbaden.

GOTHAN, W., 1915: H. Potonié †. Jahrbuch der Kgl. Preussischen Geologischen Landesanstalt zu Berlin für das Jahr 1913, Band XXXIV, Teil II, S. 535 - 559.

GOTHAN, W., 1948: Die Paläobotanik in Deutschland in den letzten 100 Jahren. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 100, S. 94 - 105.

GOTHAN, WALTHER; HERMANN WEYLAND, 1954: Lehrbuch der Paläobotanik. Berlin.

GOETHE, JOHANN WOLFGANG VON, s. 1949: Einige geologische Beobachtungen und Bemerkungen. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 101, S. 1 - 8.

GÖTZEN, G. A. Graf von, 1899/2: Durch Afrika von Ost nach West. Resultate und Begegnungen einer Reise von der Deutsch - Ostafrikanischen Küste bis zur Kongomündung in den Jahren 1893 / 94. 2. Auflage. Berlin.

GOULD, STEPHEN JAY, 1970: Rezension von LEONARD G. WILSON 1970: Sir Charles Lyell's Scientific Journals on the Species Question. Yale University Press, New Haven, Conn. - Science, Volume 168, 14 August, S. 663/664.

GRAHMANN, RUDOLF, 1925: Diluvium und Ploizän in Nordwestsachsen. Abhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Physische Klasse, 33. Band, No IV, S. 1 - 82.

GRAHMANN, RUDOLF, 1935: Bemerkungen über das Auftreten von Basalt- und Phonolithgeröllen in Norddeutschland. Zeitschrift für Geschiebeforschung, Band 11, Heft 4, S. 163 - 166. Sonderdruck.

GREENOUGH, G. B., 1821: Kritische Untersuchung der ersten Grundsätze der Geologie. Aus dem Englischen. Weimar.

GREGOR, BRYAN, 1990: Nieuwenkamp, Willem. Dictionary of Scientific Biography, Volume 18, Supplement II, S. 675 - 682, New York.

GREGORY, J. W., 1931: A Century of Geology. Nature, Volume 128, No. 3238, S. 857 - 860.

GRIPP, KARL, 1924: Über die äußerste Grenze der letzten Vereisung in Nordwest - Deutschland. Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft in Hanburg, Band XXXVI (36), S. 160 - 245.

GRIPP, K., 1925: Über eine morphologische Grenze im nordwestdeutschen Flachland und deren Bedeutung. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, B (Monatsberichte), Nr. 1 / 2, S. 128 - 130.

GROH, RUTH und DIETER GROH, 1998: Zum Wandel der Denkmuster im geologischen Diskurs des 18. Jahrhunderts. Zeitschrift für historische Forschung, Band 25, Heft 1, S. 575 - 694.

GROß, MICHAEL, 2013: Weder Tier noch Pflanze, aber klimarelevant Kieselalgen. Chemie in unserer Zeit, 47, S. 368 - 374.

GROUT, ANDREW, 2004: Medlicott, Henry Benedict. Oxford Dictionary of National Biography, Volume 37, S. 694 / 695.

GRUBENMANN, ULRICH, 1886: Die Basalte des Hegau's. Eine petrographische Studie. Inauguraldissertation ... Universität Zürich. Frauenfeld.

GRUBENMANN, U. und P. NIGGLI, 1924: Die Gesteinsmetamorphose. Dritte, völlig umgearbeitete Auflage von Die kristallinen Schiefer. Eine Darstellung der Erscheinungen der Gesteinsmetamorphose und ihrer Produkte von U. GRUBENMANN (gest.). I. Allgemeiner Teil. Belrin.

GUGITZ, GUSTAV; MARTIN KIRCHMAYER, 1964: Giesecke, Karl Ludwig. Neue Deutsche Biographie, 6, S. 383 - 384.

GUERICKE, OTTO von, Original 1672, neu 1968: Neue (sogenannte) Magdeburger Versuche über den leeren Raum. Übersetzt und herausgegeben von HANS SCHIMANK, unter Mitarbeit von HANS GOSSEN †, GREGOR MAURACH und FRITZ KRAFFT. Im Auftrag der Georg - Agricola - Gesellschaft zur Förderung der Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik. Düsseldorf.

GÜMBEL, C. W., 1877: Die geognostische Durchforschung Bayerns. Rede für die öffentliche Sitzung der k. Akademie der Wissenschaften am 28. März 1877 zur Feier

ihres einhundert und achtzehnten Stiftungstages ... München.

GÜMBEL, 1877: Ferber, Johann Jakob. Allgemeine Deutsche Biographie, 6, S. 629 / 630.

GÜMBEL, 1877: Fuchs, Joh. Nep. v., 6, , Allgemeine Deutsche Biographie, S. 165 - 167.

GÜMBEL, 1880: Heim, Johann Friedrich. Allgemeine Deutsche Biographie, Band 11, S. 325 / 326.

GÜMBEL, 1883: Lill von Lilienbach. Allgemeine Deutsche Biographie, Band 18, S. 651.

GÜMBEL, v., 1885: Morlot, Ch. Adolph v. Allgemeine Deutsche Biographie, 22.

GÜMBEL; v., , 1887: Oppel, Albert. Allgemeine Deutsche Biographie, 24, S. 388 - 390.

GÜMBEL, v., 1890 a: Sartorius, Wolfgang Freiherr S. v. Waltershausen. Allgemeine Deutsche Biographie, 30, S. 394 / 395.

GÜMBEL, v., 1890 b: Schlotheim, Ernst Friedrich Freiherr von. Allgemeine Deutsche Biographie, 31, S. 550 / 551.

GUTBIER, A. VON, 1858: Geognostische Skizzen aus der Sächsischen Schweiz und ihrer Umgebung. Leipzig.

GÜMBEL, v., 1891: Seebach, Karl Albert Ludwig v., wie vor., 33, S. 557 - 559.

H., J., (HOLMES ?), 1926: Sir Archibald Geikie - 1835 - 1924. Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Vol. CXL, S. XXII - XXXIX.

HAACKE, WILHELM, 1893: Die Schöpfung der Tierwelt. Leipzig und Wien.

HAARMANN, E., 1942: Der "Schichten-Schmidt". Geologische Rundschau, 33, S. 2 / 3.

HAARMANN, GUSTAV, 1873: Mikroskopische Untersuchung über die Structur und Zusammensetzung der Melaphyre. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, Band XXV, S. 436 - 459.

HAAST, J., 1863: Bericht über: J. Haast's Forschungen in den Alpen Neu - Seelands. Petermann's Geographische Mittheilungen, S. 214 - 217.

HABERLANDT, G., 1933: Erinnerungen. Berlin.

HAECKEL, ERNST, 1899 / 1929: Die Welträtsel. Leipzig.

HAEFKE, FRITZ, 1959: Physische Geographie Deutschlands. Eine Einführung mit Betonung der Geomorphologie. Berlin.

HAGEN, B., 1883: Eine Reise nach dem Tobah-See in Zentralsumatra. Petermann's Geographische Mittheilungen, S. 41 ff., S. 102 ff., S. 142 ff., S. 167 ff.

HALL, H. TRACY, 1958: Ultrahigh-Pressure Research. Science, Volume 128, Number 3322, 29 August, S. 445 - 449.

HALL, Sir JAMES, 1805: Experiments on Whinstone and Lava. Transactions of the Royal Society of Edinburgh , 5, S. 43 ff.

HALL, Sir JAMES, 1812: Account of a Series of Experiments, shewing the Effects of Compression in modifying the Action of Heat. Transactions of the Royal Society of Edinburgh, VI, S. 71 - 185.

HALL, Sir JAMES, 1815 a: On the Vertical Position and Convolutions of certain Strata and their relation with Granite. Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Vol. VII, S. 79 - 108.

HALL, Sir JAMES, 1815 b: On the Revolutions of the Earth's Surface. Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Vol. VII, Part I, S. 139 - 167; Part II, S. 205 - 210.

HALL, Sir JAMES, 1826: On the Consolidation of the Strata of the Earth. Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Vol. X, S. 314 - 329.

HALL, JAMES, 1857 / 1883: Contributions to the Geological History of the American Continent. (The Address of the retiring President, delivered before the Montreal Meeting of the American Association for the Advancement of Science, 1857). Proceedings of the The American Association for the Advancement of Science, Thirty-First Meeting, held at Montreal, Canada, August 1882.

(HALLER), 1775 / 1776: Briefe über einige Einwürfe nochlebender Freygeister wieder die Offenbarung. I, II. Theil. Bern.

HALLEY, EDMOND, 1724: Some Considerations about the Cause of the universal Deluge laid before the Royal Society, on the 12th of December 1694. Philosophical Transactions, Nr. 383.

HAMANN, GÜNTHER, 1983: Eduard Suess ein altliberaler Repräsentant der Akademie.- In: HAMANN, GÜNTHER (Herausgeber), 1983: Eduard Suess zum Gedenken (20. VIII. 1831 - 26. IV. 1914). Österreichische Akademie der Wissenschaften, Philosophisch-Historische Klasse, Sitzungsberichte, 422. Band, S. 1 - 14. Wien.

HAMANN, BRIGITTE: Eduard Suess als liberaler Politiker. - In: HAMANN, GÜNTHER (Herausgeber), 1983: Eduard Suess zum Gedenken (20. VIII. 1831 - 26. IV. 1914). Österreichische Akademie der Wissenschaften, Philosophisch-Historische Klasse, Sitzungsberichte, 422. Band, S. 79 - 100. Wien.

HAMBRUCH, PAUL, 1912: Entstehung, Bildung und Lagerung des Phosphats auf Nauru. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. S. 671 - 681.

HAMLIN, CHRISTOPHER, 1982: James Geikie, James Croll, and the Eventful Ice Age. Annals of Science, 39, S. 565 - 583.

HÄMMERLING, JOACHIM, 1941: Das Deutsch-Italienische Institut für Meeresbiologie in Rovigno d'Instria. Die Naturwissenschaften, Heft 32/33, 8. 8., S. 500 - 503.

HANSEN, BERT, 1970: Barrande, Joachim. Dictionary of Scientific Biography, Volume I, S. 468 / 469, New York.

HANSEN, BERT, 1972: Füchsel, Georg Christian. Dictionary of Scientific Biography, Volume V, New York, S. 205 / 206.

HARARI, YUVAL NOAH, 2015 (19. Auflage): Eine kurze Geschichte der Menschheit. Aus dem Englischen von JÜRGEN NEUBAUER. München.

HARDT, THOROLF, BERND HERKNER, 2011: Wie aus Zwergen Riesen wurden. ... Dinosaurier... Biologie Unserer Zeit, 1 (14), S. 24 - 33.

HARRASSOWITZ, HERMANN, 1926: Studien über mittel- und südeuropäische Verwitterung. Geologische Rundschau, Sonderband. S. 122 - 210.

HARRASSOWITZ, HERMANN, 1931: Das Vorkommen der Eisenoxyde in der Natur. (Vortrag, gehalten auf der Eisenerztagung in Goslar am 15. Mai 1931). Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 83, S. 491 - 501.

HARTMANN, CARL: s. LYELL.

HARTIG, P., 1859:

HASSE, K. E., 1902: Erinnerungen aus meinem Leben. Leipzig.

HAUSMANN, JOH. FRIEDRICH LUDW., 1824: Uebersicht der jüngeren Flötzgebilde im Flußgebiete der Weser, mit vergleichender Berücksichtigung ihrer Aequivalente in einigen anderen Gegenden von Deutschland und in der Schweiz. Göttingen.

HEBERER, GERHARD, 1970, 2. unveränderte Auflage: Zeugnisse für die Stellung des Menschen in der Natur. Von THOMAS HUXLEY. Eingeleitet und in Anlehnung an VICTOR CARUS Übersetzt von GERHARD HEBERER Göttingen.

Stuttgart.

HEDIN, SVEN, 1909: Transhimalaja. Entdeckungen und Abenteuer in Tibet. Leipzig.

HEDIN, SVEN, 1938: Fünfzig Jahre Deutschland. Zweite Auflage. Leipzig.

HEDIN, SVEN; 1945: Der wandernde See. Leipzig.

HEEGER, W., 1915: Petrogenetische Studien über den Unteren und Mittleren Buntsandstein im östliche Thüringen. Jahrbuch der Königlich Preussischen Geologischen Landesanstalt zu Berlin ... Band XXXIV, Teil II, S. 404 - 480 + Tafeln.

H.,A. = muß sein, HEIM, ALBERT, 1872-73: Professor Dr. Arnold Escher von der Linth. Verhandlungen der Schweizerischen naturforschenden Gesellschaft in Schaffhausen am 18., 19. und 20 August 1873. 56. Jahresversammlung. Jahresbericht 1872-73. S. 362 - 367.

HEIM, ALBERT, 1873: Der Vesuv im April 1872. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, XXV. Band, S. 1 - 52.

HEIM, A., 187: Erinnerungen an Arnold Escher von der Linth. Eröffnungsrede bei der 79. Jahresversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, S. 3 - (24) 26.

HEIM, ALB., 1908: Der Bau der Schweizeralpen. Vortrag gehalten im Rathause Zürich den 24. Jan. 1907. Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich auf das Jahr 1908.

HEIM, JOHANN LUDWIG, 1791: Geologischer Versuch über die Bildung der Thäler durch Ströme. Weimar.

HEIM, JOHANN LUDWIG, 1798: Geologische Beschreibung des Thüringer Waldgebürgs. Zweyter Theil: Von der innern Einrichtung des Gebürgs nach seinen Gebürgslagern. Erste Abtheilung. Meiningen.

HEIM, JOHANN LUDWIG, 1799: Geologische Beschreibung des Thüringer Waldgebürgs, Zweyter Theil: Von der inneren Einrichtung des Gebürgs nach seinen Gebürgslagern. Zweyte Abtheilung. Meiningen.

HEIM, JOHANN LUDWIG, 1806: Geologische Beschreibung des Thüringer Waldgebürgs nach seinen Flözlagnern. Zweyter Theil. Fünfte Abtheilung. Meiningen.

HEIM, JOHANN LUDWIG, 1812: Geologische Beschreibung des Thüringer Waldgebürgs. Dritter Theil: Einige aus der Absonderung, Gestaltung, Anordnung und

Gruppierung der Gebürgslager des Thüringerwaldes abgeleitete allgemeine Resultate. Meiningen.

HEIMBACH, WOLFGANG, 1964: Gagel, Friedrich. Neue Deutsche Biographie, 6.

HELLAND, AMUND, 1879: Ueber die glacialen Bildungen der nordeuropäischen Ebene. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, XXXI. (31) Band, S. 63 - 106.

HELLER, FLORIAN, 1974: Hummel, Karl. Neue Deutsche Biographie, 10, S. 55 / 56.

HELLMERS, J. H., 1941: Der Begriff "Laterit". Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 93, S. 377 - 384.

HELLMERS, JOH. - HEINRICH, 1955: Krinoidenstielglieder als Indikatoren der Gesteinsdeformation. Geologische Rundschau, 44, S. 87 - 92.

HELMBACH, WOLFGANG, 1964: Gagel, Friedrich August Wilhelm Curt. Neue Deutsche Biographie, Band 6.

HEMLEY, RUSSELL J., 1999: Mineralogy at a Crossroads. Science, Volume 285, 13 August, S.1026.

HENNINGSEN, DIERK und GERHARD KATZUNG, 2002, 6. überarb. Auflage: Einführung in die Geologie Deutschlands. Heidelberg, Berlin.

HENTSCHEL, H., 1966: Fortschritte der Mineralogie ..., 42. Band, S. 189 - 192. - Schriftenverzeichnis K. H. SCHEUMANN S. 192 - 196.

HENZE, M., 1911: Untersuchungen über das Blut der Ascidien. I. Mitteilung. Die Vanadiumverbindungen der Blutkörperchen. Hoppe-Seyler's Zeitschrift für Physiologische Chemie, 72. Band, S. 494 - 501.

HENZE, M., 1913: Untersuchungen über das Blut der Ascidien. III. Mitteilung. Hoppe - Seyler's Zeitschrift für Physiologische Chemie, 86. Band, S. 340 - 344.

HEROLD, THILO, 1997: Räumliche Beziehungen der Karstsysteme zu den tektonisch-geologischen Strukturen im Gebiet der Weissenstein- und Farisbergantiklinale. Dissertation ETH Zürich. (Im Internet).

HERRMANN, L., 1915: Die Theumaer Fruchtschieferbrüche. Naturwissenschaftliche Wochenschrift, XIV, Nr. 14, S. 160/161.

HERRMANN, RUDOLF, 1927: Der Gebirgsbau Nordostthüringens. Neiträge zur Geologie von Thüringen, 5. Heft, Jena.

- HERRMANN, WALTHER, 1953 b: Die Entstehung der Freiburger Bergakademie. Freiburger Forschungshefte, D (Bergbau und Kultur) 2. S. 23 - 42.
- HERRMANNm WALTHER 1953 c: Die Zeit Abraham Werners in Freiberg, Freiburger Forschungshefte, D (Bergbau und Kultur) 2, S 43 - 60.
- HESCHELER, KARL, 1909: Der Riesenhirsch. Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich auf das Jahr 1909. 111. Stück.
- HEß, W., 1891: Schröter, Johann Samuel. Allgemeine Deutsche Biographie, 32, S. 569 / 570.
- HESSEL, 1850: Ueber ein Bimssteinlager bei Marburg. Aus einem Schreiben von ... Annalen der Physik und Chemie ... J. C. POGGENDORFF, S. 319 - 322.
- HETTNER, ALFRED, 1904: Die deutschen Mittelgebirge. Versuch einer vergleichenden Charakteristik. Geographische Zeitschrift, 10, S. 13 – 143.
- HETTNER, ALFRED, 1906: Ferdinand von Richthofens Bedeutung für die Geographie. Geographische Zeitschrift, 12. Jahrgang, 1. Heft, S. 1 - 11.
- HETTNER, ALFRED, 1912: Alter und Form der Täler. Geographische Zeitschrift, 18. Jg., S. 665 - 682.
- HETTNER, ALFRED, 1928: Die Oberflächenformen des Festlandes. Probleme und Methoden der Morphologie. Berlin.
- HEVESY, G., 1927: The Radioactivity of Potassium. Nature, Volume 120, No. 3032, December 10, S. 838 / 839.
- HEVESY, GEORG von, 1929: Das Alter der Grundstoffe. Vortrag gehalten bei der Jahresfeier der Freiburger Wissenschaftlichen Gesellschaft am 10. November 1928. Freiburger Wissenschaftliche Gesellschaft, Heft 17. Freiburg in Baden.
- HIBSCH, J. E., 1891: Kurze Uebersicht des allgemeinen geologischen Aufbaues des "böhmischen Mittelgebirges". Tschermak's Mineralogische und Petrographische Mittheilungen, Neue Folge, 12. Band, S. 397 - 407.
- HILBER, VINCENZ, 1889: Die Bildung der Durchbruchstäler. Dr. A. Petermanns Mitteilungen aus Justus Perthes' Geographischer Anstalt, 35. Band, S. 10 - 16.
- HILDEBRAND, ERNST E., 1980: Möglichkeiten und Grenzen der fort- und landwirtschaftlichen Nutzung tropischer Standorte, dargestellt am Beispiel der Amazonasregion. Jahreshefte der Gesellschaft für Naturkunde in Württemberg, 135. Jahrgang, S. 18 - 31.

HINTENBERGER, H., 1960: Die Rubidium-Strontium-Methode. Geologische Rundschau, 49, Band, S. 197 - 224.

HÖFER-HEIMHALT, HANS, 1922/4: Das Erdöl und seine Verwandten. Geschichte, physikalische und chemische Beschaffenheit, Vorkommen, Ursprung, Auffindung und Gewinnung des Erdöles. 4. neubearbeitete Auflage. Braunschweig.

HOFF, K. E. A., 1822 - 1834: Geschichte der durch Überlieferung nachgewiesenen natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche. 3 Bände. Gotha. (Band 4 und 5 aus dem Nachlaß).

HOFF, KARL ERNST ADOLF, 2012: Annalen meines Lebens. Die Tagebücher des Gothaer Geologen und Staatsbeamten Karl Ernst Adolf von Hoff 1771 - 1817. KARIN DREIßIG, THOMAS MARTENS (Hg.). Weimar.

HOFF, K. E. A. VON und C. W. JACOBS, 1807, in Auswahl neu 1987 (hier benutzt): Der Thüringer Wald - besonders für Reisende geschildert. Leipzig 1987. Herausgegeben und bearbeitet von THOMAS MARTENS und WOLFGANG ZIMMERMANN. - Original 1807 Erster oder Nordwestliche Hälfte. Gotha. Zweite Hälfte 1812.

HOFFMANN, FRIEDRICH, 1828: Ueber einige neu entdeckte geognostische Erscheinungen in der norddeutschen Ebene. Annalen der Physik und Chemie...12 (ganze Folge 28), 1. Stück, S. 109 - 121.

HOFFMANN, FRIEDRICH, 1830: Uebersicht der orographischen und geognostischen Verhältnisse vom nordwestlichen Deutschland. Erste Abtheilung: Orographische Übersicht. Leipzig. - 2. Abtheilung: Geognostische Uebersicht. Leipzig.

HOFFMANN, FR., 1831: Auszüge aus Briefen des Hrn. Professor Fr. Hoffmann. Archiv für Mineralogie, Geognosie, Bergbau und Hüttenkunde. Herausgegeben von C. J. B. KARSTEN, 3. Band, S. 361 ff.

HOFFMANN, PAUL F. und DANIEL P. SCHRAG, 2000: Als die Erde ein Eisklumpen war. Spektrum der Wissenschaft, April, S.58 - 66.

HOFFMANN, ROBERT, 1863: Analysen von Koprolithen aus Böhmen. Journal für praktische Chemie, 90. Band. S. 469 - 470.

HÖGBOM, BERTIL, 1913 / 1914: Über die geologische Bedeutung des Frostes. Bulletin of the Geological Institution of the University of Uppsala. S. 257 - 390. Uppsala.

HÖLDER, H., 1960: Geologie und Paläontologie. Freiburg / München.

HÖLDER, HELMUT, 1985 a: Goethe als Geologe. Zeitschrift der deutschen geo-

logischen Gesellschaft, 136, S. 1 - 21.

HÖLDER, HELMUT, 1985 b: Bruno von Freybergs geologiehistorisches Werk, Geologische Blätter NO-Bayern, 34 / 35, S. 757 - 784.

HÖLDER, HELMUT, 1989: Kurze Geschichte der Geologie und Paläontologie. Ein Lesebuch. Berlin, Heidelberg, New York ...

HOLLAND, HEINRICH D., 1990: Atmospheric Evolution. Origins of breatheable air. Nature, Vol. 347, 6 September, S. 17.

HOLMES, ARTHUR, 1931: Radioaktivität und die thermische Geschichte der Erde. Die Naturwissenschaften, 19. Jahrgang, Heft 4, 23. Januar, S. 73 - 79.

HOLMES, 1993: Principles ... s. DUFF 1993.

HOLTEDAHN, OLAF, 1970: Brögger, Waldemar Christopher. Dictionary of Scientific Biography, Volume II, S. 486/487, New York.

HOOKER, 1849: On the Vegetation of the Carboniferous Period, as compared with that of the present day. The Edinburgh New Philosophical Journal, XLVI, S. 73 - 78.

HOORN, C., F. P. WESSELINGH, H. TER STEEGE und 14 weitere Autoren, 2010: Amazonia Through Time: Andean Uplift, Climate Change, Landscapes Evolution, and Biodiversity. Review. Science, Volume 330, 12 November, S. 927 - 931.

HOOYKAAS, REYER, 1963: The Principle of Uniformity in geology, biology and theology. Leiden.

HOPKINS, WILLIAM, 1854: Address als President der British Association for the Advancement of Science. Report of the Twenty-Third Meeting of the British Association for the Advancement of Science held at Hall in September 1853. London.

HOPMANN, MICHAEL, 1954: Die wissenschaftliche Erforschung des Laa cher Vulkangebietes. Geologisches Jahrbuch, Band 69, Februar, S. 379 - 386.

HOERNES, RUDOLF, 1884: Elemente der Palaeontologie (Palaeozoologie). Leipzig.

HOERNES, R., 1908: Edmund Mojsisovics Edler von Mojsvár. Almanach der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, 58. Jahrgang, Wien, S. 286 - 294.

HOERNES, RUDOLF, 1911: Das Aussterben der Arten und Gattungen sowie der größeren Gruppen des Tier - und Pflanzenreiches. Graz.

HOERNES, R., 1911:

HORNSCHUCH, 1848: Ueber Ausartung der Pflanzen. Flora, No. 5, 7. Februar, S. 66 - 87.

HOEVERMANN, JÜRGEN, 1969: 40 Jahre moderne Geomorphologie. - In: Hans-Mortensen-Gedenksitzung am 25. Mai 1965, Göttinger Geographische Abhandlungen, Heft 34, S. 11 - 19.

HUENE, F. von, 1912: Ernst von Koken †. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, II. Band, S. I - XIII.

HUMMEL, K., 1922: Die Entstehung eisenreicher Gesteine durch Halmyrolyse (= submarine Gesteinszersetzung). Geologische Rundschau, 13, S. 40 - 81, 97 - 136.

HUMMEL, K., 1931: Grünerden Südtirols und sonstige halmyrolytische Eisensilikate. Chemie der Erde, 6, S. 468 - 551.

HUMMEL, K., 1940: Geochemie und Erdgeschichte. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 92, S. 459 - 468.

HURTIG, TH., 1957: Physische Geographie von Mecklenburg. Berlin.

HUTTON, JAMES, 1795: Theory of the Earth with Proofs and Illustrations. Vol. II. Edinburgh.

JAEKEL, O., 1907 - 1908, 1909: Zum Gedächtnis Rudolf Credners. Rede, gehalten bei der Gedenkfeier der Geographischen Gesellschaft in der Aula der Universität am 22. Juli 1908. XI. Jahresbericht der Geographischen Gesellschaft zu Greifswald 1907 - 1908, S. VII - XXI. Greifswald 1909.

JAWORSKI, E., 1922: Die A. Wegenersche Hypothese der Kontinentalverschiebungen. Geologische Rundschau, 13. Band, S. 173 - 296.

JENTZSCH, ALFRED, 1873: Über die Systematik und Nomenklatur der rein klastischen Gesteine. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, XXV. Band, S. 736 - 744.

JENTZSCH, ALFRED, 1884: Beiträge zum Ausbau der Glacialhypothese in ihrer Anwendung auf Norddeutschland. Jahrbuch der Königlich Preussischen geologischen Landesanstalt und Bergakademie zu Berlin, S. 438 - 517. Berlin 1885.

JESSEN, OTTO, 1936: Reisen und Forschungen in Angola. Berlin.

JESSEN, OTTO, 1938: Tertiärklima und Mittelgebirgsmorphologie. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, S. 36 - 49.

JESSEN, WERNER, 1962: Johannes Weigelt zum Gedächtnis. Mitteilungen aus dem Geologischen Staatsinstitut in Hamburg, Heft 31, S. 9 - 25.

JÖRGENSEN, BO BARKER, 1995: Die Mikrowelt der Meeresbakterien. Naturwissenschaften 82, S. 269 - 278.

JUDSON, SHELDON, 1971: Davis, William Morris. Dictionary of Scientific Biography, Volume III, S. 592 - 596, New York.

JUGOVICS, LUDWIG, etwa 2013: Dazitvorkommen im Börzsöny-Gebirge (Ungarn). Auszug.

JOHNSON, KIRK B. and BETH ELLIS, 2002: A Tropical Rainforest in Colorado 1,4 Million Years After the Cretaceous-Tertiary Boundary. Science, Volume 296, 28 June, S. 2379 - 2383.

JOHNSTON, D. T.; F. WOLFE-SIMON, A. PEARSON, A. H. KNOLL; 2009: Anoxygenic photosynthesis modulated Proterozoic oxygen and sustained Earth's middle age. PNAS, vol. 106, no. 40, October 6, S. 1625 - 1629.

JUKES, J. BEETE, 1862: On the Mode of Formation of some of the River-Valleys in the South of Ireland. Proceedings of the Geological Society ..., June 18, S. 378 - 403.

JOLY, JOHN, 1924: The Radioactivity of the Rocks. Hugo Müller Lecture. Delivered before the Chemical Society on February 28th 1924. Journal of the Chemical Society, Vol. CXXV, S. 897 - 907.

JUNGE, FRANK WOLFGANG und LOTHAR EISSMANN, 2003: Südafrika - Mitteleuropa: Analoge Zeugenschaft zweier großer Eozänalter unserer Erde. Mauritiana (Altenburg), 18, S. 341 - 386.

JUNGNER, ERIK L., 1940; A. G. Högbom. Geologische Rundschau, 31. Band, S. 91 - 93.

JUBIEU (ist = JUSSIEU, ANTOINE DE), 1751: Von dem Ursprunge und der Bildung eines, Ammonshorns genannten Steines. Der Königl. Akademie der Wissenschaften in Paris Physische Abhandlungen, Sechster Theil, welche die 1719, 1720, 1721 und 1722 in sich hält. Aus dem Französischen übersetzt von WOLFBALTH. ADOLPH VON STEINWEHR, der Königl. Akademie der Wissenschaften in Berlin Mitglieder. Breslau. S. 569 - 577. Vorwort S. 565/568. - Beitrag von 1722.

KAISER, ERICH, 1926: Die Diamantenwüste Südwest-Afrikas. In 2 Bänden. Berlin.

KAISER, ERICH, 1931: Der Grundsatz des Aktualismus in der Geologie. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, S. 389 - 407.

KALKOWSKY, ERNST, 1900: † Hanns Bruno Geinitz. Sitzungsberichte und Abhandlungen der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft ISIS in Dresden. Dresden 1901. S. V - XIII.

KARMARSCH, 1876: Born, Ignaz, Edler von. Allgemeine Deutsche Biographie, 3, S. 164.

KAUNHOWEN, F., 1914: Zum Gedächtnis Henry Potonié s. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, B, Nr. 8 / 12, S. 384 - 406.

KATZUNG, GERHARD (Herausgeber), 2004: Geologie von Mecklenburg-Vorpommern. Stuttgart.

KAY, MARSHALL; 1968: North Atlantic Continental Drift. Proceedings of the American Philosophical Society, Vol. 112, No. 5, October, S. 321 - 324.

KAYSER, EMANUEL, 1871: Die Brachiopoden des Mittel - und Ober - Devon der Eifel. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, XXIII, S. 491 - 647.

KAYSER, EMANUEL, 1893: Lehrbuch der Allgemeinen Geologie. Erster Theil von: Lehrbuch der Geologie. Stuttgart.

KAYSER, EMANUEL, 19022: Lehrbuch der geologischen Formationskunde. II. Teil von: Lehrbuch der Geologie. 2. Auflage. Stuttgart.

KAYSER, EMANUEL, 1908: Zur Arrhenius - Frech'schen Kohlensäure - Hypothese. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, S. 553 - 556.

KAYSER, EM, 1928: Jahrbuch der Preußischen Geologischen Landesanstalt zu Berlin, Band XLIX, Teil III.

KEILHACK, KONRAD, 1883: Vergleichende Beobachtungen an isländischen Gletscher- und norddeutschen Diluvial-Ablagerungen. Jahrbuch der Königlich Preussischen geologischen Landesanstalt und Bergakademie zu Berlin. Berlin 1884. S. 159 - 176.

KEILHACK, K., 1898 a: Die Oberflächenformen des norddeutschen Flachlandes und ihre Entstehung. Geographische Zeitschrift, 4. Jahrgang, 9. Heft, S. 481 - 508.

KEILHACK, K., 1898 b: Das Auftreten zweier verschiedenalteriger Lössen in der Gegend von Altenburg und Meuselwitz. Vortragsbericht. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, L. (50) Band, S. 179 - 181.

KEILHACK, K., 1898 c: Die Stillstandslagen des letzten Inlandeises und die hydrographische Entwicklung des pommerschen Küstengebietes. Jahrbuch der Königlich Preussischen geologischen Landesanstalt und Bergakademie zu Berlin ... , Band XIX, 1899, S. 90 - 152.

KEILHACK, K., 1915: Über tropische und subtropische Torfmoore auf der Insel Ceylon. Jahrbuch der Königlich Preussischen Geologischen Landesanstalt zu Berlin, Band XXXVI (36), Berlin 1917, S. 102 - 143.

KEILHACK, K., 1917: Die großen Dünengebiete Norddeutschlands. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 69. Band, B. Monatsberichte, S. 2 - 19.

KEILHACK, KONRAD, 1920: Das Rätsel der Lößbildung. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 72. Band, Berlin 1921, S. 140 - 161, bis S. 167 Diskussion, unter anderem von WEISSERMEL.

KEILHACK, K., 1919 / 1922: Gottlieb Michael Berendt †. Jahrbuch der Preussischen Geologischen Landesanstalt für das Jahr 1919, Band XL, Teil II, erschienen 1922, S. I - XVII.

KEILHAU, M., 1828: Ein vorläufiges Wort über Contactbildungen. Annalen der Physik und Chemie...POGGENDORFF, 14. Band, S. 131 - 137.

KELLER, BEAT; PETER WICK, 1985: Gletschergarten Luzern. Luzern.

KEMPE, MICHAEL, 1996: Die Sintfluttheorie von Johann Jakob Scheuchzer. Zur Entstehung des modernen Weltbildes und Naturverständnisses. Zeitschrift für historische Forschung, 44. Jahrgang, Heft 6, S. 485 - 501.

KEMPE, STEPHAN, 1990: Der Ur-Ozean: Ein Soda-Meer. bild der wissenschaft, 9, S. 130 - 133.

KERNER - MARILAUN, FRITZ, 1934: Paläogeographie mit besonderer Rücksicht auf die Fehlerquellen. Berlin.

KERTZ, WALTER, 1980: Vom falschen Ansatz zur richtigen Theorie. bild der wissenschaft, 11, S. 78 - 86.

KETTNER, RADIM, 1959: Allgemeine Geologie. II. Übersetzung. Berlin.

KIDSTON, R. und W. H. LANG, 1917: On Old Red Sandstone Plants showing Structure, form the Rynie Chart Bed, Aberdeenshire. Part I, Rhynia Gwynne-Vaughani, Kidston and Lang. Transactions of the Royal Society of Edinburgh, LI (Sessions 1915 - 1917), Part III. - Part II: Additional Notes on Rhynia Gwynne-Vaughani, Kidston and Lang with Description of Rhynia major, n. sp., and Hornea Lignieri, ... S. 602 - 627.

KIESLINGER, ALOIS, 1928: Das Lebenswerk Carl Diemers. Der Geologe, Nr. 43, Juni, S. 1123 - 1132; (Schluß) Nr. 44, Oktober, S. 1201 - 1210 + Schriftenverzeichnis.

KIRWAN, RICHARD, 1785: Anfangsgründe der Mineralogie. Aus dem Englischen übersetzt mit Anmerkungen und Vorrede D. LORENZ CRELL. Berlin und Stettin.

KLÄHN, HANS, 1925: Senone Kreide mit und ohne Feuerstein . Eine geochemische Studie. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, LII. (52.) Beilage-Band, Abteilung B, S. 402 - 454.

KLÄRNER, DIEMUT, 2010: Wälder nach der Kreidezeit rasch erholt. Frankfurter Allgemeine Zeitung, Nr. 58, Mittwoch, 10. März, S. N2.

KLOCKMANN, F., 1883: Die südliche Verbreitungsgrenze des Oberen Geschiebemergels und deren Beziehung zu dem Vorkommen der Seen und des Lösses in Norddeutschland. Jahrbuch der Königlich Preussischen geologischen Landesanstalt und Bergakademie zu Berlin, S. 238 - 266. Berlin 1884.

KLÖDEN, F. K., 1832: Beiträge zur mineralogischen und geognostischen Kenntniß der Mark. 5. Stück. Berlin.

KLUTE, FRITZ, 1949: Wie der höchste Berg Afrikas erforscht wurde. Geographische Rundschau, 1. Jahrgang, Januar, S. 2 - 6.

KNETSCH, GEORG, 1939: Atlantis (Zur Geologie des südatlantischen Ozeans). Geologische Rundschau, 30. Band, S. 250 - 283.

KNIGHT, DAVID, 1986: The age of science: the scientific world view in the nineteenth century. Oxford, New York.

KOCH, F. E. und C. M. WIECHMANN, 1868: Die oberoligocäne Fauna des Sternberger Gesteins in Meklenburg. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, XX. Band, S. 543 - 564.

KOCH, M., 1972: Hartmann, Carl Friedrich Alexander. Dictionary of Scientific Biography, Volume VI, S. 142 / 143, New York.

KOHLSCHÜTTER, ERNST, 1932: Alfred Wegener zum Gedächtnis. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, Nr. 3 / 4, S. 84 -

KOKEN, ERNST, 1884: Ueber Fisch-Otolithen, insbesondere über diejenigen der norddeutschen Oligocän - Ablagerungen. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, XXXVI. (36) Band, S. 500 ff.

KOKEN, ERNST, 1893: Die Vorwelt und ihre Entwicklungsgeschichte. Leipzig.

KOKEN, ERNST, 1899: † Wilhelm Barnim Dames. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie, II. Band, 1. Heft, S. 1 - 14.

KOKEN, ERNST, 1901: Paläontologie und Descendenzlehre. Verhandlungen der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte, 73. Versammlung zu Hamburg, 22. - 28. September 1901. S. 213 - 228.

KOKEN, E. und F. NOETLING, 1903: Geologische Mitteilungen aus dem Saltrange. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie, S. 45 - 49.

KOKEN, E., 1904: über seinen Vortrag: Permische Eiszeit in Indien. Allgemeine Winterversammlung zu Stuttgart des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg 10. Januar 1904. Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde, 60, S. LXVI - LXVIII.

KOKEN, E., 1907: Indisches Perm und die permische Eiszeit. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Festband zur Feier des 100jährigen Bestehens, S. 446 - 545.

KOKEN, E., 1908: Indisches Perm und die permische Eiszeit. Nachträge. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, S. 449 - 461.

KOKEN, E., 1909: Vorläufige Entgegnung an Herrn Arrhenius. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, S. 539.

KOLESCH, KARL, 1903: Ueber Versteinerungen aus dem Mittleren Buntsandstein von Ostthüringen. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie, S. 660.

KOENEN, A. v., 1866 - 1869: Das marine Mittel-Oligocän Nord-Deutschlands und seine Mollusken-Fauna. Palaeontographica. Beiträge zur Naturgeschichte der Vorwelt. 16, Band. S. 53 - 65.

KOENEN, A. von, 1883 / 1884: Ueber geologische Verhältnisse, welche mit der Emporhebung des Harzes in Verbindung stehen. Jahrbuch der Königlich Preussischen geologischen Landesanstalt und Bergakademie zu Berlin für das Jahr 1883. S. 187 - 198.

KOENEN, A. von, 1885: Ueber das Verhalten von Dislokationen im nordwestlichen Deutschland. Jahrbuch der Königlich Preussischen geologischen Landesanstalt und Bergakademie zu Berlin, S. 53 - 83.

KOENEN, A. von, 1886: Ueber die Störungen, welche den Gebirgsbau im nord-

westlichen und westlichen Deutschland bedingen. Nachrichten von der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften und der Georg - Augusts - Universität zu Göttingen, S. 196 - 199.

KOENEN, A. v., 1904: Ueber die Buntsandsteinwüste. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie, S. 107.

KOENEN, A. von, 1905a: Ueber die Wirkungen des Gebirgsdruckes im Untergrunde in tiefen Salzbergwerken. Nachrichten von der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Mathematisch - physikalische Klasse. S. 17 - 34.

KOENEN, A. von, 1905b: Zur Entstehung der Salzlager Nordwest-Deutschlands. Nachrichten von der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Mathematisch - physikalische Klasse. S. 339 - 342.

KOENEN, A. von, 1907: Ueber das Verhalten und das Alter der Störungen in der Umgebung der Sackberge und des Leinethales bei Alfeld und Elze. Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Mathematisch - physikalische Klasse, S. 589 - 597.

KÖPPEN, W. und A. WEGENER, 1924: Die Klimate der geologischen Vorzeit. Berlin.

KORN, JOHANNES, 1913: Der Buk-Moschiner Os und die Landschaftsformen der West-Posener Hochfläche, nebst Bemerkungen über die Bildungsweise der Schildrücken (Drumlins) und Oser. Jahrbuch der Königlich Preussischen Geologischen Landesanstalt zu Berlin, Band XXXIV, Teil I, S. 181 - 205. Berlin 1914.

KOSSMAT, FRANZ, 1894. Die Bedeutung der südindischen Kreideformation für die Beurtheilung der geographischen Verhältnisse während der späteren Kreidezeit. Jahrbuch der Kaiserlich-Königlichen Geologischen Reichsanstalt. XLIV. Band.

KOSSMAT, FRANZ, 1907: Geologie der Inseln Sokotra, Semha und Abd el Kuri. Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftlich Klasse, 71. Band, I. Halbband, Wien.

KOSSMAT, FRANZ, 1908: Paläogeographie (Geologische Geschichte der Meere und Festländer). Leipzig.

KOSSMAT, FRANZ, 1921: Die Beziehungen zwischen Schwereanomalien und Bau der Erdrinde. Geologische Rundschau, 12. Band, S. 165 - 189.

KOSSMAT, FRANZ, 1925: Übersicht der Geologie von Sachsen. Erläuterung zu den vom Sächs. Geologischen Landesamt veröffentlichten Übersichtskarten. Leipzig.

KOSSMAT, FRANZ, 1927: Gliederung des varistischen Gebirgsbaues. Abhandlungen des Sächsischen Geologischen Landesamtes. Heft 1. Leipzig.

KOSSMAT, FRANZ, 1931: Das Problem der Groß-Überschiebungen im variskischen Gebirge Deutschlands. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Abt. B, S. 577 - 602.

KOSSMAT, FRANZ, 1932: Tektonische und geophysikalische Phänomene in der Ferghanaregion, Zentralasien. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, S. 84 - 94.

KOSSMAT, FRANZ, 1936: Paläographie und Tektonik. Berlin.

KÖSTER, ERHARD, 1962: Möglichkeiten und Grenzen granulometrischer und morphometrischer Untersuchungsmethoden in der geographischen und geologischen Forschung. Petermanns Geographische Mitteilungen, 106, S. 111 - 116.

KRAFFT, FRITZ, 2009. Goethe zwischen Neptun und Vulkan. - In. Symbiosen - Wissenschaftliche Wechselwirkungen zu gegenseitigem Vorteil. Festschrift für Werner Köhler, hrsg. von KLAUS MANGER und HANS-PETER KLÖCKING, Sonderschriften der Akademie gemeinnütziger Wissenschaften zu Erfurt, Band 39, S. 231 - 251.

KRÄMER, WALTER (bearbeitet, 3. Auflage), 1961: Die Entdeckung und Erforschung der Erde. Mit einem ABC der Entdecker und Forscher ... Leipzig.

KRANZ, W., 1911, 1912, 1913: Das Nördlinger Ries-Problem. Jahres-Berichte und Mitteilungen des Oberrheinischen geologischen Vereines, Neue Folge, 1911, Band 1, Heft 2, S. 32 - 35. - Das Nördlinger Ries - Problem, II, ebenda, 1912, Band 2, Heft 1, S. 54 - 65; Das Nördlinger Ries - Problem, 1913, Band 3. Heft 1, III, S. 79 - 88.

KRANZ, W., 1914: Das Problem des Steinheimer Beckens. Jahres - Berichte und Mitteilungen des Oberrheinischen geologischen Vereines, Neue Folge, Band 4, Heft 2, S. 92 - 112.

KRANZ, WALTER, 1937: Steinheimer Becken, Nördlinger Ries und "Meteorkrater". Petermanns Geographische Mitteilungen, 83. Jahrgang, Heft 7/8, S. 198 - 202,

KRAUS, ERNST, 1923 a: Die Bodenkunde als Methode in der Morphologie. Petermanns Geographische Mitteilungen, Heft 1 / 2, S. 1 - 6.

KRAUS, E., 1923 b: Über Block - und Felsbildungen in Deutschland und ihre Bedeutung für die Erschließung des Vorzeit-Klimas. Geologisches Archiv, Band I, März, Heft 3, S. 109 - 121.

KRAUS, E., 1927: Neue Spezialforschungen im Allgäu (Molasse und Flysch). Ein Beitrag zur Kenntnis geosynklinale Vorgänge. Geologische Rundschau, 18. Band, S. 189 - 221. (Schluß folgt).

KRAUS, E., 1928: Das Wachstum der Kontinente nach der Zyklustheorie. Geologische Rundschau, 19, S. 353 - 386, 481 - 493.

KRAUS, ERNST, 1959: Die Entwicklungsgeschichte der Kontinente und Ozeane. Berlin.

KRAUS, ERNST C., 1965: Laurasia. Ein Beitrag zur Paläo-Morphologie der Erde. - In: Zum gegenwärtigen Stand von Naturwissenschaft und Medizin, in Übersichten gegeben von Mitgliedern der Leopoldina aus Anlaß der 65. Wiederkehr des Geburtstages des XXII. Präsidenten KURT MOTHES. Nova Acta Leopoldina, Neue Folge, Nummer 173, Band 30, S. 135 - 142.

KRAUSE, ERNST H. L., 1910: Die Veränderungen des Klimas seit der letzten Eiszeit. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 62. Band, S. 123 - 128.

KRAUSE, PAUL GUSTAV, 1929: Jahrbuch der Preußischen Geologischen Landesanstalt für das Jahr 1928, Band XLIX, Teil II, S. XCV - CXIX.

KREJCI - GRAF, KARL, 1950: Über die Phasen der Gebirgsbildung. Geologische Rundschau, 38, S. 112 - 124.

KRENKEL, ERICH, 19: Credner, Karl Hermann Georg. Neue Deutsche Biographie, Band, S. 404 / 405.

KRUSCH, von, 1914: Wahnschaffe, Felix. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, B, 66, 2, S. 65 - 80.

KRUTZSCH, WILFRIED, 2011: Stratigraphie und Klima des Paläogen im Mitteldeutschen Ästuar im Vergleich zur marinen nördlichen Umrahmung. Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Volume 162, 1, S. 19 - 46.

KUHN - SCHNYDER, EMIL, 1973: Louis Agassiz als Paläontologe. - In: Louis Agassiz 1807 - 1873. Vorträge an der Gedenkfeier zum 100. Todestag, gehalten an der 153. Jahresversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft Lugano, 20. Oktober 1973. Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, Band / Vol. LXXXIX, S. 21 - 113.

KÜHNEL, JOHANNES, 1939: Sedimentäre Kieselgesteine, Hornsteine und das Feuersteinproblem. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 91, S. 207 - 231.

KUENEN, PH. H., 1958: No Geology without Marine Geology. Geologische Zeitschrift, 47. Band, Heft 1, S. 1 - 10.

KUMMEROW, E., 1928: Fortschritte der Diluvialgeologie. (Bewegungsrichtung des Inlandeises. Herkunft und Verbreitung der Geschiebe.). Geologische Rundschau, 19. Band, S. 388 - 417.

KUMMEROW, EGMONT, 1932: Die aktualistische Methode in der Geologie. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 84, S. 563 - 565.

KÜPPERS, ANDREAS, 2003: Quiring, Heinrich. Neue Deutsche Biographie, Band 21, S. 50/51. - Online.

L., J., 1908: William Thomson, Baron Kelvin of Largs. 1824 - 1907. Proceedings of the Royal Society of London, Series A, Vol. LXXXI, S. iii - LXXVi.

LAATSCH, W., 1967: W. Kubiena 70 Jahre alt. Forstarchiv, 38, 6, S. 129 - 131.

LAMARCK, JEAN BAPTISTE, deutsche Übersetzung 1805: Hydrogeologie oder Untersuchung über den Einfluss des wassers auf die Veränderung der Erdoberfläche. Aus dem Französischen übersetzt und mit Anmerkungen versehen von E. F. WREDE. Berlin.

LANG, FR., 1873: Amanz Gressly und die geologischen Forschungen seiner Zeit. Solothurn.

LANG, RICHARD, 1911: Das Vindelizische Gebirge zur mittleren Keuperzeit. Ein Beitrag zur Paläogeographie Süddeutschlands. Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg. S. 218 - 259.

LANGSTON, WANN Jr., 1981: Pterosaurs. Scientific American, Vol. 244, No. 2, February, S. 92 - 102.

LARSON, ROGER L., 1995: Die Superplume-Episode in der mittleren Kreidezeit. Spektrum der Wissenschaft, Juli, S. 48 - 52.

LAUBE, GUSTAV C., 1884: Joachim Barrande. Nekrolog. Lotos - Jahrbuch für Naturwissenschaft - Neue Folge, 5, S. XXI - XXIX.

LAUTERBORN, ROBERT, 1910-1912: Über Staubbildung aus Schotterbänken im Flußbett des Rheins. Verhandlungen des Naturhistorisch - Medizinischen Vereines zu Heidelberg, Neue Folge, 11. Band, S. 359 - 368.

LAUTERBORN, ROBERT, 1930 (u. a.): Der Rhein, Naturgeschichte eines deutschen Stromes. 1. Band: Die erd- und naturkundliche Erforschung des Rheins und

der Rheinlande vom Altertum bis zur Gegenwart. U. a. in Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. Br., 1930, S. 1 - 311.

LAUTERBORN, ROBERT, 1934. Der Rhein ... Fortsetzung. Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. Br., 33. Band.

LAWRENCE, PHILIP J., 1972: Edward Hitchcock: The Christian Geologist. Proceedings of the American Philosophical Society, Volume 116, no.1, February, S. 21 - 34.

LEHMANN, CHRISTIAN, 1699: Historischer Schauplatz derer natürlichen Merckwürdigkeiten in dem Meißnischen Ober - Ertzgebirge...Leipzig.

LEHMANN, F. W. PAUL, 1925: Joseph Partsch †. Geographische Zeitschrift, 31. Jahrgang, Heft 6, S. 321 - 329.

LEHMANN, F. W. PAUL, 1928: Konrad Keilhack. Kurzer Abriß der Lebensarbeit eines Siebzigers. Geographischer Anzeiger, 29. Jahrgang, S. 252 - 255.

LEHMANN, HERBERT, 1966: Grund, Alfrfed Johannes. Neue Deutsche Biographie, Band 7, S. 216 ff. (Onlinefassung).

LEHMANN, JOHANN GOTTLOB, 1756: Versuch einer Geschichte von Flötz - Gebirgen, betreffend deren Entstehung, Lage, darinne befindliche Metallen, Mineralien und Foßilien, gröstenteils aus eigenen Wahrnehmungen, chymischen und physicalischen Versuchen, und aus denen Grundsätzen der Natur - Lehre hergeleitet. Berlin.

LEIBNIZ, GOTTFRIED WILHELM: Protogaea. Übersetzt von W. von ENGELHARDT. Stuttgart 1949.

LEININGEN-WESTERBURG, WILHELM Graf zu, 1917: Die Aufgaben der Bodenkunde, ... Vortrag. Mitteilungen der k.k. Geographischen Gesellschaft in Wien, 60. Band, S. 391 - 397.

LEMBERG, J., 1876: Ueber Silicatumwandlungen. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, XXVIII. Band, S. 519 ff.

LENK, H., 1909: Bemerkungen zu W. Branca's Widerlegung. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie. S. 321 - 324.

LENZ, OSKAR, 1870: Ueber das Auftreten jurassischer Gebilde in Böhmen. Zeitschrift für die gesammten Naturwissenschaften, N. F. Band I, (der ganzen Reihe XXXV. Band), S. 337 ff.

LEONHARD, K. C., 1856: Aus unserer Zeit in meinem Leben. 2. Band. Stuttgart.

LEPSIUS, RICHARD, 1912: Keine diluviale Eiszeit in Japan. Geologische Rundschau, 3. Band, S. 157 - 163.

LEßER, FRIEDRICH CHRISTIAN, 1735: Lithotheologie. Das ist: Natürliche Historie und geistliche Betrachtung derer Steine, Also abgefaßt, daß daraus Die Allmacht, Weißheit, Güte und Gerechtigkeit des grossen Schöpfers gezeuget wird ... Hamburg.

LEUTWEIN, FRIEDRICH, 1967: Karl Hermann Scheumann. Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Jahrbuch 1963 - 1965, S. 310 - 313. - Bibliographie zusammengestellt von Frau K SCHEUMANN S. 314 - 318.

LEVERETT, FRANK, 1938: Frank Bursley Taylor. Science, Volume 88, No. 2275, August 5, S. 121 / 122.

LEWIS, CHERRY I. E., 2004: Holmes, Arthur. Oxford Dictionary of National Biography, Volume 27, S. 780 - 782.

LEWIS, SIMON L. & MARK A. MASLIN, 2015: Defining the Anthropocene. Nature, Volume 519, 12 March, S. 171 - 180.

LEYDEN, FRIEDRICH, 1922: Die Entwicklung der Alpen zum Hochgebirge. Geologische Rundschau, 13. Band, S. 18 - 40.

LEYDIG, FRANZ, 1902: Horae Zoologicae. Zur Vaterländischen Naturkunde ergänzende sachliche und geschichtliche Bemerkungen. Jena.

LIEBE, K. TH., 1885: Aus dem Zechsteingebiet Ostthüringens. Jahrbuch der königlich Preussischen geologischen Landesanstalt und Bergakademie zu Berlin für das Jahr 1884. S. 381 - 388.

LIEBETRAU, EDMUND, 1889: Beiträge zur Kenntnis des Unteren Muschelkalks bei Jena. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, XLI (41), S. 717 ff.

LIEPMANN, WILHELM, 1926: Leichengeburten bei Ichthyosauriern. Eine paläobiologische Studie. Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, mathematisch - naturwissenschaftliche Klasse, 6. Abhandlung.

LINCK, G. und W. BECKER, 1926: Chemie der Erde. 2. Band, S. 1 - 14.

LINCK, GOTTLÖB und HERMANN JUNG, 1954: Grundriß der Mineralogie und Petrographie. Eine Einführung für Studierende und zum Selbstunterricht. Begründet von ... Zweite, neubearbeitete Auflage von Dr. phil. HERMANN JUNG. Jena.

LINNARSSON, J. G. O., 1873: Ueber eine Reise nach Böhmen und den russischen Ostseeprovinzen im Sommer 1872. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, XXV. Band, S. 675 - 698.

LINNEMANN, ULF / MANDY HOFMANN, 2010: Das Präkambrium. Biologie in unserer Zeit, 2 (40), S. 110 - 121.

LINSTOW, O. v., 1905: Über die Ausdehnung der letzten Vereisung in Mitteldeutschland. Jahrbuch der Königlich Preussischen Geologischen Landesanstalt und Bergakademie zu Berlin, Band XXVI, S. 484 - 494. Berlin 1908.

LINSTOW, O. v., 1913 / 1914: Über die Zeit der Heraushebung des Harzes. Jahrbuch der Königlich Preussischen Geologischen Landesanstalt zu Berlin für das Jahr 1913. Berlin. S. 625 - 633.

LINSTOW, O. v., 1922: Die Verbreitung der tertiären und diluvialen Meere in Deutschland. Abhandlungen der Preußischen Geologischen Landesanstalt, Neue Folge, Heft 87.

LOSSEN, K. A., 1872: Über den Spilosit und Desmosit Zincken's, ein Beitrag zur Kenntniss der Contactmetamorphose. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, XXIV. Band, S. 701 - 786.

LOSSEN, K. A., 1883: Ueber die Anforderungen der Geologie an die petrographische Systematik. Jahrbuch der Königlich Preussischen geologischen Landesanstalt und Bergakademie zu Berlin... S. 486 - 513.

LOTZ, HEINRICH, 1937: Erich Kaiser ... zum Gedächtnis. Geologische Rundschau, 28. Band, S. 349 - 356.

LOTZE, FRANZ, 1938: Steinsalz und Kalisalze, Geologie. Die wichtigsten Lagerstätten der "Nicht - Erze" von O. STUTZER †, Band III, Teil 1. Berlin.

LOTZE, FRANZ, 1941: Hans Stilles wissenschaftliches Werk. Die Naturwissenschaften, 29. Jahrgang, 3. Oktober, Heft 40, S. 594 - 599.

LOTZE, FRANZ, 1948: 100 Jahre Forschung in der saxonischen Tektonik. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 100, S. 321 - 337.

LOUIS, HERBERT, 1958: Albrecht Penck und sein Einfluß auf Geographie und Eiszeitforschung. Die Erde, 89, 3 / 4, S. 161 - 182.

LOUIS, HERBERT, 1959: Siegfried Passarge. Jahrbuch der Bayerischen Akademie der Wissenschaften 1959. S. 181 - 183. Sonderdruck.

LOUIS, HERBERT, 1974: Jessen, Otto. Neue Deutsche Biographie, 10, S. 426 / 427.

LOUIS, HERBERT, 1979, 4. erneuerte und erweiterte Auflage: Allgemeine Geomorphologie. Berlin, New York.

LÖWL, 1886: Spalten und Vulkane. Jahrbuch der Kaiserlich-Königlichen Geologischen Reichsanstalt, XXXVI. Band, Wien, S. 316 - 326.

LOZINSKI, W. v., 1911: Die periglaziale Fazies der mechanischen Verwitterung. Naturwissenschaftliche Wochenschrift, Neue Folge X. Band, der ganzen Folge XXVI. Band, Nr. 41, S. 641 - 647.

LUEDECKE, O., 1905 - 1906: Karl Freiherr von Fritsch. Zeitschrift für Naturwissenschaft, Band 78, S. 145 - 159.

LUEDECKE, O., 1906: Karl Freiherr von Fritsch, Präsident der Akademie. Leopoldina, Heft 42, No. 3, März, S. 44 - 53.

LYELL, CHARLES, 1829: On a recent formation of fresh water Limestone in Forfarshire, and on some recent Deposits of freshwater Marl. Transactions of the Geological Society of London, 2. Series, Vol. II.

LYELL, CHARLES, 1830 bis 1833: Principles of Geology: being an attempt to explain the former changes of the earth's surface by reference to causes now in operation. London. 1. Auflage 1. Band 1830, 2. Band 1832, 3. Band 1834. - 2. Auflage: 1. und 2. Band 1832. 3. Auflage in 4 Bänden 1834. Weitere Auflagen, auch in einem Band: 1835, 1837, 1842, 1847, 1853, 1867, 1868, 1872, 1875. Dazu amerikanische Auflagen. Deutsch 1842: Grundsätze der Geologie oder die neuen Veränderungen der Erde und ihrer Bewohner in Beziehung zu geologischen Erläuterungen. Aus dem Englischen von CARL HARTMANN. Weimar. - 1857 / 1858 deutsche Übersetzung von B. COTTA.

LYELL, Mrs. (Edit.), 1881: The Life, Letters and Journales of Sir C. Lyell. 2 Vols. London.

M., G. P., 1961: Marsh, Othniel Charles. Dictionary of American Biography, Volume VI, S. 302/303.

M., G. P., 1963: Powell, John Wesley. Dictionary of American Biography, Volume VIII, S. 146 - 148.

M., G. P., 1963 a: Rogers, Henry Darwin. Dictionary of American Biography, Volume VIII, S. 94/95

M., G. P., 1963 b: Pumpelly, Raphael. Dictionary of American Biography, Volume VIII, S. 264 - 266.

MACHATSCHEK, FRITZ, 1917: Morphologie der Südabdachung des böhmischen

Erzgebirges. Mitteilungen der k. k. Geographischen Gesellschaft in Wien, 60. Band, S. 235 - 244, S. 273 - 316.

MACHATSCHEK, FRITZ, 1955: Das Relief der Erde. Versuch einer regionalen Morphologie der Erdoberfläche. I. Band, II. Band. Berlin-Nikolassee.

MÄGDEFRAU, K., 1929: Geologischer Führer durch die Trias um Jena. Jena.

MÄGDEFRAU, K., 1931: Zur Morphologie und phylogenetischen Bedeutung der fossilen Pflanzengattung *Pleuromeia*. Beihefte zum Botanischen Centralblatt, Band XLVIII, Zweite Abteilung, S. 119 - 140.

MÄGDEFRAU, KARL, 1953 (2. vermehrte und verbesserte Auflage): Paläobiologie der Pflanzen. Jena.

MÄGDEFRAU, KARL, 1977: Karsten, Hermann. Neue Deutsche Biographie, 11. Band, S. 305/306 (Online-Version).

MANTELL, GIDEON, 1825: Notice on the Iguanodon, a newly discovered fossil reptile, from the sandstone of Tilgate forest, in Sussex. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, S. 179 - 186.

MARCOU, JULES, 1897: The Jurassic Wealden (Tithonian) of England. Science, N. S. Vol. V, No. 108, January 22, S. 149 - 152.

MARTIN, HENNO, 1970: Hans Cloos. - In: Bonner Gelehrte. Beiträge zur Geschichte der Wissenschaften in Bonn. Mathematik und Naturwissenschaften, S. 171 - 182. Bonn.

MASON, BRIAN, 1973: Chemistry of the moon's surface. Chemistry of Britain, Volume 9, Number 10, October, S. 456 - 461.

MAYER, ALFRED, 1926: Über einige Zusammenhänge zwischen Klima und Boden in Europa. Chemie der Erde, 2. Band, S. 209 - 347.

MAYER, CHARLES, 1985: Ore Metals Through Geologic History. Science, Volume 227, Number 4693, 22 March, S. 1421 - 1428.

MAYR, E., 1984: Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt. Vielfalt, Evolution, Vererbung. Übersetzt von K. DE SOUSA FERREIRA. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo. - Original: The Growth of Biological Thought. Harvard University Press ...

MAYR, HELMUT, 1929: Oppel, Albert. Neue Deutsche Biographie, 19. Band, S. 556 / 557.

McLEAN, DEWEY M., 1978: A Terminal Mesozoic "Greenhouse": Lessons from the Past. Science, Volume 201, 4 August, S. 401 - 406.

McMILLAN, EDWIN M., 1968: Nobel Laureates in Physics and Chemistry. 1. Physics. Science, Volume 162, 8 November, S. 645/646.

MEHNERT, KARL RICHARD, 1965: Petrologie. - In: Zum gegenwärtigen Stand von Naturwissenschaft und Medizin, in Übersichten gegeben von Mitgliedern der Leopoldina aus Anlaß der 65. Wiederkehr des Geburtstages des XXII. Präsidenten KURT MOTHEs. Nova Acta Leopoldina, Neue Folge, Nummer 173, Band 30, S. 113 - 122.

MEINARDUS. WILH., 1912: Beobachtungen über Detritussortierung und Strukturboden auf Spitzbergen. Diskussion über Bodenfluß. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, Nr. 4, S. 250 -259.

MENDENHALL, W. C., 1919 / 1920: Memorial of Grove Karl Gilbert. Bulletin of the Geological Society of America, Vol. 31. New York 1920. S. 26 - 64.

MERTENS, ERICH, 1955: Morphologische Vorgänge im Kreidegebiet der Halberstädter Mulde. Veröffentlichungen des Städtischen Museums zur Geschichte von Natur und Gesellschaft der Stadt Halberstadt. Halberstadt.

MEYER, FRIEDRICH, 1818: Bemerkungen auf einer Reise durch Thüringen, Franken, die Schweiz, Italien, Tyrol und Bayern, im Jahre 1816. Berlin und Stettin.

MEYER, HANS, 1890: Ostafrikanische Gletscherfahrten. Forschungsreisen im Kilimandscharo-Gebiet. Leipzig.

MEYER, HERMANN L., 1916: Verwitterungslagerstätten. Zeitschrift für praktische Geologie, 24. Jahrgang, Heft 6, Juni, S. 127 - 136.

MEYER, HERMANN L. F., 1917: Klimazonen der Verwitterung und ihre Bedeutung für die jüngste geologische Geschichte Deutschlands. Geologische Rundschau, 7. Band, S. 193 - 248.

MICHAEL, R., 1914: Eduard Suess †. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, B. Monatsberichte, 66. Band, Nr. 1. S. 260 - 264.

MICHAEL, 1927: J. Korn †. Jahrbuch der Preußischen Geologischen Landesanstalt zu Berlin, Band XLVIII, S. XXXVII - XLIII. Berlin 1928.

Zu MIDDENDORFF, 1844: Nachtrag zu Middendorffs Reise. Das Ausland, Nr. 99, 8. April, S. 395 / 396.

- MIETHE, A., 1912: Über Karreebodenformen auf Spitzbergen. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. S. 241 - 244.
- MILCH, L., 1910: Die heutigen Ansichten über Wesen und Entstehung der kristallinen Schiefer. Geologische Rundschau, 1. Band, S. 36 - 58.
- MILCH, L., 1914: Rosenbusch, Harry. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, B. Nr. 3, S. 129 - 161.
- MILDENBERGER, GERHARD, 1950: Mitteldeutschlands Ur- und Frühgeschichte. Leipzig.
- MILLER, HUGH, 1841: The Old Red Sandstone. Edinburgh.
- MILLER, HUGH, 1857: The Testimony of the Rocks, or, Geology in its Bearings on the two theologies, natural and revealed. Edinburgh.
- MILLER, STANLEY L. and HAROLD C. UREY, 1959: Organic Compound Synthesis on the Primitive Earth. Science, Volume 130, No. 3370, 31 July, S. 245 - 251.
- MOHR, FRIEDRICH, 18752: Geschichte der Erde. Ein Lehrbuch der Geologie auf neuer Grundlage. Bonn. - Erste Auflage war 1866.
- MOJSISOVICS, EDMUND von, 1869: Ueber die Gliederung der oberen Triasbildungen der östlichen Alpen. Jahrbuch der k. k. geologischen Reichsanstalt, 19. Band, S. 12 ff.
- MOJSISOVICS, EDMUND von, 1874: Faunengebiete und Faciesgebilde der Trias - Periode in den Ost - Alpen. Wie vor., 24. Band, 1. Heft, S. 81 ff.
- MOJSISOVICS, EDMUND von, 1875: Über die Ausdehnung de südosttirolischen Dolomitstöcke. Sitzungsberichte der K. Akademie der Wissenschaften, Wien, LX-XI. Band, I. Abtheilung, Mai, 18 Seiten.
- MOJSISOVICS von MOJSVÁR, EDMUND, 1879: Die Dolomit - Riffe von Südtirol und Venetien. Beiträge zur Bildungsgeschichte der Alpen. Wien.
- MOLISCH, HANS, 1933: Pflanzenchemie und Pflanzenverwandtschaft. Jena.
- MÖLLER, RUDOLF, 1972: Hoff, Karl von: Neue Deutsche Biographie, Band 9, S. 386 / 387.
- MONASTERSKY, RICHARD, 2015: The human age. Nature, Volume 519, 12 March, S. 144 - 147.
- MORDZIOL, C., 1910: Ein Beweis für die Antezedenz des Rheindurchbruchstals

nebst Beiträgen zur Entwicklungsgeschichte des Rheinischen Schiefergebirges. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, S. 77 - 92, 159 - 173.

MORDZIOL. C., 1937: "Differential-Isostasie" Eine Diskussionsanregung. Geologische Rundschau, 28. Band, S. 413 - 424.

MORO, ANTON LAZZARO, 1751: Neue Untersuchung der Veränderungen des Erdbodens, Nach Anleitung der Spuren von Meerthieren und Meergewächsen, die auf den Bergen, und in trockener Erde gefunden werden. Leipzig.

MORRELL, JACK, 2004: Phillipps, John. Oxford Dictionary of National Biography, Volume 32, S. 120 - 122.

MORTENSEN, HANS, 1932: Blockmeere und Felsburgen in den deutschen Mittelgebirgen. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, S. 279 - 287.

MORTENSEN, HANS, 1944: Sechzig Jahre moderne geographische Morphologie. Jahrbuch der Akademie der Wissenschaften in Göttingen 1943 / 1944, S. 33 - 77.

MORTENSEN, HANS, 1950: Das Gesetz der Wüstenbildung. Teilabdruck von Vortrag ... Universitas, 5, 7, S. 801 - 814.

MÜCKENHAUSEN, EDUARD, 1936: Die deutschen Bodentypen nach dem heutigen Stande der Bodentypenlehre. Geologische Rundschau, 27. Band. S. 129 - 155.

MÜCKENHAUSEN, E., 1953: Fossile Böden in der nördlichen Eifel. Sonderband, 41. Band. S. 253 - 268.

MÜNNICH, K. O., 1960: Die C14 - Methode. Geologische Rundschau, 49. Band, Heft 1, S. 237 - 244.

MURAWSKI, HANS, 1964: Fazies. Eine Einleitung zu den, E. BEDERKE gewidmeten, Arbeiten dieses Heftes. Geologische Rundschau, 54. Band, Heft 2. S. 585 - 591.

MURCHISON, RODERICK IMPEY, 1835: On the Silurian system of Rocks. The London and Edinburgh Philosophical Magazine and Journal of science, Vol. VII, S. 46 - 52.

MURCHISON, R. I. and H. E. STRICKLAND, 1837: On the Upper Formations of the New Red Sandstone System in Gloucestershire, Worcestershire, and Warwickshire; showing that the Red or Saliferous Marls, including a peculiar Zone of Sandstone, represent the "Keuper" or "Marnes Irisées"; with some account of the underlying Sandstone of Ombersley Bromsgrove, and Warwick, proving it is

the "Bunter Sandstein" or "Grès Bigarré" of Foreign Geologists. Transactions of the Geological Society of London, Second Series, Vol. V, Part the First, S. 331 - 347.

MURCHISON, RODERICK IMPEY, 1841: First Sketch of some of the principal Results of a Second Geological Survey of Russia. The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of science, Third Series, December, S. 417 ff.

MURCHISON, RODRERICK IMPEY and M. E. DE VERNEUIL, 1845: On the Permian System as developed in Russia and other Parts of Europe. The Quarterly Journal of the Geological Society of London, Volume the First, S. 81 - 87.

MURCHISON, RODERICK IMPEY, 1846: On the Superficial Detritus of Sweden, and on the Probable Causes which have affected the Surface of the Rocks in the Central and Southern portions of that kingdom. The Quarterly Journal of the Geological Society of London, Volume the Second (II), Part the First. Proceedings of the Geological Society. S. 349 - 381.

MURCHISON, RODERICK IMPEY, 1847: On the Meaning originally attached to the term "Cambrian System", and on the evidences since obtained of its being geologically synonymous with the previously established term "Lower Silurian". The Quarterly Journal of the Geological Society of London, Volume the Third (III), Part the First. Proceedings of the Geological Society. S. 165 - 179.

MURCHISON, RODERICK IMPEY, 1849 a: On the Geological Structure of the Alps and Carpathians, more especially to prove a transition from Secondary to Tertiary Rocks, and the development of Eocene deposits in Southern Europe. The Quarterly Journal of the Geological Society of London, Vol. V, Part the First: Proceedings of the Geological Society. S. 157 - 309.

MURCHISON, RODERICK IMPEY, 1849 b: On the Paleozoic Deposits of Scandinavia and the Baltic Provinces of Russia, and their relations to Azoic or more ancient crystalline Rocks; with an account of some great features of dislocation and metamorphosis along their northern frontiers. The Quarterly Journal of the geological Society of London, Volume the Fifth, Part the First. Proceedings of the Geological Society. S. 467 -494.

MURCHISON, RODERICK IMPEY, 1849 c: On the Development of the Permian System in Saxony, as communicated by Professor NAUMANN to Sir RODERICK IMPEY MURCHISON. The Quarterly Journal of the Geological Society of London. Volume the Fifth (V), Part the First. Proceedings of the Geological Society, S. 1 - 4.

MURCHISON, R. I.: Mehrere Arbeiten zusammen mit ADAM SEDGWICK, wo der Name SEDGWICKs an erster Stelle steht. Siehe unter 'SEDGWICK'.

NÄHER, SEBASTIAN, NAOHIKO OHKOUCHI, 2017: Pigmente - Indikatoren für Umweltveränderungen. Nachrichten aus der Chemie, 65, Januar, S. 16 - 20.

NATHORST, A. G., 1902: Zur Oberdevonischen Flora der Bären - Insel. Kungliga Svenska Vetenskaps - Akademiens Handlingar. Ny Földj. Band 30, No. 3, S. 1 - 53 + Tafeln.

NAUMANN, CARL FRIEDRICH, 1846: Elemente der Mineralogie. Leipzig.

NAUMANN, C. F., 1848: Über die Felsenschliffe der Hohburger Porphyryberge unweit Wurzen. Berichte über die Verhandlungen der Kgl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig, 1, S. 392 - 410.

NAUMANN, CARL FRIEDRICH, 1850, 1854: Lehrbuch der Geognosie. 1. Band, Leipzig 1850; 2. Band, Leipzig 1854.

NAUMANN, C. F., 1851: Ueber die Fortschritte der Geognosie im Gebiete der Sedimentärformationen nach Werner's Tode. Vortrag gehalten am Wernerfeste zu Freiberg den 25. September 1850. Freiberg.

NAUMANN, 1852: Herr Naumann an Herrn L. v. Buch. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, IV, S. 245 / 246.

NEEF, ERNST, 1960: Albrecht Penck und die Eiszeitforschung in Norddeutschland. Vortrag, gehalten am 10. Oktober 1958 im Geographischen Kolloquium in Leipzig anlässlich der 100. Wiederkehr des Geburtstages von Albrecht Penck. Wissenschaftliche Veröffentlichungen des Deutschen Instituts für Länderkunde, Neue Folge 17 / 18, S. 6 - 15,

NEUKIRCHEN, FLORIAN, 2011, 3. März: Kaukasus. Im Internet.

NEUMAYR, M., 1880: Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch - naturwissenschaftliche Classe, 40. Band, S. 213 - 313.

NEUMAYR, M., 1883: Über klimatische Zonen während der Jura - und Kreidezeit. Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch - naturwissenschaftliche Classe. 47. Band. S. 277 - 310.

NEUMAYR, M., 1887: Ueber die Beziehung zwischen der russischen und der west-europäischen Juraformation. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie, I. Band, S. 70 - 88.

NEUMAYR, M., 1890: Kritische Bemerkung über die Verbreitung des Jura. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie, 1. Band, S. 140 - 160.

- NIEMCZYK, OSKAR, 1939: Die Arbeiten der Deutschen Island-Expedition 1938. Geologische Rundschau, 30. Band, S. 312 - 314.
- NIEUWENKAMP, W., 1965: Geschichtliche Entwicklung der heutigen petrogenetischen Vorstellungen. Geologische Rundschau, 55. Band. S. 460 - 478.
- NIEUWENKAMP, W., 1968: Oceanic and continental basalts in the geochemical cycle. Geologische Rundschau, 57. Band, Heft 2, S. 362 - 372.
- NIGGLI, PAUL, 1921: Das Magma und seine Produkte. Die Naturwissenschaften, 9. Jahrgang, Heft 24, 17. Juni, S. 463 - 471.
- NIGGLI, PAUL, 1924: Professor Dr. Ulrich Grubenmann. 1850 - 1924. Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, 105. Jahresversammlung vom 1. bis 4. Oktober 1924 in Luzern, S. 5 - 29.
- NIGGLI, PAUL, 1937: Das Magma und seine Produkte unter besonderer Berücksichtigung seiner leichtflüchtigen Bestandteile. I. Teil: Physikalisch-Chemische Grundlagen. 1937.
- NIGGLI, PAUL, 1949: Probleme der Naturwissenschaften erläutert am Begriff der Mineralien. Basel.
- NÖLKE, FR., 1927: Über die Kontraktionshypothese und einige aus ihr fließende Erklärungsmöglichkeiten. Geologische Rundschau, 18. Band, S. 121 - 131.
- NÖLKE, FRIEDRICH, 1932: Die vorgeologische Entwicklung der Erde als Schlüssel zum Verständnis der geologischen Entwicklung. Gerlands Beiträge zur Geophysik. Band 37, S. 252 - 270.
- NÖLKE, FRIEDRICH. 1939: Ursächlichkeit in der Großtektonik. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 91, S. 140 - 151.
- NÖLKE, FRIEDRICH, 1941: Zum Problem der Eiszeiten. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 93, S. 142 - 147.
- NOELLNER, C., 1867: Ueber die Entstehung der Salpeter- und Boraxlager in Peru. Journal für praktische Chemie, 102, S. 459 - 464.
- NORMAN; NINA, 2016: Explosive science. Chemistry World, August, S. 58 - 61.
- OBRUTSCHEW, W. A., 1928: Noch einige Worte zur Systematik der Erzlagertstätten. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Abteilung A, S. 143 - 146.

OCHSENIUS, CARL, 1888: Einige Angaben über die Natronsalpeter-Lager landeinwärts von Taltal in der chilenischen Provinz Atacama. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, XL. Band, S. 153 - 165.

OCHSENIUS, CARL, 1893: Bedeutung des orographischen Elementes "Barre" in Hinsicht auf Bildungen und Veränderungen von Lagerstätten und Gesteinen. Zeitschrift für praktische Geologie, mit besonderer Berücksichtigung der Lagerstättenkunde, Mai, S. 189 - 201.

OCHSENIUS, C., 1898: Ueber Barrenwirkungen. Verhandlungen der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte, 69. Versammlung zu Braunschweig, 20. - 25. September 1897, Zweiter Theil, 1. Hälfte, S. 196 - 198.

OCHSENIUS, CARL, 1902: Das Gesetz der Wüstenbildung von Johannes Walther - Berlin 1900. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie, S. 551 - 562, 577 - 590, 620 - 633.

OCHSENIUS, CARL, 1903: Die Entstehung von Salz und Gyps durch topographische oder klimatische Ursachen. Centralblatt für Mineralogie, geologie und Palaeontologie, S. 416 - 420.

OCHSENIUS, CARL, 1905: Laken als Bildner von Erzlagerstätten. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, 57. Band, S. 567 - 570.

OLAFSEN, EGGERT, 1774: Des Vice-Lavmands Eggert Olafsens und des Landphysici Bjarne Povelsens Reise durch Island, veranstaltet von der Königlichen Societät der Wissenschaften in Kopenhagen und beschrieben von dem bemeldtem Eggert Olafsen. Aus dem Dänischen übersetzt. Erster Theil. Kopenhagen und Leipzig.

OLDROYD, DAVID R., 1985: An Episode in Geology. Science, Vol. 230, 25 October, S. 432/433. - Ist Rezension von RUDWICK, MARTIN J. S., 1985: The Great Devonian Controversy. The Shaping of Scientific Knowledge Among Gentlemanly Specialists. University of Chicago Press. Chicago.

OLDROYD, DAVID, 1999: Early Ideas About Glaciation in the English Lake District: The Problem of Making Sense of Glaciation in a Glaciated Region. Annals of Science, 56, S. 175 - 203.

OLDROYD, DAVID, 2004 a: Geikie, Sir Archibald. Oxford Dictionary of National Biography, Volume 21, S. 721 - 723.

OLDROYD, DAVID, 2004 b: Ramsay, Sir Andrew Crombie. Oxford Dictionary of National Biography, Volume 45, S. 914 / 915.

OPPEL, ALBERT, 1856 - 1858: Die Juraformation Englands, Frankreichs und

des Südwestlichen Deutschlands, nach ihren einzelnen Gliedern eingetheilt und verglichen. Stuttgart.

OPPEL, ALBERT, 1865: Die tithonische Etage. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, XVII (17). Band, S. 535 - 558.

OSBORN, H. F., 1926: The Problem of the Origin of Species as it appeared to Darwin in 1859 and as it appeared to us to-day. Science, LVIV, No. 1658: 337 - 341.

OSPOVAT, ALEXANDER, 1976: Werner, Abraham Gottlob. Dictionary of Scientific Biography, Volume XIV, S. 256 - 264. New Yoek.

OSPOVAT, DOV, 1977: Lyell's Theory of Climate. Journal of the History of Biology, 10, 2, S. 317 - 339.

OVERBECK, HERMANN, 1953: Joseph Partschs Beitrag zur landeskundlichen Forschung. Zum 100. Geburtstag am 4. Juli 1951. Berichte zur Deutschen Landeskunde, 12, S. 34 - 56.

OEYNHAUSEN, C. von; H. von DECHEN, H. von LA ROCHE, 1825: Geognostische Umrisse der Rheinländer zwischen Basel und Mainz mit besonderer Rücksicht auf das Vorkommen des Steinsalzes. Essen.

PAGE, LEROY, 1969: Diluvialism and Its Critics in Great Britain in the Early Nineteenth Century. - In: SCHNEER (Edit.): Toward on History of geology...Cambridge (Mass.), London (Engl.).

PALISSY, BERNARD, 16. Jh., siehe 1957: The admirable Discourses. Translated by AURÉLE LA ROCQUE. University of Illinois Press / Urbana.

PALLAS, P. S., 1778 / 1986: Betrachtungen über die Beschaffenheit der Gebürge und Veränderungen der Erdkugel, besonders in Beziehung auf das Rußische Reich. Vorgelesen in der öffentlichen Versammlung der Rußisch - Kaiserl. Akademie der Wissenschaften den 23ten Junius 1777, ... Frankfurt und Leipzig. - Neu herausgegeben mit Erläuterungen von FOLKWART WENDLAND, Ostwalds Klassiker, Leipzig 1968.

PANZER, WOLGANG, 1953: Fritz Klute (29. 11. 1885 - 7. 2. 1952). Gedächtnisrede, gehalten bei der Akademischen Trauerfeier am 7. Mai 1952 in der Aula der Johannes-Gutenberg-Universität zu Mainz. Petersmann Geographische Mitteilungen, 97, S. 169 - 173.

PANZER, PANZER, 1957: Gießener Geographen. - In. Ludwigs-Universität Justus Liebig-Hochschule, Festsschrift zur 350-Jahrfeier. S. 341 - 346.

PARROT, FRIEDRICH, neu 1985 (2. Auflage), Original 1844: Reise zum Ararat. Herausgegeben und mit einem Nachwort versehen von MARIANNE und WERNER STAMS. Leipzig.

PARTSCH, JOSEPH, 1882: Die Gletscher der Vorzeit in den Karpathen und den Mittelgebirgen Deutschlands nach fremden und eigenen Beobachtungen...Breslau.

PARTSCH, JOSEPH, 1904: Die Eiszeit in den Gebirgen Europas zwischen dem nordischen und dem alpinen Eisgebiet. Geographische Zeitschrift, 10. Jahrgang, 12. Heft, S. 657 ff.

PARTSCH, JOSEPH, 1927: s. H. WALDBAUR.

PASSARGE, S., 1912: Über die Abtragung durch Wasser, Temperaturgegensätze und Wind, ihren Verlauf und ihre Endformen. Geographische Zeitschrift, 18. Jahrgang, S. 79 - 98.

PASSARGE, SIEGFRIED, 1926: Morphologie der Klimazonen oder Morphologie der Landschaften? 89. Tagung der "Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte" in Düsseldorf 19. - 26. September 1926 - Abteilung X: Geographie. - In: Dr. A. Petermanns Mitteilungen aus Justus' Perthes Geographischer Anstalt, 72. Jahrgang, S. 173 -175. Gotha.

PASSARGE, S., 1941: Die ägyptische Urlandschaft und die Wiege der ägyptischen Kultur. Geographische Zeitschrift, 47. Jahrgang, Heft 4, S. 180 - 187.

PATERSON, JOHN R.; DIEGO C. GARCIA-BELLIDO, MICHAEL S. Y. LEE, GLENN A. BROCK, JAMES B. JAGO & GREGORY D. EDGECOMBE, 2011: Acute vision in the giant Cambrian predator Anomalocaris and the origin of compound eyes. Nature, Voume 480, 8 December, S. 237 - 240.

PAWLAK, ALEXANDER, 2018: Höhenflüge und driftende Kontinente. ... Alfred Wegener ... Physik Journal 17, Nr, 4.

PAWLAK, ALEXANDER, 2019: "Apollo hat unseren Blick auf das Sonnensystem massiv verändert" Interview mit dem Planetologen Ralf Jaumann zur Mondforschung vor und nach Apollo 11. Physik Journal 18, Nr. 7, S.

PENCK, ALBRECHT, 1879: Die Geschiebformation Norddeutschlands. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, XXXI. (31) Band, S. 117 ff.

PENCK, ALBRECHT, 1882: Die Vergletscherung der deutschen Alpen, ihre Ursachen, periodische Wiederkehr und ihr Einfluss auf die Bodengestaltung. Gekrönte Preisschrift. Leipzig.

PENCK, ALBRECHT, 1883: Einfluß des Klima's auf die Gestalt der Erdober-

fläche. Verhandlungen des 3. Deutschen Geographentages zu Frankfurt a. M., 29., 30. und 31. März 1883. S. 78 - 92.

PENCK, ALBRECHT, 1884: Ueber Periodicität der Thalbildung. Verhandlungen der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, Band XI, S. 39 - 59.

PENCK, ALBRECHT, 1889: Das Endziel der Erosion und Denudation. Verhandlungen des Achten Deutschen Geographentages zu Berlin am 24., 25. und 26. April 1889. S. 91 - 100. Berlin.

PENCK, A., 1903: Einleitung zu Glazialexkursion in die Ostalpen. Unter Führung von A. PENCK und E. RICHTER. (Zum IX. Internationalen Geologen-Kongreß in Wien. Sonderdruck).

PENCK, ALBRECHT, 1906: Süd-Afrika und Sambesifälle. Vortrag, gehalten auf der Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Stuttgart am 21. September 1906. Geographische Zeitschrift, 12. Jahrgang, 11. Heft, S. 601 - 611.

PENCK, ALBRECHT, 1900: Die Eszeiten Australiens. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, Band XXXV (35), S. 239 - 286.

PERTY, MAXIMILIAN, 1879: Erinnerungen aus dem Leben eines Natur- und Seelenforschers. Leipzig und Heidelberg.

PETERS, SHANAN E. & ROBERT R. GAINES, 2012: Letter. Formation of the 'Great Unconformity' as a trigger for the Cambrian explosion. Nature, Vol. 484, 19 April, S. 363 - 366.

PETTIJOHN, FRANCIS J., 1977: Lawson, Andrew Cowper. Dictionary of American Biography, Supplement V, S. 415 - 417.

PFANNENSTIEL, MAX, 1940: Zum zweihundertsten Geburtstage des ersten Alpengeologen, Horace Benedict de Saussure. Geologische Rundschau, 31. Band, S. 83 - 90.

PFANNENSTIEL, MAX, 1948: Letzte Erinnerung an Wilhelm Salomon - Calvi (1868 - 1941). Geologische Rundschau, 35. Band, S. 42 - 45.

PFANNENSTIEL, MAX, 1970 a: Die Entstehung einiger tektonischer Grundbegriffe. Ein Beitrag zur Geschichte der Geologie. Geologische Rundschau, Band 50, I, S. 1 - 35.

PFANNENSTIEL, MAX, 1970 b: Das Meer in der Geschichte der Geologie. Geologische Rundschau, Band 60, Heft 1, S. 3 - 72.

PFANNENSTIEL, MAX, 1972 / 1973: Der fossile Mensch in der Geschichte der Geologie. Jahrbuch für Erforschung des Eiszeitalters und der Steinzeit. Bonn. S. 1

- 19.

PFEIFFER, WILHELM, 1934: Hundert Jahre "Trias". Dem Gedächtnis des Berggrats Friedrich von Alberti. Schwäbisches Heimatbuch. Stuttgart.

PHILIPPI, E., 1907: Ueber Dolomitbildung und chemische Abscheidung von Kalk in heutigen Meeren. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, S. 397 - 445.

PHILIPPI, E., 1908: Ueber die permische Eiszeit. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, S. 353 - 362.

PHILIPPI, E. 1910: Ueber einige paläoklimatische Probleme. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, XXIX. Beilage-Band, S. 106 - 179.

PHILIPPI, E., 1910 b: Über die präoligocäne Landoberfläche in Thüringen. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, S. 305 - 404.

PHILLIPSON, 1919: Die Lehre vom Formenschatz der Erdoberfläche als Grundlage der geographischen Wissenschaft. Geographische Abend im Zentralinstitut für Erziehung und Unterricht. Zweites Heft. Berlin.

PIA, JULIUS, 1926: Pflanzen als Gesteinsbildner. Berlin.

PIA, JULIUS, 1933: Kohlensäure und Kalk. Einführung in das Verständnis ihres Verhaltens in Binnengewässern. - Die Binnengewässer. Einzeldarstellungen aus der Limnologie und ihre Nachbargebieten., Band XIII. Stuttgart.

PIA, J., 1940: Übersicht über die fossilen Kalkalgen und die geologischen Ergebnisse ihrer Untersuchung. Vortrags-Zusammenfassung. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 92, S. 607 / 608.

PIEL, GERARD, 1968: Introductory Remarks to Symposium on Gondwanaland revisited: New Evidence for Continental Drift. Proceedings of the American Philosophical Society, Vol. 112, No. 5, October, S. 307 / 308.

PIETZSCH, KURT, 1913: Verwitterungserscheinungen der Auflagerungsfläche des sächsischen Cenomans. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, B Monatsberichte, N.r 11, S. 594 - 602.

PIETZSCH, KURT, 1917: Das Elbtalschiefergebirge südwestlich von Pirna. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 69. Band, S. 177 - 286.

PIETZSCH, KURT, 1951: Abriss der Geologie von Sachsen. Berlin.

PIETZSCH, KURT, 1962: Geologie von Sachsen (Bezirke Dresden, Karl-Marx-Stadt und Leipzig). Berlin.

PIETZSCH, KURT. s. a. A. WURM 1962.

PILET, P. E., 1975: Scheuchzer, Johann Jakob. Dictionary of Scientific Biography, Vol., XII, S. 159, New York.

PIPERMO, D. R.; J. E. MORENO, J. IRIARTE, I. HOLST, M. LACHNIET, J. G. JONES, A. J. RANERE and R. CATANZO, 2007: Late Pleistocene and Holocene environmental history of the Iguala Valley, Central Balsas Watershed of Mexico. PNAS, Volume 104, no. 29, July 17, S. 11874 - 11881.

P., muß sein: POGGENDORFF, 1831: Ueber den Guano. Annalen der Physik und Chemie ... C. POGGENDORFF, 21. Band, der ganzen Folge 97. Band, S. 604 - 607.

PÖLKING, HERMANN, 2013 (vorher 2012 Berlin-Brandenburg: Ostpreußen. Biographie einer Provinz. Augustburg.

POLUTOFF, N., 1940: Pioniere geologischer Forschung in Rußland. Geologische Rundschau, 31. Band, S. 457 - 487.

POMPECKJ, 1915: Gedenkrede auf Adolf von Koenen. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, B. Monatsberichte, Nr. 12, S. 229 - 268.

POMPECKJ, J. F., 1919: Fritz Frech. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie. S. I - XXXVIII.

POMPECKJ, J. F., 1920: Kupferschiefer und Kupferschiefermeer. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 72. Band, S. 329 - 339.

POMPECKJ, J. F., 1924: Über die Lückenhaftigkeit der paläontologischen Überlieferung. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften, XXVI (23. 10.), S. 275.

POMPECKJ, JOSEF FELIX, 1925: Umwelt, Anpassung und Beharrung im Lichte erdgeschichtlicher Überlieferung. Rede zum Antritt des Rektorats der Friedrich - Wilhelms - Universität zu Berlin am 15. Oktober 1925. Berlin.

POMPECKJ, 1928 a: Wilhelm von Branca. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften, Philosophisch - Historische Klasse, S. CXIV - CXXXVII.

POMPECKJ, J. F., 1928: Ein neues Zeugnis uralten Lebens. Erweiterte Ausführung der bei der Göttinger Tagung der Palaeontologischen Gesellschaft gegebenen Mitteilung. Palaeontologische Zeitschrift, IX. Band, S. 287 - 313 + Tafel 5.

PORTER, ROY, 1973: The Industrial Revolution and the Rise of the Science of Geology. - In M. TEICH and R. YOUNG (Edit.): Changing Perspectives in the History of Science. London.

- PORTER, R. S., 1978: George Hoggart Toulmin and James Hutton. A fresh book. (book von Gordon L. Davies 1967). Geological Society of America Bulletin, v. 89, August, S. 1256 - 1258.
- POSER, HANS, 1953: Wilhelm Meinardus. Petersmanns Geographische Mitteilungen, 97, S. 241 - 245.
- POSER, HANS, 1964: Hans Mortensen. Jahrbuch der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, S. 135 - 142.
- POTONIÉ, H., 1895 / 1896: Ueber Autochthonie von Carbonkohlen - Flötzen und des Senftenberger Braunkohlen - Flötzes. Jahrbuch der Königlich Preussischen Landesanstalt und Bergakademie zu Berlin für das Jahr 1895, Band XVI, S. 1 - 31.
- POTONIÉ, H., 1896: Die floristische Gliederung des deutschen Carbon und Perm. Herausgegeben von der Königlich Preussischen geologischen Landesanstalt. Berlin.
- POTONIÉ, H., 18: Bericht über Vortrag: Ueber die durch Pflanzenfossilien gegebenen Belege für die fortschreitende höhere Organisation der Pflanzen. Band XVI, Nr. 8, S. 84 - 87.
- POTONIÉ, H., 1899: Pflanzen und geologische Formationen. Naturwissenschaftliche Wochenschrift, XIV. Band, Nr. 52, 24. December, S. 609 - 616.
- POTONIÉ, H., 1907: Historisches zur Frage nach der Genesis der Steinkohle. Naturwissenschaftliche Wochenschrift, Neue Folge VI. Band, der ganzen Reihe XXII. Band, Nr. 8, 24. Februar, S. 113 - 117.
- PRAESENT, HANS, 1926: Joseph Partsch zum Gedächtnis. Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft in München, 19, S. 202 - 211.
- PRESCHER, HANS, 1969: Johann Gottlob Lehmann (1719 - 1767). Sächsische Heimatblätter. Heft? S. 274 - 277.
- PRIESNER, CLAUS, 1994: Mojsisovics Edler von Mojsvár, Edmund. Neue Deutsche Biographie, 17. Band, S. 718 / 719.
- PRIESTLEY, JOSEPH, 1775: Experiments and Observations on different Kinds of Air. Vol. II. London. Darin S. 29 - 61: Section III, Of Dephlogisticated Air, and of the constitution of the Atmosphere.
- QUECK, DIETMAR, 1974: Großformen und Granitvergrusung im Kirchberger Granitgebiet. Sächsische Heimatblätter, 20. Jahrgang, Heft 2, S. 75 - 80.
- QUENSTEDT, FR. AUG., 1852: Handbuch der Petrefaktenkunde. Tübingen.

- QUENSTEDT, FRIEDRICH AUGUST, 1858: Der Jura. Tübingen.
- QUENSTEDT, WERNER, 1953: Ampferer, Otto. Neue Deutsche Biographie, 1, S. 257 – 259.
- QUENSTEDT, WERNER, 1955: Bittner, Alexander. Neue Deutsche Biographie, 2, S. 281 / 282.
- QUENSTEDT, WERNER, 1955: Branca (bis 1907 Branco), Karl Wilhelm Franz von. Neue Deutsche Biographie, 2, S. 514 / 515.
- QUIRING, HEINRICH, 1936: Herkunft, Aussprache und Schreibung des Wortes "Löß". Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, BAnd 88, S. 250 / 251.
- QUIRING, HEINRICH, 1948. Die irdische Mondnarbe. Forschungen und Fortschritte, 24. Jahrgang, Heft 17/18, September, S. 211 - 214.
- QUIRING, HEINRICH, 1953: Weötkörperentstehung. Eine Kosmogonie auf geologischer Grundlage. Petermanns Geographische Mitteilungen, Ergänzungsheft 4.
- QUIRING, HEINRICH, 1955: Berendt, Gottlieb Michael. Neue Deutsche Biographie, 2, S. 69 / 70.
- RAMANN, E., 1918: Bodenbildung und Bodeneinteilung (System der Böden). Berlin.
- RAMSAY, ANDREW C., 1853: On the Physical Structure and Succession of some of the Lower Palaeozoic Rocks of North Wales, and part of Shropshire. The Quarterly Journal of the Geological Society of London, Volume the Ninth, S. 161 - 176.
- RAMSAY, ANDREW C., 1855: On the Occurence of Angular, Subangular, Polished and Striated Fragments and Boulders in the Permian Breccia of Shropshire, Worcestershire & on the probable Existence of Glaciers and Icebergs in the Permian Epoch. The Quarterly Journal of the Geological Society of London, 11, S. 185 - 205.
- RAMSAY, A. C., 1862: On the Glacial Origin of certain Lakes in Switzerland, the Black Forest, Great Britain, Sweden, North America. Proceedings of the Geological Society, Mar. 6, S. 185 - 204.
- RAMSAY, A. C., 1864: On the Erosion of Valleys and Lakes; a Reply to Sir Roderick Murchison's Anniversary Address to the Geographical Society. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, Vol. XXVIII - Fourth Series, July - December. S. 293 - 311.

RAMSAY, A. C., 1871: On the Red Rocks of England of older date than the Trias. The Quarterly Journal of the Geological Society of London, Volume the Twenty-Seventh/27, S. 241 - 256.

RANGE, PAUL, 1940: Der Internationale Geologenkongreß in Moskau 1937. Geologische Rundschau, 31. Band, S. 508 - 518.

RASPE, R. E., 1774: Beytrag zur allerältesten und natürlichen Historie von Hessen; oder Beschreibung des Habichtswaldes und verschiedener andern Niederheßischen alten Vulcane in der Nachbarschaft von Cassel. Cassel.

RATH, G. von, 1873: Geognostisch-mineralogische Fragmente aus Italien. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, XXV. Band, S. 117 - 248.

RATZEL, FRIEDRICH, 1887: Pallas, Peter Simon. Allgemeine deutsche Biographie, XXV. Band, S. 81 - 98.

RAUMER, KARL von, 1819: Das Gebirge Nieder-Schlesiens, der Grafschaft Glatz und eines Theils von Böhmen und der Ober - Lausitz, geognostisch dargestellt... Berlin.

REAUMUR, von, s. 1751: Von dem ausgegrabenen Muschelwerk in Touraine. Der Königl. Akademie der Wissenschaften in Paris Physische Abhandlungen, 6. Theil, welcher die Jahre, 1719, 1720, 1721 und 1722 in sich hält. Aus dem Französischen übersetzt von WOLF BALTH. ADOLPH von STEINWEHR, ... Breslau 1751. S. (Vorrede "Historie" S. 236) / 240 - 237.

RECK, HANS, 1912 / 1913: Die morphologische Entwicklung der süddeutschen Schichtstufenlandschaft im Lichte der Davis' schen Cyclustheorie. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 64. Band, 1912, Berlin 1913, S. 81 - 232.

RECK, HANS, 1924 (1925): Die Kräftegruppen des Vulkanismus und der Tektonik und ihre gegenseitigen Beziehungen. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, A. Abhandlungen, 76. Band, 1. und 2. Heft, S. 115 - 137.

RECK, HANS, 1936: Santorin. Der Werdegang eines Inselvulkans und sein Ausbruch 1925 - 1928. In drei Bänden. Band I: Die Geologie der Ring - Inseln und der Kaldera von Santorin. Berlin.

REHFUESS, KARL-EUGEN, 2003: Ramann, Emil Otto Paul Bruno. Neue Deutsche Biographie, Band 21, S. 126 / 127.

REICHHOLF, JOSEF H., 1996: Comeback der Biber. Ökologische Überraschungen. München.

REIMER, PAULA J., 2012: Refining the Radiocarbon Time Scale. Science, Volume

338, 19 October, S. 337/338.

REINHARD, WOLFGANG, 1983: Geschichte der europäischen Expansion. Band 1 Die Alte Welt bis 1918. Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz-

REISS, WILHELM, 1921: Reisebriefe aus Südamerika 1868 - 1876. Aus dem Nachlasse herausgegeben und bearbeitet von KARL HEINRICH DIETZEL. Wissenschaftliche Veröffentlichungen der Gesellschaft für Erdkunde zu Leipzig. München und Leipzig.

REITEBUCH, OLIVER und BENJAMIN WITSCHAS, 2014: Über den Wolken. Laser-Fernerkundg in der Atmosphäre. Physik Journal, 13, Nr. 5, S. 25 - 31.

REMANE, ADOLF, 1952: Die Grundlagen des natürlichen Systems, der vergleichenden Anatomie und der Phylogenetik. Leipzig.

RETALLACK; GREGORY J., 2013: Ediacaran life on land. Nature, Volume 493, 3 January, S. 85 ff. - Einwände von SHUHAI XIAO und von L. PAUL KNAUTH, Nature, Volume 493, 3 January, S. 28/29.

REUSS, AUGUST EM., 1845 - 46: Die Versteinerungen der böhmischen Kreideformation. Mit Abbildungen der neuen oder weniger bekannten Arten. Stuttgart.

REUSS, AUGUST EM., 1855: Beiträge zur Charakteristik der Tertiärschichten des nördlichen und mittleren Deutschlands. Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. Mathematisch - Naturwissenschaftliche Classe, XVIII (18) Band, S. 197 ff.

REUSS, A. E., 1863: Beiträge zur Kenntniss der tertiären Foraminiferen - Fauna. (Zweite Folge). Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch - Naturwissenschaftliche Classe, 48, S. 36 ff.

RICHTER, MAX, 1948 a: Die Entwicklung der Anschauungen über den Bau der deutschen Alpen. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 100, S. 338 - 347.

RICHTER, MAX, 1948 b: Die größte Reliefüberschiebung der nördlichen Kalkalpen zwischen Rhein und Donau, Geologische Rundschau, 35. Band, S. 166 / 167.

RICHTER, RUD., 1928: Emanuel Kayser †. Geologische Rundschau, 19, S. 155 - 160.

RICHTER - BERNBURG, GERHARD, 1953: Über salinare Sedimentation. Nach Vortrag auf der Tagung der Deutschen Geologischen Gesellschaft am 14. Mai 1953.

Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 105, S. 593 - 645.

RICHTHOFEN, FERDINAND Freiherr von, 1860: Geognostische Beschreibung der Umgegend von Predazzo, Sanct Cassian und der Seisser Alpe. Gotha.

RICHTHOFEN, F. Baron, 1868: Mittheilungen von der Westküste Nordamerikas. I. Die natürliche Gliederung und der innere Zusammenhang der vulkanischen Gesteine. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, 4. Heft, S. 663 - 726 (Fortsetzung folgt).

RICHTHOFEN, von, 1874: Ueber Mendola-Dolomit und Schlern-Dolomit. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, XXVI. Band, S. 225 - 256.

RICHTHOFEN, FERDINAND Freiherr von, 1886: Führer für Forschungsreisende. Anleitung zu Beobachtungen über Gegenstände der physischen Geographie und Geologie. Berlin.

RINK, H., 1884: Die neueren dänischen Untersuchungen in Grönland. Petermann's Geographische Mittheilungen, S. 41 - 46.

RINNE, FRIEDRICH, 1913: Hermann Credner. Nekrolog gesprochen in der öffentlichen Gesamtsitzung beider Klassen der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig am 14. November 1913. Berichte über die Verhandlungen der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig, Mathematisch-Physische Klasse. 65. Band, S. 387 - 408.

RISMILLER, P., 1995: Australiens geheimnisvolle Echidna. Naturwissenschaften, 52, S. 551 - 556.

RITTMANN, A., 1928: Moderne Probleme der Vulkanologie. Die Naturwissenschaften, Heft 24, 15. Juni, S. 491 - 493.

RITTMANN, A., 1939: Über die Herkunft der vulkanischen Energie und die Entstehung des Sials. Geologische Rundschau, 30. Band, S. 52 - 60.

RITTMANN, A., 1960 (2. umgearbeitete und erw. Auflage): Vulkane und ihre Tätigkeit. Stuttgart.

RITZKOWSKI, SIEGFRIED, 1994: Geowissenschaftler der Albertus-Universität in Königsberg. - In: Die Albertus-Universität zu Königsberg und ihre Professoren. Aus Anlaß der Gründung der Albertus-Universität vor 450 Jahren. Jahrbuch der Albertus-Universität zu Königsberg/Pr. S. 743 - 745.

ROCQUE, AURÈLE LA, 1957: s. PALISSY.

RODOLICO, FRANCESCO, 1970: Arduino (or Arduini), Giovanni. Dictionary of Scientific Biography, Vol. I, New York, S. 233 / 234.

RODOLICO, FRANCESCO, 1975: Scilla, Agostino. Dictionary of Scientific Biography, Vol. XII, New York, S. 256 / 257.

ROGERS, HENRY DARWIN, 1857: On the Correlation of the North American and British Palaeozoic Strata. Report of the Twenty-Sixth Meeting of the British Association for the Advancement of Science. Held at Cheltenham in August 1856. S. 175 - 186.

ROHDENBURG, H. und B. MEYER, 1968: Zur Datierung und Bodengeschichte mitteleuropäischer Oberflächenböden (Schwarzerde, Parabraunerde, Kalksteinbraunlehm). Spätglazial oder Holozän? Göttinger Bodenkundliche Berichte, 6, S. 127 - 212.

RÖHLING, HEINZ-GERD; CARMEN HEUNISCH, 2010: Der Buntsandstein. Eine lebensfeindliche Wüste oder doch mehr. Biologie in unserer Zeit, 4 (40); S. 268 - 277.

ROMER, ALFRED SHERWOOD, 1968: Fossils and Gondwanaland. Proceedings of the American Philosophical Society, Vol. 112, No. 5, October, S. 335 - 343.

ROEMER, CARL FERDINAND, 1844: Das Rheinische Übergangsgebirge. Eine palaeontologisch - geognostische Betrachtung. Hannover.

ROEMER, F., 1862: Ueber die Diluvial-Geschiebe von nordischen Sedimentär-Gesteinen in der norddeutsche Ebene und im Besonderen über die verschiedenen durch dieselben vertretenen Stockwerke oder geognostischen Niveaus der palaeozoischen Formation. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, XIV. Band, S. 575 - 637.

ROEMER, FERDINAND, 1885: Lethaea erratica oder Aufzählung und Beschreibung der in der Norddeutschen Ebene vorkommenden Diluvial-Geschiebe nordischer Sedimentärgesteine. Palaeontologische Abhandlungen 2. Band, Heft 5, Berlin.

ROEMER, FERD., 1889: H. v. Dechen. Leopoldina, S. 155 – 157, 178 – 182, 195 – 197, 207 – 210.

ROEMER, FRIEDRICH ADOLPH, 1841: Die Versteinerungen des Norddeutschen Kreidegebirges. Hannover.

ROSENBUSCH, HARRY, 1882: Ueber das Wesen der körnigen und porphyrischen Structur bei Massengesteinen. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie. Band 2, S. 5 - 17.

ROSENBUSCH, HARRY, 1891: Ueber Structur und Classification der Eruptivgesteine. Tschermak's Mineralogische und Petrographische Mittheilungen, Neue

Folge 12. Band, S. 351 - 396.

ROSS, Sir JAMES CLARK, 1847: Entdeckungsreise nach dem Südpolarmeere in den Jahren 1839 - 1843. Deutsch von JULIUS SEYBT. Leipzig.

ROTH, 1871 / 1872: Über die Lehre vom Metamorphismus und die Entstehung der krystallinen Schiefer. Abhandlungen der königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Aus dem Jahre 1871. S. 151 - 232.

ROTH, JUSTUS, 1879, 1887: Allgemeine und chemische Geologie. Erster Band, Berlin 1879. Zweiter Band, Berlin 1887.

ROTHPLETZ, 18: Schafhäütl, Karl Emil. Allgemeine Deutsche Biographie, LIII, S. 729 - 731.

RUDWICK, MARTIN J. S., 1966: Lyell on Etna, and the Antiquity of the Earth. In: CECIL J. SCHNEER (Edit.): Toward a History of Geology. Cambridge (Mass.) and London (Engl.) 1966.

RUDWICK, MARTIN J. S., 1971: Uniformity and Progression: Refelections on the Structure of Geological Theory in the Age of Lyell. - In: ROLLER, D. H. D. (Edit.): Perspectives in the History of Science and Technology. University of Oklahoma Press. S. 209 - 227.

RUDWICK, M. J. S., 1973: Lonsdale, William. Dictionary of Scientific Biography, Vol. VIII, New York. S. 486.

RUDWICK, M. J. S., 19: Miller, Hugh. Dictionary of Scientific Biography, Vol. , New York. S. 388 - 390.

RUDWICK, M. J. S., 1974: Murchison, Roderick Impey. Dictionary of Scientific Biography, Vol. IX, New York, S. 583 - 585.

RUDWICK, M. J. S., 19: Prévost, Louis - Constant. Dictionary of Scientific Biography, Vol., New York, S. 133 / 134.

RUDWICK, M. J. S., 1975 a: Sedgwick, Adam. Dictionary of Scientific Biography, Vol. XII, New York. S.276 - 279.

RUDWICK, MARTIN J. S., 1975 b: Caricature as a Source for the History of Science: De la Beche's Anti - Lyellian Sketches of 1831. Isis, Vol. 66, No. 234, S. 534 - 560.

RUDWICK, MARTIN J. S.; s. OLDROYD, DAVID R. 1985.

RUTTEN, M. G., 1962: The Geological Aspects of the Origin of Life on Earth. Amsterdam, New York.

QUIRING, HEINRICH, 1961: Die Bedeutung der Meteore für das Werden der Weltkörper. Forschungen und Fortschritte, 35. Jahrgang, Heft 9, September, S. 260 - 262.

S-s, F. W., 1963: Roemer, Karl Ferdinand. Dictionary of American Biography, Volume VIII, S, 91/92.

SALOMON, W., 1917: Die Bedeutung der Solifluktion für die Erklärung deutscher Landschafts- und Bodenformen. Geologische Rundschau, 7. Band, S. 30 - 41.

SALOMON, WILHELM, 1918: Tote Landschaften und der Gang der Erdgeschichte. Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften. Mathematisch - naturwissenschaftliche Klasse. 1. Abhandlung.

SALOMON, W., 1924 a: Die Intensitäten alluvialer und diluvialer geologischer Vorgänge und ihre Einwirkung auf die pliocäne Rumpffläche des Kraichgaues und Odenwaldes. Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Mathematisch - naturwissenschaftliche Klasse, 3. Abhandlung.

SALOMON, W., 1924, 1925: Grundzüge der Geologie, Band I: Allgemeine Geologie, Stuttgart 1924; Band II: Erdgeschichte, Stuttgart 1925.

SALOMON, WILHELM, 1926: Gibt es Gesteine, die für bestimmte Erdperioden charakteristisch sind? Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, mathematisch - naturwissenschaftliche Klasse, 9. Abhandlung.

SALOMON - CALVI, WILHELM, 1933 a: Die permokarbonischen Eiszeiten. Leipzig.

SALOMON - CALVI, WILHELM, 1933: Die Bedeutung der Bodenschätze und Bodenformen für Deutschlands politische, kulturelle und wirtschaftliche Entwicklung. Rede bei der Reichsgründungsfeier der Universität am 18. Januar 1933. Heidelberger Universitätsreden 19. Heidelberg.

SAMOJLOFF, J., 1922: Paläophysiologie (Paläobiochemie) und ihre geologische Bedeutung. Vortrag gehalten auf der Hautversammlung in Breslau am 30. Juli 1922. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Nr. 1, S. 227 - 244.

SAPPER, KARL, 1905: In den Vulcangebieten Mittelamerikas und Westindiens. Stuttgart.

SAPPER, K., 1912: Über Fließerde und Strukturboden auf Spitzbergen. Diskussion über Bodenfluß. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, Nr. 4, S. 259 - 270.

SAPPER, K., 1913: Erdfließen und Strukturboden in polaren und subpolaren Ge-

bieten. Geologische Rundschau, 4. Band, S. 103 - 115.

SAPPER, KARL, 1927: Vulkankunde. Petrographische Einleitung von A. BERGEAT. Stuttgart.

SARTORIUS, 1880: Der Aetna. Nach den Manuscripten des verstorbenen Dr. Wolfgang Sartorius, Freiherrn von Waltershausen - herausgegeben, selbständig bearbeitet und vollendet von Dr. ARNOLD von LASCAUX. 1. Band: Reisebeschreibung Sartorius' und Geschichte der Eruptionen. Leipzig 1880. - 2. Band: 1880.

SAUER, DANIELA; MARKUS FUCHS, KARL STAHR, 2014: Bodenentwicklung auf Strandsedimenten in Süd-Norwegen. GMT/Geowissenschaftliche Mitteilungen, Nr. 55, März, S. 45/46.

SAURAMO, MATTI, 1943: Naturwissenschaftliche Forschungen in Kola und Ostkarelien. Quartärgeologie. Geologie, 15 : 19, S. 18 - 24.

SAUSSURE, HORATIUS BENEDICTUS von, 1781: Reisen durch die Alpen, nebst einem Versuche über die Naturgeschichte der Gegenden von Genf. Aus dem Französischen übersetzt und mit Anmerkungen bereichert. 1. Theil. 2 Theil. Leipzig.

SCHAFHÄUTL, EMIL, 1845: Die neuesten geologischen Hypothesen und ihr Verhältniß zur Naturwissenschaft überhaupt. Gelehrte Anzeigen, herausgegeben von Mitgliedern der k. bayer. Akademie der Wissenschaften, Nr. 69, 5. April, Spalte 557 ff.

SCHARDT, H., 1906: Die modernen Anschauungen über den Bau und die Entstehung des Alpengebirges. Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, 89. Jahres-Versammlung vom 29. Juli bis 1. August 1906 in St. Gallen. S. 308 - 344.

SCHAUFELBERGER, P., 1959. Grundlagen der Bodenlehre. Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, Jahrgang 104, 31. März, S. 49 - 72.

SCHERZ, GUSTAV. 1976: Stensen, Niels. Dictionary of Scientific Biography, Volume XIII, New York, S. 30 - 35.

SCHEUCHZER, JOHANN JACOB, 1731: Kupfer - Bibel / In welcher die Physica Sacra, oder Geheiligte Natur - Wissenschaft Derer In Heil. Schrift vorkommenden Natürlichen Sachen / Deutlich erklärt und bewährt. Augspurg und Ulm.

SCHEUMANN, K. H., 1934: Das gegenwärtige Verhältniß von Mineralogie und Geologie. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 86, S. 481 - 483.

SCHEUMANN, K. H., 1939: Franz Kossmat. Nachruf gesprochen in der öffentlichen Gesamtsitzung beider Klassen am 17. Juni 1939. Berichte über die Verhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Mathematisch-Physische Klasse, 91. Band, III, S. 195 – 212.

SCHEUMANN, KARL HERMANN, 1944: Die deutsche Petrographie in den letzten zehn Jahren. Forschungen und Fortschritte, 20. Jahrgang, Nr. 13/14/15, Mai, S. 113 - 117.

SCHICK, M., 1952: Ferdinand von Wolff †. Petermanns geographische Mitteilungen, 96, S. 189.

SCHIDLOWSKI, MANFRED und CHRISTIAN JUNGE, 1973: Die Evolution der Erdatmosphäre. Physikalische Blätter, 29. Jahrgang, S. 203 - 212.

SCHIFFNER, C., 1940: Aus dem Leben alter Freiburger Bergstudenten und der Lehrkörper der Bergakademie. Dritter Band. Freiberg.

SCHINDEWOLF, OTTO H., 1948: Einhundert Jahre Paläontologie (Paläozoologie). Ein Rückblick auf ihre Entwicklung in Deutschland. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 100, S. 67 - 93.

SCHINDEWOLF, OTTO H., 1957: Tektonische Triebkräfte der Lebensentwicklung? Geologische Rundschau, Band 45, S. 1 - 17.

SCHINDEWOLF, OTTO H., 1958: Zur Aussprache über die großen erdgeschichtlichen Faunenschnitte und ihre Verursachung. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte, S. 270 - 279.

SCHLEIFENBAUM, W., 1908: Das Schwefelkies-Vorkommen am Grossen Graben bei Elbingerode im Harz. Jahrbuch der Königlich Preussischen Geologischen Landesanstalt und Bergakademie in Berlin für das Jahr 1905. S. 406 - 417.

SCHLOTHEIM, ERNST FRIEDRICH von, 1804: Beschreibung merkwürdiger Kräuter-Abdrücke und Pflanzen-Versteinerungen. Gotha.

SCHLOTHEIM, von, 1813: Beiträge zur Naturgeschichte der Versteinerungen in geographischer Hinsicht. Taschenbuch für die gesammte Mineralogie, ... LEONHARD, 7. Jahrgang, 1. Abtheilung, S. 3 - 134. Frankfurt a. M.

SCHLOTHEIM, ERNST FRIEDRICH von, 1820 a: Die Petrefactenkunde auf ihrem jetzigen Standpunkte. Gotha.

SCHLOTHEIM, ERNST von, 1820 b: Beyträge zur Naturgeschichte der Versteinerungen in geognostischer Hinsicht. Denkschriften der Königlichen Academie der

Wissenschaften zu München für die Jahre 1816 und 1817, Band VI, Classe der Mathematik und Naturwissenschaften, S. 13 - 36.

SCHMIDT, CHRISTIAN / LUDWIG ZÖLLER, 2016: Luminezenzdatierung als Schlüssel zur Vergangenheit. *Chemie unserer Zeit*, 50, S. 188 - 197.

SCHMIEDER, MARTIN & ELMAR BUCHNER, 2013: Impakrereignisse in Europa. *Zeitschrift Deutsche Gesellschaft für Geowissenschaften*, 164, 3, S. 387 - 415.

SCHMITTHENNER, HEINRICH, 1916: Der Himalaja. *Geographische Zeitschrift*, 22. Jahrgang, 5. Heft, S. 249 - 269.

SCHMITTHENNER, HEINRICH, 1919: Die chinesische Lößlandschaft. *Geographische Zeitschrift*, 25. Jahrgang, S. 308 - 322.

SCHMITTHENNER, H., 1933: Probleme aus der Lößmorphologie in Deutschland und in China. *Geologische Rundschau*, Sonderband, für Salomon-Calvi. S. 205 - 217.

SCHMITTHENNER, HEINRICH, 1956: Die Entstehung der Geomorphologie als geographische Disziplin (1869 - 1905). *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 100, S. 257 - 268.

SCHMITZ, BIRGER, 2012: How a world came to be. Birger Schmitz reveals in a account of how life and rock evolved together on Earth. - Rezension zu: HAZEN, ROBERT M., 2012: *The Story of Earth*. Viking Books. *Nature*, Vol. 485, 3 May, S. 39.

SCHNEER, CECIL J. (Edit.), 1969: *Toward a History of Geology*. Proceedings of the New Hampshire Inter - Disciplinary Conference on the History of Geology, September 7 - 12. Cambridge (Mass.) and London (Engl.).

SCHNEER, CECIL J., 1972: Gressly, Amanz. *Dictionary of Scientific Biography*, Volume V, S. 533 / 534. New York.

SCHNEIDER, OTTO, 1929: Nachruf auf Otto von Linstow. *Jahrbuch der Preussischen Geologischen Landesanstalt zu Berlin*, Band L (50), Teil II, S. LXXXV - CII.

SCHNEIDERHÖHN, HANS, 1962 (4. Auflage): *Erzlagerstätten*. Jena.

SCHÖNBEIN, CHRISTIAN FRIEDRICH, 1842: *Mittheilungen aus dem Reisetagebuche eines deutschen Naturforschers*. Basel.

SCHOTT, CARL, 1932: Das Problem des Dauerfrostbodens in den Randgebieten des norddeutschen Inlandeises. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde* zuz

Berlin, S. 287 - 299.

SCHREITER, RUDOLF, 1937: Otto Stutzer. XVI. Bericht (...) der Freiburger Geologischen Gesellschaft, S. 6 – 9.

SCHRÖTER, JOHANN SAMUEL, 1774 und folgende Jahre: Vollständige Einleitung in die Kenntniß und Geschichte der Steine und Versteinerungen. Erster Theil 1774, Altenburg; zweiter Theil 1776, Altenburg; dritter Theil, 1778, Altenburg.

SCHRÖTER, JOHANN SAMUEL, 1775: Georg Christian Füchsel. In: Journal für die Liebhaber des Steinreichs und der Konchyliologie, 2. Band, Weimar. S. 54 - 53, 505 - 507.

SCHUCHERT, CHARLES, 1938: Biographical Memoir of Othnie. Charles Marsh 1831 - 1899. National Academy of Sciences of the United States of America Biographical Memoirs, Volume XX, S. 1 - 78.

SCHWARZBACH, MARTIN, 1934: Das Cambrium der Oberlausitz. Abhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Görlitz, 32. Band, 2. Heft, S. 7 - 54.

SCHWARZBACH, MARTIN, 1936: Oberlausitzer Schiefergebirge und Boberkatzbachgebirge - ein stratigraphisch-tektonischer Vergleich. Abhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Görlitz, 1811 - 1936, Jubiläumsheft, 32. Band, Heft 3, S. 31 ff.

SCHWARZBACH, MARTIN, 1949: Fossile Korallenriffe und Wegeners Drifthypothese. Die Naturwissenschaften, 36. Jahrgang, Heft 8, S. 229 - 233.

SCHWARZBACH, MARTIN, 1957: Karl von Raumer (1788 - 1865) Breslaus erster Geologieprofessor. Kölner Geologische Hefte, Heft 6, Köln.

SCHWARZBACH, MARTIN, 1961: Das Klima der Vorzeit. Eine Einführung in die Paläoklimatologie. Zweite vollständig neubearbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart.

SCHWEIZER, CLAUDIA, 2008: Stratigraphy in the early nineteenth century: a transdisciplinary approach, with special reference to Central Europe. Annals of Science, Volume 65, No. 2, 2, April, S. 257 - 274.

SCOTT, E. L., 1979: Kirwan, Richard. Dictionary of Scientific Biography, Volume VII, S. 387 - 390, New York.

SDZUY, KLAUS, 1958: Tiergeographie und Paläographie im europäischen Mittelkambrium. Geologische Rundschau, 47. Band, S. 450 - 462.

SEBASTIAN, ULRICH, 2001: Mittelsachsen. Geologische Exkursionen. Gotha.

SECKENDORFF, VON, 1863: Zur Frage, ob Hebung oder Senkung bei dem Entwicklungsgange unserer Erde vorwaltend thätig gewesen sind. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, XV (15), S. 281 - 290.

SEDERHOLM, J. J., 1910: Einige Probleme der präkambrischen Geologie von Fennoskandia. Geologische Rundschau, 1. Band, S. 126 - 135.

SEDGWICK, A., 1829: On the Geological Relations and internal Structure of the Magnesian Limestone, and the lower Portions of the New Red Sandstone Series in their Range through Nottinghamshire, Derbyshire, Yorkshire, and Durham, to the Southern Extremity of Northumberland. Transactions of the Geological Society of London. Second Series, Volume III, Part the First. S. 37 - 124.

SEDGWICK, A. and RODERICK I. MURCHISON, 1830: A Sketch of the Structure of the Austrian Alps. The Philosophical Magazine and Annals of Philosophy, New Series, Vol. 8, August, S. 81 -134.

SEDGWICK, ADAM, 1835: Remarks on the Structure of large Mineral Masses, and especially on the Chemical Changes produced in the Aggregation of Stratified Rocks during different Periods after their Depositions. Transactions of the Geological Society of London. Second Series, Volume III, Part the Third. S. 461 - 486.

SEDGWICK, ADAM and RODERICK IMPEY MURCHISON, 1840: On the Physical Structure of Devonshire, and on the Subdivisions and Geological Relations of its older stratified Deposits, &c. Transactions of the Geological Society of London. Second Series. Volume V. Part the Third. S. 633 - 703.

SEDGWICK, ADAM and RODERICK IMPEY MURCHISON, 1842: On the Distribution and Classification of the older or Palaeozoic Deposits of the North of Germany and Belgium, and their comparison with Formations of the same age in the British Isles. Transactions of the Geological Society of London. Second Series. Volume VI. S. 221 ff.

SEDGWICK, A., 1847: On the Classification of the Fossiliferous Slates of North Wales, Cumberland, Westmoreland and Lancashire...The Quarterly Journal of the Geological Society of London, Volume the Third. Part the First. Proceedings of the Geological Society. S. 133 - 164.

SEEBACH, KARL von, 1864: Der Hannoversche Jura. Berlin.

SEEBACH, C. v., 1866 / 1867: Ueber den Vulkan von Santorin und die Eruption von 1866. Abhandlungen der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Physikalische Classe. 13. Band, von den Jahren 1866 und 1867. S. 3 - 81. Göttingen 1868.

- SEEBACH, KARL von, 1868: Ueber die Entwicklung der Kreideformation im Ohmgebirge. Nachrichten von der königl. Gesellschaft der Wissenschaften und der G. A. Universität zu Göttingen, Januar 8, No. 1, S. 128 ff.
- SEFSTRÖM, 1836: Ueber die Spuren einer sehr großen urweltlichen Fluth. Annalen der Physik und Chemie ... POGGENDORFF, 38, 8, S. 614 - 618.
- SEIDLITZ, WILFRIED von, 1920: Revolutionen in der Erdgeschichte. Jena.
- SEIDLITZ, W. von, 1921: Tektonische Beziehungen der Münchberger Gneismasse zum Erzgebirge und nördlichen Böhmerwald. Geologische Rundschau, 12. Band, S. 270 - 292.
- SEIDLITZ, W. von, 1925: Die Vergitterung tektonischer Achsen im Bauplan Thüringens. – Beiträge zur Geologie von Thüringen, 1. Band, 1. Heft. Jena.
- SEIDLITZ, W. von, 1932: Füchsel - Goethe - Hoff. Eröffnungsansprache zur Hauptversammlung der Deutschen Geologischen Gesellschaft in Jena am 5. August 1932. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 84, S. 663 - 673.
- SELLEY, RICHARD C.; L. ROBIN, M. COCUS, JAN R. PLIMER (Edit.), 2005: Encyclopedia of Geology. Volume Four. Amsterdam, Boston, Heidelberg.
- SEMPER, MAX, 1911: Bemerkungen über Geschichte der Geologie und daraus resultierende Lehren. Geologische Rundschau, 2. Band, S. 263 - 277.
- SENDTNER, OTTO, 1854: Die Vegetations-Verhältnisse Südbayerns ... München.
- SESTINI, FAUSTO, 1873: Historisches über die Absorptionskraft des Bodens. Landwirtschaftliche Versuchstationen, Band XVI, S. 409 - 411.
- SHEETS-PYENSON, SUSAN, 2004: Dawson, Sir John William. Oxford Dictionary of National Biography, Volume 15, S. 562 – 564.
- SHOR, ELIZABETH NOBLE, 1974: Marsh. Othniel Charles. Dictionary of Scientific Biography, Volume IX, S. 134.
- SHORR, PHILIP, 1935: Isis, Vol. XXIII, 2, No. 66, S. 425 - 443.
- SIEGFRIED, PAUL, 1940: Die geologische Erforschung der Baltischen Länder. Geologische Rundschau, Band 31, Heft 7/8, S. 488 - 494.
- SIHLER, H., 1929: Blautopf und Karsthydrographie. Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg, 85. Jahrgang, S. 210 - 241.
- SIMPKINS, DIANA M., 1976: Thomas, Hugh Hamshaw. Dictionary of Scientific Biography, Volume VI, S. 345 / 346, New York..

SIMPSON, GEORGE GAYLORD, 1985: Extinction. Proceedings of the American Philosophical Society, Vol. 129, No. 4, S. 407 - 416.

SLOANE, HANS, 1752, für 1727: Abhandlung von denen, in der Erde gefundenen Zähnen und andern Knochen des Elephanten. Der Königl Akademie der Wissenschaften in Paris Physische Abhandlungen, Achter Theil, welche die Jahre, 1727, 1728, 1729, 1730 in sich hält. Aus dem Französischen übersetzt von WOLFBALTH. ADOLPH von STEINWEHR, der Königl. Akademie der Wissenschaften in Berlin Mitgließe. S.3/4 'Historie' (= Vorwort), S. 5 - 35. Breslau.

SMITH, CROSBIE, 1989: William Hopkins and the shaping of Dynamical Geology: 1830 1860. British Journal History of Science, 22, S. 27 - 52.

SOLGER, F., 1910: Neuere Beobachtungen an brandenburgischen Talsanddünen. Monatsberichte der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Nr. 1, S. 31 - 40.

SONDER, RICHARD A., 1922: Die erdgeschichtlichen Diastrophismen im Lichte der Kontraktionslehre. Geologische Rundschau, 13. Band, S. 217 - 272.

SOERGEL, W., 1916: Die atlantische "Spalte". Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, B, Monatsberichte, S. 200 - 239.

SOERGEL, W., 1921: Die Ursachen der diluvialen Aufschotterung und Erosion. Berlin.

SOERGEL, W., 1924: Die diluvialen Terrassen der Ilm und ihre Bedeutung für die Gliederung des Eiszeitalters. Jena.

SOERGEL, W., 1928: Apodiden aus dem Chirotherium-Sandstein. Palaeontologische Zeitschrift, Band 10, S. 11 - 40.

SOERGEL, W., 1936: Diluviale Eiskeile. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 88, S. 223 - 247.

SPALLANZANI, LAZZARO, 1795: Reisen in beyde Sicilien und in einige Gegenden der Appenninen. Aus dem Italienischen mit Anmerkungen. Erster Theil. Zweyter Theil. Leipzig.

SPJELDNES, NILS, 1976: Tilas, Daniel. Dictionary of Scientific Biography, Volume XI, S. 409 / 410, New York.

SPENCER, HERBERT, 1883: Progress: Its Law and Cause. In: SPENCER, HERBERT, 1883: Essays: Scientific, Political and Speculative. London. S. 1 - 60.

SPENGLER, ERICH, 1912: Rudolf Hoernes. Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien, V. Band, S. 309 - 323.

- SPERLING, BARBARA, 2005: Rosenbusch, Karl Harry Ferdinand. Neue Deutsche Biographie, Band 22, S. 65 / 66.
- SPREITZER, HANS, 1951: Albrecht Penck. Quartär, 5. Band, S. 109 - 139.
- STÄBLEIN, GERHARD, 1984: In memoriam Julius Büdel (1903 - 1983). Die Erde, 115, S. 177 - 182.
- STAFF, H. v. und H. RASSMUSS, 1911: Zur Morphogenie der Sächsischen Schweiz. Geologische Rundschau, 2. Band, S. 379 - 381.
- STAFF, HANS von, 1914: Die Geomorphologie und Tektonik des Gebiets der Lausitzer Überschiebung. Geologische und Palaeontologische Abhandlungen, Neue Folge, Band 13 (Der ganzen Reihe Band 17.) Heft 2. Jena.
- STAESCHE, K., 1948: Deutsche mikropaläontologische Forschung. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 100, S. 106 - 128.
- STEFFENS, H., 1841: Was ich erlebte. 4. Band. Stuttgart.
- STEGNER, WALLACE, 1971: Dutton, Clarence Edward. Dictionary of Scientific Biography, Volume IV, S. 265 / 266, New York.
- STEINMANN, G., 1910: Die kambrische Fauna im Rahmen der organischen Gesamtentwicklung. (Aus einem Vortrage, der auf dem 11. Internationalen Geologenkongress in Stockholm gehalten worden ist). Geologische Rundschau, 1. Band, S. 69 - 81.
- STEINMANN, G., 1912: Die Bedeutung der neueren Forschungen über die kambrische Tierwelt. Geologische Vereinigung, Vortrag gehalten in der Versammlung zu Frankfurt a. M. am 4. Mai 1912. Geologische Rundschau, 3. Band, S. 578 - 584.
- STEINMANN, G., 1922: Über die junge Hebung der Kordillere Südamerikas. Geologische Rundschau, 13. Band, S. 1 - 8.
- STEINMANN, G., 1928: Über Ganoiden und Knochenfische. Palaeontologische Zeitschrift, IX. Band, S. 9 - 89.
- STENSEN, NIELS, 1669 / 1967: Das Feste im Festen (De Solido intra solidum naturaliter contento dissertationis). Vorläufer einer Abhandlung über Festes, das in der Natur in anderem Festen eingeschlossen ist. Florenz 1669. - Neu herausgegeben: Ostwald's Klassiker der exakten Naturwissenschaften, Neue Folge, Band 3, Frankfurt a. M.
- STEPHENS, C. G., 1988: James Arthur Prescott. Biographic Memoir of Fellows of the Royal Society, Volume 14, S. 640 - 668.

STERNBERG, KASPAR Graf, 1820: Versuch einer geognostischen botanischen Darstellung der Flora der Vorwelt. Erstes Heft. Leipzig und Prag.

STERNBERG, KASPAR Graf, 1868: Leben des Grafen Kaspar Sternberg von ihm selbst beschrieben nebst einem akademischen Vortrag über der Grafen Kaspar und Franz Sternberg Leben und Wirken für Wissenschaft und Kunst in Böhmen. Zur fünfzigjährigen Feier der Gründung des Böhmisches Museums. Herausgegeben von Dr. FRANZ PALACKY'. Prag.

STILLE, HANS, 1909: Das Alter der deutschen Mittelgebirge. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, S. 270 – 286.

STILLE, HANS, 1913: Tektonische Evolutionen und Revolutionen in der Erdrinde. Antrittsvorlesung gehalten am 22. Januar 1913 in der Aula der Universität Leipzig. Leipzig.

STILLE, HANS, 1919: Alte und junge Saumtiefen. Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-physikalische Klasse, S. 337 - 372.

STILLE, HANS, 1920: Über Alter und Art der Phasen variscischer Gebirgsbildung. Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch - physikalische Klasse aus dem Jahre 1920. S. 218 - 224.

STILLE, HANS, 1922 a: Studien über Meeres - und Bodenschwankungen. Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch - physikalische Klasse. S. 83 - 95.

STILLE, HANS, 1922 b: Die Schrumpfung der Erde. Festrede gehalten zur Jahresfeier der Georg August-Universität zu Göttingen am 5. Juli 1922. Berlin.

STILLE, HANS, 1924: Grundfragen der vergleichenden Tektonik. Berlin.

STILLE, HANS, 1929: Zur Einführung in die Phasen der paläozoischen Gebirgsbildung. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 80. Band, S. 1 – 25.

STILLE, HANS, 1936: Franz Beyschlag. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 88, S. 572 - 576.

STILLE, HANS, 1937: Zur saxonischen Tektonik. Vorwort zu H. STILLE, F. LOTZE: Geotektonische Forschungen. Berlin.

STILLE, HANS, 1948: Die kaledonische Faltung Mitteleuropas im Bilde der gesamteuropäischen. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 100, S. 223 - 266.

STILLE, HANS, 1955: Das Verteilungsbild der assyntischen Faltungen. Vorgelegt bei der Plenarsitzung der Deutschen Akademie der Wissenschaften am 11. März 1954. Geologie, Jahrgang 4, Heft 3, Mai.

STOCKMANN, F., 1975: Rames, Jean Baptiste. Dictionary of Scientific Biography, Vol. XI, S. 269 / 270, NewYork.

STOCKMANN, F., 1975 b: Saporta, Louis Charles Gaston de. Dictionary of Scientific Biography, Vol. XII, S. 104 / 105.

STOLLER, J., 1911: Die Beziehungen der nordwestdeutschen Moore zum nacheiszeitlichen Klima. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 62. Band, S. 163 - 189.

STONE, G. JOHNSTONE, 1895: Argon - A Suggestion. The Chemical News, Vol. LXXI, No. 1837, S. 67 / 68.

STRABO, 1. Jh. v. Chr., 1. Jh. n. Chr., deutsch 1855 - 1885: Erdbeschreibung. Übersetzt und durch Anmerkungen erläutert von Dr. A. FORBIGER. 4 Bände. Stuttgart.

STRAUCH, FRIEDRICH, 2004: Katastrophen und Aussterbeereignisse in der Erdgeschichte – zum Stand der Diskussion. Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz, Abhandlungen der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse, Jahrgang 2004, Nr. 1, 29 S.

STRÖBEL, W., 1955: Walter Kranz, gestorben. Jahreshefte des Geologischen Landesamtes in Baden-Württemberg, Band 1, S. 20 – 32.

STROMBECK, A. v., 1831: Aus einem Briefe des Herrn A. v. Strombeck an den Herausgeber, von Nürnberg den 6. August 1831. Archiv für Mineralogie, Geognosie, Bergbau und Hüttenkunde. Herausgegeben von Dr. C. J. B. KARSTEN, 3. Band, S. 537 ff.

STROMER, E., 1903: Ein Beitrag zu den Gesetzen der Wüstenbildung. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, S. 1 - 5.

STROMER, E., 1933: Über Wüsten und Urwüsten nebst Bemerkungen über Aktualismus. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 85, S. 151 - 155.

STÜBEL, ALPHONS, 1897: Die Vulkanberge von Ecuador. Geologisch-topographisch aufgenommen und beschrieben von ... Berlin.

STUTZER, O., 1936: "Meteor Crater" (Arizona) u. Nördlinger Ries. Vortrag ... Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 88, S. 510 - 523. Berlin

1937.

SUN, YADONG; MICHAEL M. JOACHIMSKI, PAUL B. WIGNALL, CHUNBO YAN, YANLONG CHEN, HAISHUI JIANG, LINA WANG, XULONG LAI, 2012: Lethally Hot Temperatures During the Early Triassic Greenhouse. *Science*, Volume 338, 18 October, S. 366 - 370.

SUESS, EDUARD, 1862: Der Boden der Stadt Wien nach seiner Bildungsweise, Beschaffenheit und seinen Beziehungen zum bürgerlichen Leben. Eine geologische Skizze von ... Wien.

SUESS, EDUARD, 1875: Die Entstehung der Alpen. Wien.

SUESS, EDUARD, 1883, 1888, 1901, 1909: Das Antlitz der Erde. 1. Band, 3. Auflage 1908, 2. Band, Wien 1888, Prag, Wien, Leipzig; 3. Band, 1. Hälfte, Prag, Wien, Leipzig 1901; 3. Band 2. Hälfte, Wien, Leipzig 1909.

SUEß, F. E., 1912: Ernst Koken. Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien, V. Band, S. 482 / 483.

SUESS, FRANZ ED., 1933: Zur Synthese des Variszischen Baues. (Gibt es einen ostvariszischen Bogen?). *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, 69. Beilagen-Band, Abteilung B, S. 1 - 34.

T. G. B., 1895: Oldham, Thomas. *Dictionary of National Biography*, Volume XLII (42), S. 111 / 112.

T. G. B., 1895: Ramsay, Sir Andrew Crombie. *Dictionary of National Biography*, Volume XLVII (47), S. 236 – 238.

TAYLOR, FRANK BURSLEY, 1910: Bearing of the Tertiary Mountain Belt on the Origin of the Earth's Plan. *Bulletin of the Geological Society of America*, Volume 21, June 3, S. 179 - 226.

TAYLOR, KENNETH L., 1973: Lamétherie, Jean - Claude de. *Dictionary of Scientific Biography*, Vol. VII, New York, S. 602 - 604.

TEMMLER, HELMUT, 1964: Über die Schiefer- und Plattenkalke des Weißen Jura der Schwäbischen Alb (Württemberg). *Arbeiten aus dem Geologisch-Paläontologischen Institut der Technischen Hochschule Stuttgart*, Neue Folge Nr. 43. Stuttgart.

THACKRAY, ARNOLD, 1971: Daubeny, Charles Giles Bridle. *Dictionary of Scientific Biography*, Vol. III, New York. S. 585 / 586.

THALHEIM, KLAUS, 2004: Zum 125. Todestag von Friedrich Albert Fallou. *Sächsische heimatblätter*, 4, S. 316 – 319.

- THENIUS, ERICH, 1981/1982: Das "Gondwana-Land" Eduard Suess 1885. Der Gondwanakontinent in erd- und biowissenschaftlicher Sicht. Mitteilungen der österreichischen geologischen Gesellschaft, 74/75. (Im Internet).
- THOMAS, H. HAMSHAW, 1925: The Caytoniales, a New Group of Angiospermous Plants from the Jurassic Rocks of Yorkshire. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Vol. 213, S. 299 ff.
- THOMAS, H. HAMSHAW, 1936: Palaeobotany and the Origin of the Angiosperms. The Botanical Review, II, 8.
- THOMASIUS, ROSE, 1974: Moro, Antonio-Lazzaro. Dictionary of Scientific Biography, Volume IX, S. 531 - 534, New York.
- TICKELL, CRISPIN, 1999: Princess of palaeontology. Nature, Volume 400, 22 July, S. 221.
- TIETZ, OLAF & JÖRG BÜCHNER, 2012: Edelsteinzirkone - Zeugen aus dem Erdmantel. Senckenberg - natur . forschung . museum, 142 (1/2), S. 24 - 24.
- TIETZE, E., 1907: Todesanzeige. † Edmund v. Mojsisovics. Verhandlungen der k. k. geologischen Reichsanstalt, Nr. 14, S. 321 - 331.
- TIKHOMIROW, V. V., 1970: Andrusov, Nikolai Ivanovich. Dictionary of Scientific Biography, Volume I, S. 161 - 163.
- TILAS, DANIEL, 1739/1740: Gedanken von der Aufsuchung der Ertze nach Anweisung loser Grausteine. Der Königl. Schwedischen Akademie der Wissenschaften Abhandlungen, aus der Naturlehre, Haushaltungskunst und Mechanik aus dem Jahre 1739 und 1740. Aus dem Schwedischen übersetzt. Erster Band. S. 233 - 237.
- TILTON, G. R. and S. R. HART, 1963: Geochronology. New techniques provide knowledge of the time and mode of formation and subsequent evolution of rock systems. Science, Volume 140, No. 3565, 26 April, S. 357 - 366.
- TOBIEN, HEINZ, 1973: Jaekel, Otto. Dictionary of Scientific Biography, Volume VII, S. 61/ 62, New York.
- TOBIEN, HEINZ, 1974: Orbigny, Alcide Charles Victor Dessalines d'. Dictionary of Scientific Biography, Volume X, S. 221 / 222, New York.
- TOBIEN, HEINZ, 1975: Reck, Hans. Dictionary of Scientific Biography, Volume XI, New York. S. 335 - 336.
- TOIT, ALEX. L. DU, 1954: The Geology of South Africa. Edinburgh, London.

TRÖGER, W. E., 1948: Die Petrographie in Deutschland während der letzten hundert Jahre. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 100, S. 129 - 157.

TSCHERMAK, GUSTAV, 1869: Die Porphyrgesteine Österreichs aus der mittleren geologischen Epoche. Wien.

TSCHERMAK, G., 1877: Über den Vulkanismus als kosmische Erscheinung. Sitzungsberichte der Mathematisch - Naturwissenschaftlichen Classe der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, LXXV. Band, I. Abtheilung, Heft I bis V, S. 151 - 176.

UBAGHS, G, 1975: Schmerling, Philippe-Charles. Dictionary of Scientific Biography, Volume XII, S. 183 / 184, New York.

UHLIG, V., 1890: Melchior Neumayr. Sein Leben und Wirken. Jahrbuch der Kaiserlich-Königlichen Geologischen Reichsanstalt, XL. Band, S. 1 - 20.

ULMER, SIMONE, 2003: Dutzende von Massensterben in der Erdgeschichte. Anhaltendes Rätselraten über die Ursachen. Neue Zürcher Zeitung, Nr. 270, Donnerstag, 20. November, S. 45.

ULMER, SIMONE, 2005: Das Perm-Trias-Artensterben "hausgemacht"? Asteroid als Auslöser immer unwahrscheinlicher. Neue Zürcher Zeitung, Nr. 34, Donnerstag, 10. Februar, S. 47. (Nach: Science 307, 706 - 709, 709 - 714, 2005).

ULRICH, B., 1996: Die historische Entwicklung des Beziehungsgefüges Wald - Mensch - Umwelt in ökosystemarer Sicht. Naturwissenschaften 83, S. 49 - 60.

ULRICHS, MAX; RUPERT WILD, BERNHARD ZIEGLER, 1994: Der Posidonien-Schiefer des unteren Juras und seine Fossilien. Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde, Serie C, Heft 36, S. 1 - 95.

UMBROVE, J. H. F., 1942: The Pulse of the Earth. The Hague.

UREY, HAROLD C., 1952: The Planets Their Origin and Development. New Haven: Yale University Press; London: Oxford University Press.

UREY, H. C., 1953: On the concentration of certain elements at the earth's surface. Proceedings of the Royal Society, Series A, Vol. 219, No. 1138, 22 September, S. 281 - 292.

UREY, H. C.: s. MILLER, STANLEY.

VAGELER, P., 1912: Lateritbildung und Tropen-Klima. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, Nr. 5, S. 381 - 384.

VAN'T HOFF, 1905: Geologisches Thermometer. Zeitschrift für Elektrochemie, XI, 43, S. 709 / 710.

VERNADSKY, W. J., 1930: Geochemie in ausgewählten Kapiteln. Autorisierte Übersetzung aus dem Russischen von Dr. E. KORDES. Leipzig.

VINE, FREDERICK J., 1968: Evidence from Submarine Geology. Proceedings of the American Philosophical Society, Vol. 112, No. 5, October, S. 325 - 334.

VOGEL, RICHARD, 1957: Gebiet Königstein Sächsische Schweiz. Werte der deutschen Heimat, Band 1. Berlin.

VOGELSANG, H., 1867: Philosophie der Geologie und mikroskopische Gesteinsstudien. Bonn.

VOIGT, JOHANN CARL WILHELM, 1794: Mineralogische Beschreibung des Hochstifts Fuld und einiger merkwürdigen Gegenden am Rhein und Mayn. Leipzig.

VOLK, MAX, 1951: Die geologische Erforschung der Restscholle bei Steinheid, Alsbach und Scheibe. Hallesches Jahrbuch für mitteldeutsche Erdgeschichte, 1. Band, Lieferung 3.

VOLLMER, MICHAEL, 2020: Mehr als Blau. Die Farben des Wassers, physikalisch betrachtet. Physik Journal, 19, Nr. 3, S. 38 -45.

WAGENBRETH, OTFRIED, 1964: Fazies und Formation. Eine geologiegeschichtliche Betrachtung. Berichte der Geologischen Gesellschaft in der Deutschen Demokratischen Republik, 9. Band, Heft 1, S. 149 - 158.

WAGENBRETH, OTFRIED, 1966: Zur Frage geologischer Naturgesetze. Berichte der deutschen Gesellschaft geologische Wissenschaften, A, 11, 3, S. 341 - 349.

WAGENBRETH, OTFRIED, 1967 a: Die Entwicklung des geologischen Weltbildes in den letzten 200 Jahren (Zum 150. Todestag des Mitbegründers der Geologie, Abraham Gottlob Werner, am 30. 6. 1967 und zum Tode des Geologen Hans Stille am 26. 12. 1966). Forschungen und Fortschritte, 41. Jahrgang, Heft 12, S. 365 - 371.

WAGENBRETH, OTFRIED, 1967 b: Überlegungen zu sprachlich-nomenklatorischen Problemen in der Geologie und Petrographie. Zur Bedeutung und zum Bedeutungswandel von Sammelbezeichnungen und Eigennamen. Geologie, Jahrgang 16, Heft 9, S. 1053 - 1060.

WAGENBRETH, OTFRIED, 1967 c: Abraham Gottlob Werner und seine Bedeutung für die Entwicklung der geologischen Landesaufnahme und des geologischen

Kartenwesens. Zeitschrift für Angewandte Geologie, Band 13, Heft 7, Juli, S. 372 - 384.

WAGENBRETH, OTFRIED, 1968: Zur Wesensbestimmung der Geologie und zur Frage zunehmender Differenzierung der erdgeschichtlichen Phänomene. Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar, 15. Jahrgang, Heft 1, S. 81 - 83.

WAGENBRETH, O., 1971: Die Rohstofflagerstätten für die Baustoffindustrie der DDR. Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar, 18. Jahrgang, Heft 3/4, S. 402 - 410.

WAGENBRETH, OTFRIED, 1977: Zur Dialektik in der Geologie und geologischen Forschung. Zeitschrift geol. Wiss., 5, 10, S. 1215 - 1233.

WAGENBRETH, OTFRIED, 1979 a: Leopold von Buch (1774 - 1853) und die Entwicklung der Geologie im 19. Jahrhundert. Abhandlungen des Staatlichen Museums für Mineralogie und Geologie zu Dresden, Band 29, S. 41 - 57.

WAGENBRETH, OTFRIED, 1979 b: Der sächsische Mineraloge und Geologe Carl Friedrich Naumann (1797 - 1873). Abhandlungen des Staatlichen Museums für Mineralogie und Geologie zu Dresden, Band 29, S. 313 - 396.

WAGENBRETH, OTFRIED, 1979 c. Konkretisierung und Generalisierung, Komplizierung und Simplifizierung als Faktoren im Entwicklungsgang geologischer Forschung. Zeitschrift geologische Wissenschaften, 7, 1, S. 99 - 110.

WAGENBRETH, OTFRIED, 1985: Bernhard von Cotta (1808 bis 1879) und die Verbreitung geologisch - paläontologischer Kenntnisse. In: Leben und Wirken deutscher Geologen im 18. und 19. Jahrhundert, herausgegeben von M. PRESCHER, S. 247 - 273. Leipzig.

WAGENBRETH, OTFRIED, 1985 b: Der Geraer Gymnasial-Professor Karl Theodor Liebe (1828 bis 1894) und sein Werk in der Geschichte der Geologie. Ebenda, S. 311 - 356.

WAGENBRETH, OTFRIED, 1987: Bernhard von Cottas Beiträge zur geologischen Erforschung der Lausitz. Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseums Görlitz, 60, 2, S. 88 - 96.

WAGENBRETH, OTFRIED, 1999: Geschichte der Geologie in Deutschland. Stuttgart.

WAGNER, GEORG, 1913: Beiträge zur Stratigraphie und Bildungsgeschichte des Oberen Hauptmuschelkalks und der Unteren Lettenkohle in Franken. Geologische

und Paläontologische Abhandlungen, Neue Folge Band 12. (Der ganzen Reihe Band 16). Heft 3. Jena.

WAGNER, GEORG, 1924: Über das Zurückweichen der Stufenränder in Schwaben und Franken. Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen geologischen Vereines, Neue Folge, Band XIII, S. 170 - 175.

WAHNSCHAFTE, F., 18: Die Endmoränen des norddeutschen Flachlandes. Naturwissenschaftliche Wochenschrift, XVI, Nr. 8, S. 87 - 89.

WAHNSCHAFTE, 1898 (1899): Ueber des Vorkommen von Glacialschrammen auf den Culmbildungen des Magdeburgischen bei Hundisburg. Jahrbuch der Kgl. Preussischen geologischen Landesanstalt und Bergakademie zu Berlin für das Jahr 1898, Band XIX. Berlin 1899.

WAHNSCHAFTE, FELIX, 1901: Erinnerung an Otto Torell. Naturwissenschaftliche Wochenschrift, XVI. Band, Sonntag, den 17. Februar, Nr. 7, S. 69 - 73.

WAHNSCHAFTE, FELIX, 1905: Ferdinand Freiherr von Richthofen. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, Monatsberichte, 57. Band, S. 401 - 416.

WAHNSCHAFTE, FELIX, 1912 a: Ferdinand Zirkel. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, B. Monatsberichte, Nr. 7, S. 353 - 363.

WAHNSCHAFTE, F., 1912 b: Nachruf auf Ernst Koken. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, B. Monatsberichte, Nr. 11, S. 551 - 553.

WAHNSCHAFTE, FELIX, 1913: Zum Gedächtnis Hermann Credners. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, B, Nr. 8 / 10, S. 470 - 488.

WALCHNER, FRIEDRICH AUGUST, 1850: Handbuch der Geognosie zum Gebrauche bei seinen Vorlesungen. Karlsruhe.

WALDBAUR, H. (Herausgeber), 1927: Joseph Partsch. Aus fünfzig Jahren. Verlorene Schriften. Mit einer Biographie und vollständiger Bibliographie herausgegeben von H. WALDBAUR. Breslau.

WALLACE, ALFRED R., 1876 in 1879: Streifzüge auf Seitenpfaden des Gebietes der Geologie. Rede vor der biologischen Section der britischen Association zu Glasgow, den 6. September 1876. : In: WALLACE, ALFRED R., 1879: Die Tropenwelt ... Autorisierte Deutsche Übersetzung von DAVID BRAUNS, Braunschweig, S. 261 ff.

WALTER, HEINZ, 1977: Kayser, Emanuel. Neue Deutsche Biographie, Band 11, S. 379 - 381.

WALTHER, JOHANNES, 1887: Die Entstehung von Kantengeröllen in der Galalawüste. Berichte über die Verhandlungen der Kgl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig, Mathematisch-Physik. Classe, 39, S. 133 - 136.

WALTHER, JOHANNES, 1891: Die Denudation in der Wüste und ihre geologische Bedeutung. Untersuchungen über die Bildung der Sedimente in den Ägyptischen Wüsten. Abhandlungen der Mathematisch - Physischen Classe der Kgl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften, 16, S. 343 - 570.

WALTHER, JOHANNES, 1900: Das Gesetz der Wüstenbildung in Gegenwart und Vorzeit. Berlin.

WALTHER, JOHANNES, 1901: Ueber die geologische Thätigkeit des Windes. Naturwissenschaftliche Wochenschrift, XVI, 37, 15. September, S. 431 / 432.

WALTHER, JOHANNES, 1904a: Ueber die Fauna eines Binnensees in der Buntsandsteinwüste. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie, S. 5 - 12.

WALTHER, JOHANNES, 1904b: Estheria im Buntsandstein. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie, S. 195.

WALTHER, JOHANNES, 1926: Georg Schweinfurth in der Wüste. Die Naturwissenschaften, 14, 24, S. 573 - 577.

WALTER, ROLAND, 1995, 6. Auflage: Geologie von Mitteleuropa begründet von Paul Dorn. Stuttgart.

WANNER, JOHANNES, 1930: Gustav Steinmann †. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Abteilung B, S. - 8.

WANNER, J., 1942: Otto Wilckens †. Geologische Rundschau, 33. Band, S. 499 - 506.

WARMINGTON, E. H., 1976: Strachey, John. Dictionary of Scientific Biography, Volume XIII, S. 86 / 87, New York.

WATT, W. G., 1820: Notice regarding the Submarine Remains of a Grove of Fir-Trees in Orkney. The Edinburgh Philosophical Journal, Vol. III, S. 100 - 102.

WATZNAUER, A., 1960: Beiträge zur Kenntnis der varistischen Plutogenese. Abhandlungen der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Klasse für Bergbau, Hüttenwesen und Montangeologie, Nr. 1., S. 62 - 75.

WEBER, HANS, 1955: Einführung in die Geologie Thüringens. Berlin.

WEBER, MAX, 1902: Der Indo-australische Archipel und die Geschichte seiner

Tierwelt. Nach einem Vortrag auf der Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte zu Karlsbad am 22. September 1902 gehalten, in erweiterter Form herausgegeben. Jena.

WEGENER, ALFRED, 1912: Die Entstehung der Kontinente. Geologische Rundschau, 3. Band, S. 276 - 292.

WEGENER, ALFRED; 1929: Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. 4. umgearbeitete Auflage. Braunschweig.

WEGENER, GEORG, 1904: Reisen im Westindischen Mittelemeer. Fahrten und Studien in den Antillen, Colombia, Panama und Costarica. Berlin.

WEGMANN, C. E., 1935: Zur Deutung der Migmatite. Geologische Rundschau, 26. Band, S. 305 - 350.

WEGMANN, EUGEN, 1948: Zur Geschichte der Umwandlungsgesteine. Geologische Rundschau, 36, S. 48 - 50.

WEGMANN, E., 1950: Diskontinuität und Kontinuität in der Erdgeschichte. Geologische Rundschau, 38, S. 125 - 132.

WEGMANN, E., 1952: Entwicklung, von verschiedenen Standpunkten aus gesehen. Geologische Rundschau, Band 40, S. 201 - 210.

WEGMANN, EUGENE, 1975: Sederholm, Johannes Jakob. Dictionary of Scientific Biography, Volume XII, S. 272 - 275. New York.

WEHRLI, HANS, 1956: Wilhelm Deecke. Der Grüner des Geologischen Instituts Greifswald 1886 - 1906. Festschrift zur 500-Jahrfeier der Universität Greifswald 17. 10. 1856, Band II, S. 497/498. Greifswald.

WEIGELT, JOHANNES, 1930 a: Der Lebensgang von Johannes Walther. Leopoldina, Band 6, S. 3 - 10.

WEIGELT, JOHANNES, 1930 b: Vom Sterben der Wirbeltiere. Ein Nachtrag zu meinem Buch "Rezente Wirbeltierleichen und ihre paläobiologische Bedeutung". Leopoldina, Band 6, S. 282 - 340.

WEIKEN, KARL, 1980: Der Tod in Grönland. bild der wissenschaft, 11, S. 87 - 96.

WEISSERMEL, W., 1930: Zum 100. Geburtstag von Ochsénus. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 82, S. 229 - 236.

WEIZSÄCKER, CARL FRIEDRICH von, 1970 (105. - 114. Tausend): Die Geschichte der Natur. Zwölf Vorlesungen. Göttingen.

WERNER, ABRAHAM GOTTLIEB, 1787: Kurze Klassifikation und Beschreibung der verschiedenen Gebirgsarten. Dresden.

WERNER, ABRAHAM GOTTLIEB, 1818: Allgemeine Betrachtungen über den festen Erdkörper. Auswahl aus den Schriften der unter Werner's Mitwirkung gestifteten Gesellschaft für Mineralogie zu Dresden . Erster Band. Leipzig. S. 35 - 56.

WERNER, EUGEN, 1911: Kaiser-Wilhelms-Land. Beobachtungen und Erlebnisse in den Urwäldern Neuguineas. Freiburg im Breisgau.

WERVEKE, LEOPOLD VAN, 1928: Norddeutschland war wenigstens viermal vom Inlandeise bedeckt. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 79. Band, S. 135 - 155.

WESTOLL, T. S., 1965: Geological evidence bearing upon continental drift. A Symposium of Continental Drift. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A, Volume 258, S. 12 - 26.

WETZEL, W., 1939: Ist eine "Thermalhypothese" der Feuersteinbildung möglich? Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 91, S. 231 - 236.

WEVERS, JOYCE, 1972: Haidinger, Wilhelm Karl. Dictionary of Scientific Biography, Volume VI, S. 18 - 20, New York.

WEYL, RICHARD, 1966: Harrassowitz, Hermann Ludwig Friedrich. Neue Deutsche Biographie, Band 7, S. 701/702. (on-line).

WHEELER, WALTER H., 1960: The Uinthathees and the Cope-Marsh War. Science, Vol. 131, S. 1171 - 1176.

WHITE, PAUL, 2012: Darwin, Concepcion and the Geological Sublime. Science in Context, 25 (1), S. 49 - 71.

WHITTINGTON, H. B., 1986: George Gaylord Simpson. Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society, Volume 32, S. 526 - 539.

WICKE, WILH., 1868: Das Phosphoritvorkommen in Nassau. Nachrichten von der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften und G. A. Universität zu Göttingen, Juli 22, No. 13, S. 287 ff.

WILCKENS, OTTO, 1909: Zur Erinnerung an Marcel Bertrand. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, S. 499 - 401.

WILCKENS, OTTO, 1930: Zur Erinnerung an Gustav Steinmann. Palaeontologische Zeitschrift, 12, 1, S. 1 - 5.

- WILCKENS, OTTO, 1938: Die Bedeutung des geologischen Substrats für die Bodenbildung. Geologische Rundschau, 29. Band, S. 545 - 574.
- WILFAHRT, MARTIN, 1934: Strömungserscheinungen im Wellenkalkmeer. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 86, S. 265 - 285.
- WILLIS, BAILEY, 1910: Principles of Paleogeography. Science, N. S., Vol. XXI, No. 790, S. 241 - 260.
- WILSER, J. L., 1930: Lichtwirkung in der Paläobiologie. (Vortragsreferat). Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 82, S. 639.
- WILSON, J. TUZO, 1963: Continental Drift. Scientific American, Volume 208, No. 4, April, S. 86 - 99.
- WILSON, J. TUZO, 1968: Static or mobile Earth: The current Scientific Revolution. Proceedings of the American Philosophical Society, Vol. 112, No. 5, October, S. 309 - 320.
- WILSON, J. T., 1971: Du Toit, Alexander Logie. Dictionary of Scientific Biography, Vol. IV, New York, S. 261 - 263.
- WILSON, L. G., 1972: Charles Lyell. The years to 1841: the revolution in geology. Yale University Press. New Haven and London.
- WILSON, LEONHARD G., 1980: Geology on the Eve of Charles Lyell's first Visit to America, 1841. Proceedings of the American Philosophical Society, Vol. 124, No. 3, June, S. 168 - 202.
- WINCHESTER, SIMON, 2001: Eine Karte verändert die Welt. William Smith und die Geburt der modernen Geologie. Aus dem Englischen von REINER PFLEIDERER. München.
- WINDER, C. GORDON, 2004: Logan, Sir William Edmond. Oxford Dictionary of National Biography, Volume 34, S. 319 - 321.
- WINKLER, CLEMENT, 1890: Die Frage nach dem Wesen der chemischen Elemente. Verhandlungen der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte, 63. Versammlung zu Bremen, 15. - 20. September 1890. Leipzig. S. 146 - 155.
- WINOGRADSKY, S., 1888: Ueber Eisenbakterien. Botanische Zeitung, 46. Jahrgang, Nr. 17, 27. April, Spalte 261 - 270.
- WIRTZ; D., s. WETZEL, W., 1939.
- WOLDSTEDZ, PAUL, 1926: Probleme der Seenbildung in Norddeutschland. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, S. 103 - 124.

WOLDSTEDT, PAUL, 1929: Das Eiszeitalter. Grundlinien einer Geologie des Diluviums. Stuttgart.

WOLDSTEDT, PAUL, 1948: Die Quartärforschung in Deutschland. Ihre Entwicklung und ihre Aufgaben. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 100, S. 379 - 399. Hannover 1950.

WOLDSTEDT, PAUL, 1947: Konrad Keilhack. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 99, 1949, S. 229 - 232.

WOLDSTEDT, PAUL, 1949 / 1951: Konrad Keilhack †. Geologisches Jahrbuch für das Jahr 1949, Band 65, S. XIX - XXV.

WOLFF, F. von, 1908: Die vulkanische Kraft und die radioaktiven Vorgänge in der Erde. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, 60. Band, S. 431 - 465.

WOLFF, F. von, 1922: Die Prinzipien einer quantitativen Klassifikation der Eruptivgesteine, insbesondere der jungen Ergußgesteine. Geologische Rundschau, 13. Band, S. 9 - 17.

WOLFF, F. von, 1922: Die Prinzipien einer quantitativen Klassifikation der Eruptivgesteine, insbesondere der jungen Ergußgesteine. Geologische Rundschau, 13. Band, S. 9 - 17.

WOLFF, FERDINAND von, 1944: Selbstbiographie des Mineralogen ... Halle (Saale),

WOLFF, WILHELM; 1915: Das Diluvium der Gegend von Hamburg. Jahrbuch der Königlich Preußischen Geologischen Landesanstalt zu Berlin, Band XXXVI (36), Teil II, S. 227 - 324.

WOPFNER, HELMUT, 1997: Australien. Geologie der Erde, Band 4. Stuttgart.

WREDE, E. G. F., 1794: Geologische Resultate aus Beobachtungen über einen Theil der südbaltischen Länder. Halle.

WÜLFING, E. A., 1914 a: Zur Erinnerung an Harry Rosenbusch. Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Mathematisch - naturwissenschaftliche Klasse, 8. Abhandlung, S. 3 - 23.

WÜLFING, E. A., 1914 b: Harry Rosenbusch †. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, S. 289 - 299.

WUNDERLICH, ERICH, 1928: Albrecht Penck. Zu seinem 70. Geburtstag am 25. September 1928. Geographischer Anzeiger, 29. Jahrgang, S. 297 - 306.

WUNSCHMANN, E., 1904: Göppert, Heinrich Robert. Allgemeine Deutsche Biographie, 49, S. 455 - 460.

WURM, A., 1948: Hundert Jahre Forschung im Grundgebirge Mitteleuropas. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 100, S. 213 - 222.

WURM, A., 1962: "Geologie von Sachsen" von Kurt Pietzsch. Geologische Rundschau, 52. Band, S. 876 - 882.

WÜST, EWALD, 1907: Die Entstehung der Kaolinerden der Gegend von Halle a. S. Zeitschrift für praktische Geologie, XV. Jahrgang, Januar, S. 19 - 23.

WÜST, EWALD, 1909: Die Gliederung und die Altersbestimmung der Lößablagerungen Thüringens und des östlichen Harzvorlandes. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, S. 385 - 392.

WÜST, EW., 1927: Ludwig Rüttimeyer (1825 - 1895) als Begründer der historischen Paläontologie. Palaeontologische Zeitschrift, VIII. Band, S. 34 - 39.

WYNN, JEFFREY C. and EUGENE M. SHOEMAKER, 1999: Flammendes Inferno in der Wüste. Spektrum der Wissenschaft, Februar, S. 30 - 37.

YATES, JAMES, 1831: Remarks on the Formation of Alluvial Deposites. The Edinburgh New Philosophical Journal, Vol. XI, S. 1 - 41.

YOCHELSON, ELLIS L., 1967: Charles Doolittle Walcott. Biographical Memoirs, National Academy of sciences of the United States of America, Volume XXXIX, S. 471 - 540.

YOCHELSON, ELLIS L., 1996: Discovery, Collection, and Description of the Middle Cambrian Burgess Shale Biota by Charles Doolittle Walcott. Proceedings of the American Philosophical Society, Vol. 140, No. 4, December, S. 469 - 545.

ZÄHRINGER, J., 1960: Altersbestimmung nach der K - Ar - Methode. Geologische Rundschau, 49. Band, S. 224 - 237.

ZAUNICK, RUDOLPH, 1961: Fritsch, Karl Georg Wilhelm. Neue Deutsche Biographie, 5, S. 623.

ZELL, WERNER, 1990: s. BRINKMANN 1990.

ZELLER, SUSANNE, 2004: Selwyn, Alfred Richard Cecil. Oxford Dictionary of National Biography, Volume 49, S.730 / 731.

ZILLMER, HANS-JOACHIM, 2008 (5. Auflage): Irrtümer der Erdgeschichte. München.

ZIMMERMANN, E., 1902: Dr. Alexander Bittner. Verhandlungen der k. k. geologischen Reichsanstalt, Nr. 6, S. 165 - 170.

ZIRKEL, FERDINAND, 1863: Mikroskopische Gesteinsstudien. Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch - Naturwissenschaftliche Classe, 47, S. 226 ff.

ZIRKEL, FERDINAND, 1885: Das Experiment in der Geologie. Rede des antretenden Rectors. Leipzig. S. 17 - 37.

ZIRKEL, FERDINAND, 1904: Über die gegenseitigen Beziehungen zwischen der Petrographie und angrenzenden Wissenschaften. Address presented at the International Congress of Arts and Science, Universal Exposition, St. Louis, September 22. The Journal of Geology, Volume XII, S. 485 - 500.

ZIRNSTEIN, GOTTFRIED, 1977: James Hutton und sein Wirken als Geologe. Zeitschrift für geologische Wissenschaften, 5, 3, S. 349 - 360.

ZIRNSTEIN, GOTTFRIED, 1980: Charles Lyell. Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner, Band 48. Leipzig.

ZIRNSTEIN, GOTTFRIED, 2007: Schlotheim, Ernst Friedrich von. Neue Deutsche Biographie, Band 23, S. 109/110 (auch on-line).

ZIRNSTEIN, GOTTFRIED, 2015: Franz Kossmat (1871 - 1938). Sächsische Lebensbilder, Band 7, Leipziger Lebensbilder, S. 241 - 257. Leipzig.

ZITTEL, 1874: Ueber Gletscher - Erscheinungen in der bayerischen Hochebene. Sitzungsberichte der mathematisch - physikalischen Classe der k. b. Akademie der Wissenschaften zu München, Band IV. S. 252 - 283.

Termini

Diagenese: GÜMBEL 1868, J. WALTHER 1893 / 1894

Halmyrolyse: KARL HUMMEL

Metamorphose: A. BOUE

Personen

ABEL, OTHENIO. 1879 - 1946

ADAMS, MICHAEL IWANOWITSCH, um 1800

AGASSIZ, LOUIS, 1807 - 1873

AGRICOLA, GEORGIUS, 1494 - 1555
 AHRENS, L. H., 20. Jh.
 ALBERTI, FRIEDRICH (von), 1795 - 1878
 ALBINUS (WEIS), PETRUS, 1543 - 1598
 ALVAREZ, LUIS, 1911 - 1988
 ALVAREZ, WALTER, geb. 1940
 AMPFERER, OTTO, 1875 - 1947
 ANAXIMANDER
 ANDERSSON, JOHAN GUNNAR, 1874 - 1964
 ANDRE'E, KARL ERICH, 1880 - 1959
 ANDRUS(S)OW, NIKOLAI IWANOWITSCH, 1861 - 1924
 ANGSTRÖM, ANDERS JONAS, 1814 . 1874
 ANNING, JOSEPH, 1796 - 1849, Bruder der folg.
 ANNING, MARY, 1799 - 1847
 ARCHIAC, VICTOME d', 1802 - 1868
 ARDUINO, GIOVANNI, 1714 - 1795
 ARRHENIUS, SVANTE, 1859 – 1927
 AUERSWALD, Fräulein VON, Stiftsdame
 BACON, FRANCIS, 1561 - 1626
 BAIER, JOHANN JACOB, 1677 - 1735
 BALLENSTEDT, JOHANN GEORG JUSTUS, 1756 - 1840
 BANKS, JOSEPH, 1742/1743 - 1820
 BAER, KARL ERNST von, 1792 - 1876
 BARRANDE, JOACHIM, 1799 - 1883
 BARRELL, JOSEPH, 1869 - 1919
 BARTH; HEINRICH, 1821 - 1865
 BAUMANN, OSCAR, 1864 - 1899

BECHE, HENRY THOMAS DE LA, 1796 - 1855
 BECKE, FRIEDRICH JOHANN KARL, 1855 - 1931
 BEHRENS, GEORG HENNING, 1662 - 1712
 BEINERT
 BEMMELEN, J. M. van
 BENECKE, E.
 BERENDT, GOTTLIEB, 1836 - 1920
 BERG, GEORG ERNST WILHELM; 1876 - 1945
 BERL, ERNST, 1877 – 1946
 BERNER
 BEROLDINGEN, FRANZ EGON CÖLESTIN Freiherr VON, 1740 - 1798
 BERTHELOT, PIERRE EUGÈNE MARCELLIN, 1827 – 1907
 BERTRAND, LE'ON
 BERTRAND, MARCEL-ALEXANDRE, 1847 - 1907
 BERTSCH, KARL, 1878 - 1965
 BEURLIN, KARL, 1901 - 1985
 BEYRICH, HEINRICH ERNST, 1815 - 1896
 BEYSCHLAG, FRANZ, 1856 -1935
 BIEBESHEIMER,
 BITTNER, ALEXANDER, 1850 - 1902
 BLANCKENHORN, MAX, 1861 – 1947
 BLACKETT
 BLYTT, AXEL G., 1843 - 1998
 BOEHM, JOHANNES, 1857 - 1938
 BOKSCH
 BORLACH, JOHANN GOTTFRIED, 1687 - 1768
 BORN, IGNAZ, Edler von, 1742 - 1791

BORY DE ST. VINCENT, B. G. M.
 BOUCHER DE PERTHES, 1788 – 1868
 BOUE, AMIE
 BOUSSINGAULT, JEAN-BAPTISTE, 1802 - 1887
 BOWEN, N. L.
 BRANCA, WILHELM, 1844 - 1928
 BRAUN, ALEXANDER, 1805 – 1877
 BRAUN, R.
 BRECHT, BERT
 BRIDGMAN, PERCY WILLIAMS, 1882 - 1961
 BROCCI
 BROCHANT DE VILLIERS,
 BRÖGGER, WALDEMAR CHRISTOPHER, 1851 - 1940
 BRONGNIART, ADOLPHE THEÓDORE, 1801 - 1876
 BRONGNIART, ALEXANDER, 1770 - 1847
 BRONN, GEORG HEINRICH, 1800 - 1862
 BRONTE, EMILY
 BROOKS, CHARLES ERNEST PELHAM, 1888 - 1957
 BROWN, P. E.
 BUBNOFF, SERGE von, (SERGIUS NIKOLAJEWITSCH ...), 1888 - 1957
 BUCH, LEOPOLD VON, 1774 - 1853
 BUCHANAN, FRANCIS HAMILTON, 1762 - 1829
 BÜCHNER, GEORG, 1813 - 1837
 BUCKLAND, WILLIAM, 1784 - 1856
 BÜDEL, JULIUS, 1903 – 1983
 BUFFON, GEORGES.LOUIS LECLERC, 1707 - 1788
 BÜLOW, EDGAR BODO KURD von,1899 – 1971

BUNSEN, ROBERT WILHELM EBERHARD, 1811 . 1899
 BURNET, THOMAS, 1635? – 1715
 BUSCHE, DETLEF, 1942 - 2011
 BÜTSCHLI, OTTO, 1848 - 1920
 BÜTTNER, DAVID SIG(IS)MUND, 1660 - 1719
 CAILLEUX, ANDRE´, 1907 - 1986
 CANDOLLE, ALPHONSE DE, 1834 - 1835
 CARNALL, RUDOLF von, 1804 - 1874
 CARNEGIE, ANDREW, 1837 - 1919
 CARPENTER, WILLIAM BENJAMIN, 1813 - 1885
 CARRINGTON, RICHARD CHRISTOPHER, 1826 - 1875
 CELSIUS, OLOF, 1670 - 1756
 CHAMBERLIN, THOMAS CHROWDOR, 1843 - 1928
 CHARPENTIER, JEAN DE, 1786 - 1855
 CHARPENTIER, JOHANN FRIEDRICH WILHELM von, 1728 - 1805
 CHLADNI, ERNST, 1756 - 1827
 CHRISTOL, JULES DE, ? - 1861
 CHURCHILL, GEORGE CHEETHAM
 CLARK, WILLIAM, 1770 – 1838
 CLARKE, FRANK WIGGLESWORTH, 1847 - 1931
 CLARKE, WILLIAM BRAMWHITE, 1798 - 1878
 CLOOS, HANS, 1885 - 1951
 COFFIN; M. F., 20. Jh.
 COHEN, EMIL WILHELM, 1842 - 1905
 COHN, FERDIAND, 1828 - 1898
 COLEMAN, ARTHUR PHILEMON, 1852 - 1939
 COLLINI, COSIMO ALESSANDRO, 1727 - 1806

CONYBEARE, WILLIAM DANIEL, 1787 - 1857
COPE, EDWARD DRINKER, 1840 - 1897
CORDIER, LOUIS, 1777 - 1861
CORRENS, CARL ERICH, 1864 - 1933
CORRENS, CARL WILHELM, 1893 - 1980
CORRENS, ERICH, 1896 - 1981
COTTA, CARL BERNHARD VON, 1808 - 1879
COTTA, HEINRICH VON, 1763 - 1844
CREDNER, HEINRICH, 1809 - 1876
CREDNER, HERMANN, 1841 – 1913
CREDNER, KARL AUGUST, 1797 - 1857
CREDNER, RUDOLF, 1850 - 1908
CREDNER, WILHELM GEORG RUDOLF, 1892 - 1948
CRICHTON, JOHN MICHAEL, 1942 - 2008
CROLL, JAMES, 1821 - 1890
CUVIER, GEORGES, 1769 - 1832
DANSGAARD, WILL, 1922 . 2011
DACQUE, EDGAR, 1878 - 1945
DALY, REGINALD ALDWORTH, 1871 – 1957
DAMES, WILHELM BARNIM, 1843 - 1898
DANA, JAMES DWIGHT, 1813 - 1895
DARWIN, CHARLES, 1809 - 1882
DARWIN, GEORGE HOWARD, 1845 - 1912
DAUBENY, CHARLES GILES BRIDLE, 1795 – 1867
DAUBRE'E, GABRIEL AUGUSTE, 1914 - 1896
DAVIS, WILLIAM MORRIS, 1850 - 1934
DAVY, Sir HUMPHREY, 1778 - 1829

DAWKINS, RICHARD, geb. 1941
 DAWSON, JOHN WILLIAM, 1820 - 1899
 DAY, A. L. , 20. Jh.
 DECHEN, HEINRICH von, 1800 - 1889
 DEECKE, JOHANNES ERNST WILHELM, 1862 - 1934
 DEFFNER, CARL LUDWIG, 1817 - 1877
 DE LA BECHE, HENRY THOMAS, 1796 - 1855
 DELAMETHERIE, JEAN CLAUDE, 1743 – 1817
 DE LUC, JEAN ANDRE´, 1727 - 1817
 DE'PE'RET, CHARLES JEAN JULIEN, 1854 - 1929
 DESCARTES, RENÉ, 1596 - 1650
 DESHAYES, GÉRARD, 1795 - 1875
 DESMAREST, NICOLAS, 1725 - 1815
 DESNOYENS, JULES, 1800 – 1887
 DESOR, EDUARD (EDOUARD), 1811 - 1882
 DIEMER, CARL, 1862 - 1928
 DIETZ, ROBERT S.= SINCLAIR, 1914 - 1995
 DUFRÉNOY, OURS - PIERRE - ARMAND, 1792 – 1857
 DOKUTSCHAJEW, WASSILIJ WASSILJEWITSCH, 1846 – 1903
 DOLLO, LOUIS ANTOINE MARIE JOSEPH, 1857 - 1931
 DOLOMIEU, DEODAT GRATET, 1750 - 1801
 DÖLTER, CORNELIO AUGUST, 1850 - 1930
 DORN, MATTHIAS, 20. Jh.
 DORN, PAUL, 1901 - 1959
 DRAKE, EDWIN LAURENTINE, 1819 - 1880
 DRYGALSKI, ERICH VON, 1865 - 1949
 DU TOIT, ALEXANDER LOGIE, 1878 - 1948

DUNN, P. Mc. D., 20. Jh.
 DUTTON, CLARENCE EDWAERD, 1841 – 1912
 EATON, AMOS, 1776 - 1842
 EHRENBERG, CHRISTIAN GOTTFRIED, 1795 - 1876
 EIDHOLM, O. 20. Jh.
 EIMER, THEODOR, 1843 - 1898
 EISSMANN, LOTHAR, geb. 1932
 ÉLIE DE BEAUMONT, JEAN-BAPTISTE-ARMAND-LOUIS-LÉONCE, 1798 – 1874
 ENGELHARDT, MORITZ VON, 1779 - 1842
 ENGELHARDT, WOLF JÜRGEN Baron VON, 1910 - 2008
 ENGLER, ADOLF, 1844 - 1930
 ENGLER, CARL, 1842 – 1925
 EPHA, WILHELM FRANZ, 1828 - 1904
 ERMAN, ADOLPH, 1806 - 1877
 ESCHER von der LINTH, ARNOLD, 1807 – 1872
 ESKOLA, PENTTI EELIS, 1883 - 1964
 ETZOLD, FRANZ, 20. Jh.
 EULENBURG, FRIEDRICH Graf ZU, 1815 - 1881
 FALLOU, FRIEDRICH ALBERT, 1794 - 1877
 FELS, EDWIN, 1888 - 1983
 FERBER, JOHANN JAKOB, 1743 - 1790
 FERDINAND I., 1793 - 1875, 1835 - 1848 Kaiser von Österreich
 FILCHNER, WILHELM, 1877 - 1957
 FISCHER, CARL WALTHER, 1897 - 1879
 FISCHER VON WALDHEIM, JOHANN GOTTHELF, 1771 - 1853
 FITTING, HANS, 1877 - 1970

FITZ-ROY, ROBERT, 1805 - 1865
FLIEGEL, WALTER GOTTHARD WALDEMAR, 1873 - 1947
FORSELLES, JAKOB HENRIK, af, 1785 - 1855
FOURIER, JEAN, Baron DE, 1768 - 1830
FRAAS, EBERHARD, 1862 - 1915, Sohn des folgenden
FRAAS, OSCAR, 1824 - 1897
FRANCK, DAVID, 1682 - 1756
FRANZ JOSEPH, Kaiser
FRECH, FRITZ, 1861 – 1917
FREUNDLICH, HERBERT, 1893 - 1980
FREYBERG, BRUNO von, 1894 - 1981
FRIEDRICH, CASPAR DAVID, 1774 - 1840
FRIEDRICH WILHELM IV., 1795 - 1861, ab 1840 König Preußen
FRIES, ELIAS MAGNUS, 1794 - 1878
FRITSCH, KARL GEORG von, 1838 - 1906
FUCHS, JOHANN NEPOMUK von, 1774 - 1856
FÜCHSEL, GEORG CHRISTIAN, 1722 – 1773
FULDA, FRIEDRICH BERNHARD ERNST, 1885 - 1960
GAGEL, FRIEDRICH AUGUST WILHELM CURT, 1865 - 1927
GALILEI, GALILEO, 1564 - 1641
GANSSER, AUGUSTO, 1910 - 2012
GAY-LUSSAC, LOUIS-JOSEPH, 1778 - 1850
GAZZERI, 19. Jh.
GEER, Baron GERARD JACOB DE, 1858 - 1943
GEIKIE, ARCHIBALD, 1835 - 1924
GEIKIE, JAMES, 1839 - 1915
GEINITZ, FRANZ EUGEN, 1854 - 1925

GEINITZ, HANNS BRUNO, 1814 - 1900
 GELLERT, A., 20. Jh.
 GERVAIS, PAUL, 1816 - 1879
 GESNER, CONRAD, 1516 - 1565
 GIESECKE, KARL LUDWIG, eigentlich: JOHANN GEORG METZLER, 1761 - 1833
 GILBERT, GROVE KARL, 1843 – 1918
 GILBERT, JOSIAH, 1814 - 1892
 GLAESSNER, MARTIN F. = FRITZ, 1906 - 1989
 GLINKA, KONSTANTIN DMITRIJEWITSCH, 1867 – 1927
 GLOCKER, ERNST FRIEDRICH, 1793 - 1858
 GOLDSCHMIDT, RICHARD BARUCH-BENEDIKT (= B.), 1878 - 1958
 GOLDSCHMIDT, VICTOR MORITZ, 1888 - 1947
 GOEPPERT, JOHANN HEINRICH ROBERT, 1800 – 1884
 GORBATSCHOW
 GORJANOVIC'-KRAMBERGER, KARL (DRAGUTIN), 1856 - 1936
 GOSSELET, JULES, 1832 - 1916
 GOETHE, JOHANN WOLFGANG, 1749 - 1832
 GÖTZEN, GUSTAV ADOLF Graf von, 1866 – 1910
 GRAND' EURY, FRANCOIS CYRILLE, 1839 - 1917
 GREENOUGH, GEORGE BELLAS, 1778 – 1855
 GREENWOOD, 19./20. Jh.
 GREGORY, JOHN WALTER, 1864 - 1932
 GRESSLY, AMANZ, 1814 – 1865
 GRISEBACH, HEINRICH AUGUST RUDOLF, 1814 - 1879
 GRIPP, KARL, 1891 – 1985
 GRUBENMANN, ULRICH, 1850 - 1924

GRUND, ALFRED JOHANNES, 1875 - 1914

GRUNER, G. S.

GÜMBEL, CARL WILHELM, seit 1882 Ritter von ..., 1823 - 1898

GUTBIER, CHRISTIAN AUGUST von, 1798 - 1866

GUERICKE, OTTO VON, 1602 - 1686

GUETTARD, JEAN-E´TIENNE, 1715 - 1786

GUYOT, ARNOLD HENRI, 1897 - 1884

HAACKE, WILHELM, 1855 - 1912

HAAST, Sir JULIUS von, 1822 – 1887

HAECKEL, ERNST, 1834 - 1919

HAGEN, BERNHARD, 1853 - 1919

HAHN, OTTO, 1879 - 1968

HAIME, JULES, gest. 1856

HALL, JAMES Sir, Schottland, 1761 – 1832

HALL, JAMES, USA, 1811 - 1898

HALLE, THORE GUSTAV, 1884 -

HALLER, ALBRECHT (von), 1708 - 1777

HAMANN, GÜNTHER

HANDLIRSCH, ANTON PETER JOSEF, 1865 - 1935

HANNIBAL, 247 - 183 v. Chr.

HARRASSOWITZ (bis 1917 MEYER), HERMANN, 1885 - 1956

HARTING, PIETER, 1812 - 1885

HARTMANN, CARL FRIEDRICH ALEXANDER, 1796 – 1863

HARTT, CHARLES FREDERIC, 1840 - 1848

HARTZ, NIKOLAJ, 1867 - 1937

HAUSMANN, JOHANN FRIEDRICH LUDWIG, 1782 – 1859

HAUY, RENE´-JUST, 1743 - 1822

HAYDEN, FERDINAND VANDEVEER, 1829 - 1887
HAZEN, ROBERT M. (= MILLER), geb. 1948
HEER, OSWALD, 1803 - 1883
HEEGER, W.
HEIM, ALBERT, 1849 – 1937
HEIM, ARNOLD, 1882 - 1965
HEIM, LUDWIG, 1741 – 1819
HELLAND, AMUND THEODOR, 1846 – 1918
HELMERSEN, GREGOR VON, 1883 - 1885
HELMHOLTZ, HERMANN von, 1821 - 1894
HEMPRICH, FRIEDRICH WILHELM, 1796 - 1825
HENZE, M. , 20. Jh.
HERRMANN, RUDOLF, 20. Jh.
HESS, HARRY HAMOND, 1906 - 1969
HETTNER, ALFRED, 1859 - 1941
HIEMER, EBERHARD FRIEDRICH, 1682 – 1727
HILBER, VINCENZ, 1853 - 1931.
HILGARD, EUGENE WOLDEMAR, 1833 - 1916
HITCHCOCK, EDWARD, 1793 - 1864
HITLER, ADOLF, 1889 - 1945
HOCHSTETTER, CHRISTIAN GOTTLOB FERDINAND Ritter von 1829 - 1884
HÖFER, HANS, Edler von HEIMHOLT, 1843 - 1924
HOFF, KARL von, 1771 - 1837
HOFFMANN, FRIEDRICH, 1797 – 1836
HÖGBOM, ARVID GUSTAV, 1857 - 1940
HÖGBOM, ARVID BERTIL, 1888 – 1962
HOLGER, PHILIPP VON, 19. Jh.

HOLMES, ARTHUR, 1890 - 1965
HOOKER, JOSEPH DALTON, 1817 – 1911
HOERNES, RUDOLF, 1850 - 1912
HÖVERMANN, JÜRGEN, geb. 1922
HUMBOLDT, ALEXANDER VON, 1769 - 1859
HUMMEL, KARL, 1889 - 1945
HUTTON, JAMES, 1726 – 1797
IJSERMAN, J. W.
JACOBS, CHRISTIAN WILHELM, 1763 - 1814
JAEKEL, OTTO, 1863 – 1929
JAMESON, ROBERT, 1774 – 1854
JAUMANN, RALF, geb, 1954
JAWORSKI, ERICH, 1890 - 1873
JEANS, JAMES, 1877 - 1946
JEFFERSON, THOMAS, 1743 - 1826
JEFFREYS, HAROLD, 1891 - 1989
JENTZSCH, ALFRED, 1850 - 1925
JESSEN, OTTO, 1891 – 1951
JOHNSON, WILLARD DRAKE, 1859 - 1917
JOLY, JOHN, 1857 - 1933
JOSEPH II., 1741 - 1790
JUDD, JOHN WESLEY, 1840 - 1916
JUSSIEU, ANTOINE DE, 1686 - 1758
JUKES, JOSEPH BEETE, 1811 - 1869
KAISER, ERICH, 1871 – 1934
KALKOWSKY, ERNST LOUIS, 1851 - 1938
KANT, IMMANUEL, 1724 - 1804

KARPINSKI, ALEKSANDER PETROVITSCH, 1847 - 1936
KARSTEN, GUSTAV KARL WILHELM HERMANN, 1817 - 1908
KAYSER, EMANUEL, 1845 – 1927
KEFERSTEIN, CHRISTIAN, 1784 - 1866
KEILHACK, KONRAD, 1858 - 1944
KEILHAU, BALTAZAR MATHIAS, 1797 – 1858
KEMPF, JÜRGEN, 20. Jh.
KERNER-MARILAUN, FRITZ von, 1866 - 1944
KIDSTON, ROBERT, 1852 - 1924
KIELMEYER, KARL FRIEDRICH (von), 1765 - 1844
KING, CLARENCE RIVERS, 1842 - 1901
KIRCHER, ATHANASIUS, 1601 - 1680
KIRSCHVINK, JOSEPH L., geb 1953
KIRWAN, RICHARD, 1733 ? - 1812
KLÄHN, HANS, 1884 -1933
KLOCKMANN, FRIEDRICH FERDINAND HERMANN, 1858 - 1937
KLÖDEN, KARL FRIEDRICH von, 1786 – 1856
KLUTE, FRITZ, 1885 - 1952
KNOP
KNY, CARL IGNAZ LEOPOLD, 1841 - 1916
KOBEL, LEOPOLD, 1883 - 1970
KOCH, JOHAN PETER, 1870 - 1928
KOCH, LAUGE, 1892 - 1964
KOKEN, ERNST HERMANN FRIEDRICH, 1907 von, , 1860 - 1912
KOLESCH, KARL, 1860 - 1921
KOENEN, ADOLF VON, 1837 – 1915
KÖPPEN, WLADIMIR PETER (= PETROWITSCH), 1846 - 1940

KÖPPEN, ELSE, wird Ehefrau von A. WEGENER, 1892 - 1992
KORN, JOHANNES, 1862 - 1927
KÖRNER, THEODOR, 1791 - 1813
KOSSMAT, FRANZ, 1871 - 1938
KRAEMER, G., Anfang 20. Jh.
KRANZ, WALTER, 1873 – 1953
KRAUS, ERNST KARL, 1889 - 1970
KRAUSS, MARTIN, 19. Jh.
KREJCI-GRAF, KARL JULIUS EMIL, 1898 - 1986
KROEHNER, PETER, 20. Jh.
KUBIENA, WALTER, 1897 - 1970
KÜHN, KARL AMANDUS, 1783 – 1848
KUHN, THOMAS S. (= SAMUEL), 1922 - 1996
KUIPER, GERARD PETER; 1905 - 1979
KULIK, LEONID ALEXEJEWITSCH, 1883 - 1942
KUMMEROW, EDMUND HERMANN EGMONT, 1880 -
KUNDT, WOLFGANG, geb. 1931
KUENEN, PHILIP HENRY, 1902 - 1976
LACHMANN, RICHARD, 1885 - 1916
LADENBURG, WALTER RUDOLF, 1882 - 1952
LAMARCK, JEAN BAPTISTE DE, 1744 – 1829
LAMBRUSCHINI, 19. Jh.
LANG, FR. 19. Jh.
LANG, RICHARD, 1882 - 1935
LANGLEY, SAMUEL PIERPONT, 1834 - 1906
LANGSTON, WANN. jr., 1921 . 2013
LAPHAM, T. A., 20. Jh.

LAPLACE, PIERRE SIMON, 1749 - 1827
LAPWORTH, CHARLES, 1842 - 1920
LA ROCHE, H. VON, 19. Jh.
LARTET, EDOUARD ARMAND, 1801 – 1871
LASCAUX, ARNOLD VON, 19. Jh.
LAUDAN, RACHEL, geb. 1944
LAUTERBORN, ROBERT, 1869 - 1952
LAWSON, ANDREW COWPER, 1861 - 1952
LEHMANN, CHRISTIAN, 1611 - 1688
LEHMANN, JOHANN GOTTLOB, 1719 - 1767
LEIBNIZ, GOTTFRIED WILHELM, 1646 - 1716
LEIDY, JOSEPH, 1823 - 1891
LEMBERG, JOSEPH, 1842 – 1902
LENK, H.
LEONARDO DA VINCI, 1452 - 1519
LEONHARD, KARL CAESAR von, 1779 – 1862
LEPENIES, WOLF, geb. 1941
LEUCKART, RUDOLF, 1822 - 1898
LEWIS, MERIWETHER, 1774 - 1809
LIEBE, KARL THEODOR, 1828 - 1894
LIEBETRAU, EDMUND
LIEBIG, JUSTUS (von), 1803 – 1873
LIEPMANN, WILHELM, geb. 1878
LILIENBACH, LILL von, 1798 - 1831
LINCK, GOTTLLOB EDUARD, 1858 - 1947
LINDLEY, JOHN, 1799 - 1865
LINDNER, H.

LINK, HEINRICH FRIEDRICH, 1767 - 1851
 LINNARSSON, JONAS GUSTAF OSCAR, 1841 - 1881
 LINNE', CARL von, 1707 - 1778
 LINSTOW, OTTO AUGUST HARTWIG von, 1872 - 1929
 LISTER, MARTIN, 1638 - 1711
 LÖCHNER, J. H.
 LOGAN, WILLIAM EDMOND, 1798 -1875
 LÖHNEYß(EN(, GEORG ENGELHARD, 1552 - 1622
 LOHRMANN, spätes 19. Jh.
 LOMONOSSOW, MICHAEL WASSILJEWITSCH, 1711 . 1765
 LONSDALE, WILLIAM, 1794 - 1871
 LOSSEN, KARL A., 1841 - 1893
 LOTZE, FRANZ, 1903 - 1971
 LOUIS, HERBERT, 1900 - 1985
 LOVÉN, SVEN, 1809 – 1895
 LÖWL, FERDINAND, 1856 - 1908
 'LOZINSKI, WALERY WLADYSLAW DANIEL, 1880 – 1944
 LUC s. = DE LUC
 LUEGER, KARL, 1844 - 1910
 LUGEON, MAURICE, 1870 - 1953
 LYELL, CHARLES, 1797 - 1875
 MACHATSCHEK, FRITZ, 1876 - 1957
 MACKIE, WILLIAM, 1856 - 1832
 MACLURE, WILLIAM, 1763 –
 MÄGDEFRAU, KARL, 1907 - 1999
 MALMGREN, A. J., 19. Jh.
 MANDELSLOH, Graf FRIEDRICH von, 1795 - 1870

MARSH, OTHNIEL CHARLES, 1831 - 1899
MARTIN, ALFRED S., 1898 - 1982
MARTIN, CHARLES
MARTIN, JOHN, gest. 1993, USA-Chemiker
MARTIN, P. I. , erste Hälfte 19. Jh.
MARTIUS, KARL FRIEDRICH PHILIPP, 1794 – 1868
MARX, KARL, 1818 - 1883
MASON, BRIAN HAROLD, 1917 - 2009
MATTAUCH, JOSEF, 1895 - 1976
MATTHEW, WILLIAM DILLER, 1871 - 1930
MAULL, OTTO, 1887 - 1957
MAWSON, DOUGLAS,, Sir, 1882 - 1958
MAYER, JOHANN FRIEDRICH, 1650 - 1712
MAYR, ERNST, 1904 - 2006
MEDLICOTT, HENRY BENEDICT, 1829 - 1905
MEINARDUS, WILHELM, 1867 - 1952
MEINECKE, JOHANN CHRISTIAN. wer?
MENDELEJEV, DIMITRI, 1834 – 1907
MEYER, FRIEDRICH
MEYER, HANS, 1858 - 1929
MEYER, HERMANN L. F. = Geburtsname v. HERMANN HARRASSOWITZ
MEYER, O. R.
MEYER, VICTOR
MEYERMANN, BRUNO, 1876 . 1963
MILANKOVITCH, MILUTIN, 1879 - 1958
MILLER, HUGH, 1802 – 1856
MILLER, STANLEY LLOYD, 1930 - 2007

MILTHERS, POUL CHRISTIAN VILHELM MADSEN, 1865 - 1962

MOESTA, FRIEDRICH ANDREAS, 1836 - 1884

MOJSISOVICS, JOHANNES AUGUST EDMUND, Edler von MOJSVAR, 1839 – 1907

MOLYNEUX, THOMAS, nach 1661 - 1733

MORDZIOL, CARL, 1886 - 1958

MORLOT, CARL ADOLF von, 1820 – 1867

MORTENSEN, HANS, 1894 - 1964

MOULTON, FOREST RAY, 1872 - 1952

MOZART, WOLFGANG AMADEUS, 1756 – 1791

MÜCKENHAUSEN, EDUARD, 1907 - 2005

MULLER, HERMANN JOSEPH, 1890 - 1967

MÜNSTER, GEORG Graf ZU, 1776 - 1844

MÜNSTER, SEBASTIAN, 1488 - 1552

MURCHISON, RODERICK IMPEY, 1792 - 1871

MURRAY, JOHN; 1841 - 1914

NAPOLEON I. , 1769 - 1821

NAUMANN, C(K)ARL FRIEDRICH, 1797 – 1873

NEUMANN, K. F. , 18. Jh.

NEUMANN, LUDWIG, 1854 - 1925

NEUMAYR, GEORG BALTHASAR, 1826 - 1909

NEWBERRY, JOHN STRONG, 1822 - 1892

NIGGLI, PAUL, 1888 - 1953

NIKITIN, SERGEJ NIKOLAJEWITSCH, 1851 - 1909

NOELKE, FRIEDRICH, 1877 - 1947

NOELLNER, C., 19. Jh.

NOPCSA, FRANZ Baron von FELSÖ-SZILVAS, 1877 - 1933

NORDENSKIÖLD, ADOLF ERIK, 1832 - 1901
NOETLING, FRIEDRICH WILHELM (FRITZ), 1857 -
NOVALIS, eigentlich FRIEDRICH Freiherr von HARDENBERG, 1772 - 1801
OBRUTSCHEW, WLADIMIR AFANASSJEWITSCH, 1863 - 1956
OCHSENIUS, CARL CHRISTIAN, 1830 – 1906
OEHLER, EDUARD, 1837 - 1909
OLAFSEN/OLAFSSEN, EGGERT, 1726 - 1768
OLDHAM, RICHARD DIXON, 1858 - 1936
OLDHAM, THOMAS, 1816 – 1878
OPPEL, ALBERT, 1831 - 1865
ORBIGNY, ALCIDE DESSALINES d', 1802 - 1857
OEYNHAUSEN, CARL/KARL Freiherr VON, 1795 - 1865
OSBORN, HENRY FAIRFIELD, 1857 – 1935
OESCHGER, HANS, 1927 - 1998
OSTWALD, WILHELM, 1853 - 1932
OWEN, RICHARD, 1804 - 1892
PALISSY, BERNARD, 1510 ? - 1590
PALLAS, PETER SIMON, 1741 – 1811
PANDER, CHRISTIAN HEINRICH, 1794 - 1865
PARKINSON, JAMES, 1755 - 1824
PARROT, FRIEDRICH, 1791 - 1841
PARTSCH, JOSEPH, 1851 - 1925
PASSARGE, SIEGFRIED, 1866 - 1958
PAVLOV, ALEKSEI PETROVITSCH, 1854 - 1929
PEABODY, GEORGE FOSTER, 1852 - 1938
PENCK, ALBRECHT, 1858 - 1945
PENCK, WALTHER, 1888 - 1923

PERRAULT, PIERRE, 1611 – 1680
 PESCHEL, OSCAR (OSKAR) FERDINAND, 1826 - 1875
 PESTALOZZI, JOHANN HEINRICH, 1746 - 1827
 PETTERSSON, HANS, 1888 - 1966
 PFAFF, JOHANN FRIEDRICH, 1765 - 1825
 PFANNENSTIEL, MAX, 1902 - 1976
 PFIZENMAYER, E. W.
 PIA, JULIUS, 1887 – 1943
 PICKERING, W. H.
 PIETZSCH, KURT, 1884 - 1964
 PHILIPPI, EMIL, 1871 - 1910
 PHILIPPI, RUDOLPH AMANDUS
 PHILLIPS, JOHN, 1800 - 1874
 PHILIPPSON, ALFRED, 1884 - 1953
 PLAYFAIR, WILLIAM HENRY, 1790 - 1857
 PLINIUS
 POMPECKJ (man findet auch: POMPECKIJ), JOSEPH FELIX, 1867 - 1930
 POTONIÉ, HENRY, 1857 – 1913
 POST, LENNART VON, 1884 - 1951
 POURTALÉS, Graf LOUIS FRANÇOIS DE, 1823 - 1880
 POWELL, JOHN WESLEY, 1834 - 1902
 POWELLs Nichte EMMA DEAN, Gattin des vor.
 PRESCHER, HANS, 1926 - 1996
 PRESCOTT, JAMES ARTHUR, 1890 - 1987
 PRÉVOST, LOUIS - CONSTANT, 1787 - 1856
 PROCTOR, RICHARD ANTHONY, 1837 - 1888
 PUMPELLY, RAPHAEL, 1837 - 1923

QUENSTEDT, FRIEDRICH AUGUST, 1809 - 1889
 QUIRING, HEINRICH LUDWIG, 1883 - 1964
 RAMANN, EMIL OTTO PAUL BRUNO, 1851 - 1926
 RAMES, JEAN BAPTISTE, 1832 – 1894
 RAMSAY, Sir ANDREW CROMBIE, 1814 – 1891
 RAMSAY, WILHELM, 1865 - 1916
 RASUMOFSKY, ANDREAS KYRILLOWITSCH, 1752 - 1836
 RASUMOFSKY (RAZOUMOWSKY), GEORG (GREGOR), gest, 1837
 RATH, G. von
 RAUMER, KARL von, 1783 - 1865
 RAYLEIGH, Lord
 REAGAN
 RECK, HANS, 1886 – 1937
 REICHENBACH
 REICHHOLF, J. H.
 REISS/REIß, WILHELM JOHANN, 1838 - 1908
 REUSS, AUGUST EMANUEL, 1811 – 1873
 REYER
 REYNOLDS, DORIS LIVESEY, 1899 – 1985
 RICHTER, LUDWIG, 1803 - 1884
 RICHTER, MAX
 RICHTER-BERNBURG, OTTO ANDREAS JOHANNES GERHARD, 1907 - 1990
 RICHTHOFEN, FERDINAND Freiherr von, 1833 - 1905
 RINK, HINRICH JOHANNES, 1819 – 1893
 RITTMANN, ALFRED, 1893 - 1980
 ROGERS, HENRY DARWIN, 1808 - 1866

ROEMER, FRIEDRICH ADOLPH, 1809 - 1869, Bruder des Folgenden
ROEMER (RÖMER), CARL FERDINAND von, 1818 - 1891
ROSENBUSCH, KARL HEINRICH FERDINAND, genannt HARRY, 1836 - 1914
ROSS, Sir JAMES CLARKE, 1800 - 1862
ROTH, JUSTUS, 1818 – 1892
ROTHSCHUH, KARL EDUARD, 1908 - 1984
RUBENS
RUDOLF, Erzherzog, 1858 - 1889
RUDOLPH, KARL, 1881 - 1937
RUNCORN
RÜPPEL
RÜTIMEYER, LUDWIG, 1825 - 1895
RUTTEN, MARTIN GERARD, 1910 - 1970
SALOMON-CALVI, WILHELM, 1868 – 1941
SAMOJLOFF (SAMOILOV), JAKOV WLADIMIROVIC', 1870 - 1925
SANDER, B.
SAPPER, KARL THEODOR, 1866 - 1945
SAPPER, RICHARD AUGUST, 1862 - 1912, Bruder des vor.
SARASIN, FRITZ (eigentlich KARL FRIEDRICH), 1859 - 1942
SARASIN, PAUL BENEDICT, 1856 - 1929
SARTORIUS, WOLFGANG Freiherr S. v. WALTERSHAUSEN, 1809 – 1876
SAUER, ADOLF, 1852 - 1932
SAUSSURE, HORACE BÉNÉDICT DE, 1740 - 1799
SCHAFHÄUTL, KARL EMIL, 1803 – 1890
SCHARDT, HANS, 1858 - 1931
SCHEUCHZER, JOHANN JACOB, 1672 – 1733
SCHEUMANN, KARL-HERMANN, 1881 - 1964

SCHIMPER, KARL FRIEDRICH, 1803 - 1867

SCHINDEWOLF, OTTO H. (= HEINRICH), 1896 - 1971

SCHINZ, RUDOLF HEINRICH, 1777 - 1861

SCHLEGEL

SCHLOTHEIM, ERNST FRIEDRICH VON, 1764 - 1832

SCHMERLING, PHILIPPE - CHARLES, 1791 – 1836

SCHMIDT, E. E.

SCHMIDT, JULIUS

SCHMITTHENNER, HEINRICH, 1887 – 1957

SCHÖNERER, GEORG Ritter von

SCHOTT, CARL, 1905 - 1990

SCHREIBER, KARL FRANZ ANTON Ritter von, 1775 - 1852

SCHRÖDER, HENRY

SCHRÖTER, JOHANN SAMUEL, 1735 – 1808

SCHULTZE, L.

SCHULZE, 1730 - 1775

SCHULZE, F. E.

SCHULZE, CHRISTIAN FRIEDRICH¹, 730 - 1775

SCHWARZ, EDUARD, 19. Jh.

SCHWARZBACH, MARTIN, 1907 - 2003

SCHWEINFURTH, GEORG AUGUST, 1836 - 1925

SCILLA, AGOSTINO, 1629 – 1700

SCLATER, PHILIP LUTLEY, 1829 - 1913

SEDERHOLM, JOHANNES JAKOB, 1863 - 1934

SEEBACH, KARL ALBERT LUDWIG von, 1839 – 1880

SEFSTRÖM, NILS GABRIEL, 1787 - 1845

SEIDLITZ, WILFRIED von, 1880 - 1945

SELWYN, ALFRED RICHARD CECIL, 1824 - 1902
 SENDTNER, OTTO, 1813 - 1859
 SERNANDER, RUTGER, 1866 - 1944
 SERRES, MARCEL PIERRE DE, 1783 - 1862
 SEWARD, ALBERT CHARLES, 1863 - 1941
 SHOEMAKER, EUGENE MERIE, 1928 - 1997, Astronom
 SLOWZOW
 SIMPSON, GEORGE GAYLORD, 1902 - 1984
 SLOANE, HANS, 1660 - 1753
 SMITH, JAMES, 19. Jh.
 SMITH, WILLIAM, 1769 – 1839
 SOLMS-LAUBACH, HERMANN Graf zu, 1842 - 1915
 SONDER, RICHARD AUGUST
 SORBY, HENRY CLIFTON, 1826 -1908
 SOERGEL, WOLFGANG, 1887 - 1946
 SPIELBERG, STEVEN, geb. 1946
 SPIX, JOHANN BAPTIST Ritter VON, 1781 - 1826
 SPRIGG, REGINALD CLAUDE, 1919 - 1994.
 STAFF, HANS VON, erste Hälfte 20. Jh.
 STAHL, CHRISTIAN ERNST, 1848 - 1919
 STEENSTRUP, JOANN(ES) JAPETUS SMITH, 1813 - 1897
 STEININGER, JOHANNES 1794 1874
 STEINMANN, GUSTAV, 1852 – 1929
 STELLA, MASSIMO, 1886 - 1959
 STENGER, INGRID, 20. Jh.
 STERNBERG, KASPAR MARIA von, Graf von, 1761 - 1838
 STILLE, HANS, 1876 - 1966

STONEY, GEORGE JOHNSTONE, 1826 - 1911
 STRACHEY, JOHN, 1671 – 1743
 STRASSMANN, FRIEDRICH WILHELM/ 'FRITZ', 1902 - 1980
 STROMBECK, AUGUST VON, 1808 - 1900
 STROMER, KARL HEINRICH ERNST Freiherr STROMER VON REICHEN-
 BACH, 1871 - 1952
 STÜBEL, MORITZ ALPHONS, 1836 - 1904
 STUDER, BERNHARD, 1794 - 1887
 STUTZER, KARL OTTO, 1881 - 1936
 SULZER, FRIEDRICH GABRIEL, 1749 - 1830
 SUESS, EDUARD, 1831 - 1914
 SUESS, FRANZ EDUARD, 1867 - 1941
 SUTHERLAND, PETER COMAC, 1822 - 1900
 SUTTNER, BERTA Baronin von, 1843 - 1914
 SYLBE
 TACCHINI, PIETRO, 1838 - 1905
 TALLEYRAND, CHARLES-MAURICE DE T. -PERIGORD, 1754 - 1838
 TAYLOR, ALFRED, 1824 - 1884
 TAYLOR, FRANK BURSLEY, 1860 – 1938
 TENTZEL, WILHELM ERNST, 1659 - 1707
 TERMIER, PIERRE, 1859 - 1930
 THELLIER, E'MILE, 1904 - 1987
 THOMAS, HUGH HAMSHAW, 1885 - 1962
 THOMSEN, HANS PETER JÖRGEN JULIUS, 1826 - 1909.
 THOMSON, WILLIAM, Baron KELVIN of Largs, 1824 - 1907
 THORBECKE, FRANZ HEINRICH, 1875 - 1945
 THURMANN, JULIUS (JULES), 1804 - 1855

TIEDEMANN, FRIEDRICH, 1781 - 1861
TILAS, DANIEL, 1712 - 1772
TOLAND, JOHN, 1670 - 1722
TORELL, OTTO MARTIN, 1828 - 1900
TOULMIN, GEORGE HOGGART, 1754 - 1817
TOURNAI, PAUL, 1805 - 1872
TREBRA, FRIEDRICH WILHELM HEINRICH von, 1740 - 1819
TRÖGER, WALTER EHRENREICH, 1901 - 1963
TROLL, CARL THEODOR, 1899 - 1975
TSCHERMAK, GUSTAV, 1836 - 1927
TSCHERNYSCHEW, FEODOSIJ NIKOLAEVITSCH, 1856 - 1914
TSCHUDI, JOHANN JAKOB VON, 1818 - 1889
TYNDALL, JOHN, 1820 - 1893
UMBROVE, JOHANNES HERMANN FREDERIK, 1899 - 1954
UREY, HAROLD CLAYTON, 1893 - 1981
USSHER, JAMES, 1581 - 1656
VAN'T HOFF, JACOBUS HENRICUS, 1852 - 1911
VELTHEIM, WERNER VON, 1843 - 1919
VENETZ, IGNAZ, 1788 - 1859
VERBEEK, ROGIER DIEDERIK MARIUS, 1845 - 1926
VERNADSKY, VLADIMIR IVANOVICH, 1863 - 1945
VERNEUIL, PHILIPPE EDOUARD POULLETIER DE, 1805 - 1873
VILLUMSEN, KARL OLE RASMUS, 1907 - 1930
VINE, FREDERICK J., geb. 1939
VOGELSANG, HERMANN, 1838 - 1874
VOIGT, JOHANN CARL WILHELM, 1752 - 1821
VOLTZ, PHILIPP LOUIS, 1785 - 1840

WAAGEN, WILHELM HEINRICH, 1841 - 1900
WÄCHTERSHAUSER, GÜNTER, geb. 1938
WAGENBRETH. OTFRIED, 1927 - 2017
WAGNER, GEORG, 1885 - 1972
WAHNSCHAFTE, FELIX, 1851 - 1914
WALCH, JOHANN ERNST IMMANUEL, 1725 - 1778
WALCHNER, FRIEDRICH AUGUST, 1799 - 1865
WALCOTT, CHARLES DOOLITTLE, 1850 – 1927
WALLACE, ALFRED RUSSEL, 1823 - 1913
WALLING, E.. 20. Jh.
WALTHER, JOHANNES, 1860 - 1937
WARD, PETER, geb 1949
WARTH, H.
WASHINGTON, HENRY STEPHENS, 1867 - 1934
WATZNAUER, ADOLF, 1907 - 1990
WEAVER, THOMAS, 1773 - 1855
WEBER, CARL ALBERT, 1856 - 1931
WEBER, HEINRICH ALBERT, Sohn von vor., gefallen im Ersten Weltkrieg
WEBSTER, THOMAS, 1773 – 1844
WEGENER, ALFRED, 1880 - 1930
WEGENER, GEORG, 1863 - 1939
WGENER, KURT, Bruder von ALFRED W.
WEGMANN, CE'SAR EUGE'NE, 1896 - 1982
WEIGELT, JOHANNES, 1890 - 1948
WEISMANN, AUGUST, 1834 - 1914
WEIß/WEISS, CHRISTIAN SAMUEL, 1780 - 1856
WEIZSÄCKER, CARL FRIEDRICH von, 1912 - 2007

WHEWELL, WILLIAM, 1794 - 1866
WHISTON, WILLIAM, 1667 - 1752
WHITE, ISRAEL CHARLES, 1848 - 1927
WIECHERT, EMIL, 1861 - 1928
WILCKENS, OTTO, 1876 - 1943
WILDER, THORNTON, 1897 - 1975
WILFAHRT, MARTIN, 20. Jh.
WILKES, CHARLES, 1798 – 1877
WILLIS, BAILEY, 1857 - 1949
WILLISTON, SAMUEL WENDEL, 1852 - 1918
WILSON, JOHN TUZO, 1908 - 1993
WILSON, LEONARD H.
WINKLER (s. b. NIEUWENKAMP)
WINKLER, CLEMENS, 1838 – 1902
WINOGRADSKY, SERGEJ NIKOLAJEWITSCH, 1856 - 1953
WISSMANN, VON, 20 Jh.
WOLDSTEDT, PAUL, 1888 – 1973
WOLFF, LUDWIG FERDINAND VON, 1874 - 1952
WOODWARD, JOHN, 1665 - 1728
WOODWORTH, JAY B., erste Hälfte 20. Jh.
WREDE, KARL FRIEDRICH, 1766 - 1826
WRIGHT, THOMAS, 1809 - 1884
WÜST, EWALD, 1875 – 1934
WYSOTZKY, GEORGIJ NIKOLAJEWITSCH, 1865 - 1940
ZILLMER, HANS-JOACHIM. geb. 1950
ZIMMERMANN, ERNST, 1860 - 1944
ZIRKEL, FERDINAND, 1838 – 1912

ZITTEL, KARL (von), 1839 - 1904

ZÖLLNER, FRIEDRICH, 1834 - 1882

ZIRNSTEIN

1

Vergleich der geologischen 'Systeme' von HUTTON und WERNER

HUTTON	WERNER
Wiederkehr des Gleichen.	Einmaliger Ablauf der Ereignisse, keine Wiederkehr einmal erfolgter Gesteinsbildungsprozesse
Daher: Keine Feststellung der Entstehungsperiode der Gesteine möglich.	Gesteine periodengebunden, eine irreversible Geschichte der Erdkruste kann ermittelt werden
Alles Material der Erdkruste in einem Kreislauf, nach Abtragung der Kontinente entstehen aus ihren Verwitterungsprodukten am Meeresgrund dieselben Gesteine.	Es wird immer wieder 'Juveniles' in die Gesteinsbildung eingebracht
Die dem Festland eigenen Vorgänge werden erkannt	Das Grundsätzliche in der Erdkrustengestaltung erfolgt im Meer

Verwertung von Schichten für die Deutung der Erdgeschichte

zeitliche Einordnung der Schicht	fazielle Einordnung, Beurteilung der Ökologie einer Ablagerung
durch Leitfossilien	erschlossen aus den Fossilien, namentlich nach ökologischen Anpassungen, Bildungsumstände der Gesteine

Erkenntnisse über die Fossilien am Anfang des 19. Jahrhundert:

Aussterben zahlreicher Formen	Schicht - und damit Zeitgebundenheit vieler Formen
CUVIER, BLUMENBACH	CUVIER, SCHLOTHEIM

Synthetische Betrachtungen von ELIE DE BEAUMONT in der Geologie:

Abkühlung bewirkt Kontraktion (Schrumpfung) der Erde und dadurch Orogenesen	Orogenesen als Ursache der Katastrophen
---	--

Auffassungen über die Richtung der Hebungskräfte von Gebirgen:

Von unten nach oben , Hebung, durch vulkanische 'Kräfte'	Seitenkräfte , infolge schrumpfender Erde
v. BUCH	E. DE BEAUMONT, SUESS
Die Hebung senkrecht von unten nach oben bedingte symmetrischen Gebirgsbau	Seitenkräfte wirken, bei DE BEAUMONT aber einseitige Seitenwirkung noch nicht hervorgehoben.

Unterschied von Auffassungen bei WERNER und ELIE DE BEAUMONT

WERNER	DE BEAUMONT
Granit ältestes Gestein; da Granit die Zentralteile vieler Gebirge bildet die Gebirge am Anfang der Erdgeschichte entstanden	Gebirges haben verschiedenes Alter , auch, wenn in ihnen Granit ist der damit auch zu verschiedenen Zeiten entstand. Bei verschiedenen Alter die mit der Zeit zunehmende Abtragung deutlich.

Zusammenfassung: Gleichheit und Unterschiedlichkeit der Gesteinsbildung in der Erdgeschichte:

Bestimmte Gesteine entwicklungs - und damit zeitgebunden	Alle Gesteine konnten wenigstens prinzipiell zu jeder Periode der Erdgeschichte entstehen
A. G. WERNER, im 20. Jh. E. KAISER	HUTTON, LYELL; im 20. Jh. W. SALOMON

Zusammenfassung: Erkenntnisse über die Eiszeiten auf der Erde

Vergrößerte Gebirgsgletscher	Inlandeis	mehrfach im Quartär	mehrfach in der Erdgeschichte
-------------------------------------	------------------	----------------------------	---

Zusammenfassung: Auffassungen zu Magma

Von Anfang an verschiedene Urmagmen	Einheitliches Magma differenziert sich
R. BUNSEN	SARTORIUS VON WALTERSHAUSEN

Zusammenfassung: Durch exogene Faktoren bedingte Vorgänge

**Verwitterung durch chemische Prozesse, durch physikalische Prozesse, so
Insolation. Ergebnis etwa: Felszerfall.**

Meer: Abrasion. Transport.

**Fließendes Wasser: Erosion, Denudation, Transport von Geröllen. Ergebnis etwa
Talbildung. In Wüsten selten, aber teilweise gewaltige Ströme: Bildung von
Fanglomeraten.**

**Wind: Sandcutting, Deflation, Ablagerung. Ergebnis etwa: Dünen, Wüstenlack.
Eis (d. dort).**

ZIRNSTEIN