

VON NICOLAUS STENO BIS CHARLES LYELL.

**Theorien und Zeitvorstellungen in den Erdwissenschaften
vom 17. bis in das frühe 19. Jahrhundert.**

**Vortrag an der Karl-Franz-Universität zu Graz
im Juni 2009
von Mag. Dr. Johannes Seidl, MAS**

Meine sehr verehrten Damen und Herren!

Der folgende Vortrag soll einen kurzen und konzisen Überblick über rund 150 Jahre Entwicklung einer Wissenschaft bieten, die sich aus dem engen Korsett der theologisch-orthodoxen Bibelgläubigkeit sukzessive befreien und am Ende der Entwicklung zu einer empirisch-rationalen Wissenschaft werden konnte, die logisch-schlüssige Erklärungsmuster und Modelle für ihren Forschungsgegenstand zu geben vermochte.

Bei dieser Genese der Erdwissenschaften spielte die ständige Ausdehnung von Quantitäten der Zeitvorstellung, die für geologische und paläontologische Veränderungen in Anschlag gebracht werden mussten, eine ganz herausragende Rolle. Die Erklärung der empirisch-induktiv immer deutlicher fassbaren Modifikationen der Erdkruste, wie auch der Fossilfunde erforderten hinsichtlich ihrer Bildung Zeit, sehr viel Zeit sogar. Dieses ungeheuer viel mehr an Zeit, als es die Bibel im Buch Mose veranschlagte, musste das geowissenschaftliche Denken enorm beeinflussen und zwang die Erdwissenschaften, neue, rationale Erklärungsmuster für das beobachtete Geschehen zu suchen.

Der Schwerpunkt des Vortrages soll auf wissenschaftsgeschichtlichen Problemstellungen liegen, die ihrerseits auf geistesgeschichtlicher Basis fundiert sind. Einige wenige biographische Angaben sollen zum allgemeinen Verständnis der handelnden Persönlichkeiten beitragen.

Die Darstellung kann aufgrund der engen zeitlichen Vorgaben nur die Hauptetappen der erdwissenschaftlichen Forschung kurz und schlaglichtartig umreißen, wobei nicht minder interessante Zwischenstationen oder sogar rückläufige Ideen keine Beachtung finden können. Diese Zwischenglieder des erkenntnistheoretischen Prozesses würden einer genaueren und eingehenderen Darstellungen wohl wert sein, was etwa in einer Überblicksvorlesung zur Geschichte der Geowissenschaften geschehen könnte.

Die erste sprunghafte Entwicklung in den Erdwissenschaften setzte im späteren 17. Jahrhundert ein, im Zeitalter des Barock, als die Naturwissenschaften sich mehr und mehr von den antiken Autoritäten lösten und mit eigenständigen Methoden, d.h. mit empirisch-induktiver Denk- und Arbeitsweise an die Lösung von Problemen heranzugehen begannen. Der Aufbruch in diese erste „Moderne“ ist in den Erdwissenschaften mit dem Namen von Nicolaus Steno (1638 – 1686)



verbunden. Dieser in Kopenhagen geborene, an den Universitäten Kopenhagen, Rostock und Leiden ausgebildete Mediziner war bereits in jungen Jahren ein großartiger und weit bekannter Anatom gewesen. Im Jahre 1666 folgte Steno einer Einladung des Großherzogs Ferdinand II. von Toskana aus der Familie der Medici, der ihn zu seinem Leibarzt machte. Nur wenig später wurde er Mitglied der berühmten Accademia del Cimento, der zu jener Zeit mehrere Wissenschaftler von hohem Rang angehörten.

Was Steno zum eigentlichen Mitbegründer der Geowissenschaften machte, waren vor allem zwei Erkenntnisse. Zum einen der wissenschaftliche Nachweis, dass Fossilien keine Zufallsprodukte, keine Naturspiele, sondern Reste einstiger Lebewesen sind. Zum zweiten die Erkenntnis, dass Gesteine Informationen bergen, die über die Geschichte der Erde Auskunft geben, d.h. Steno kombinierte erstmals den Erdraum mit der Zeit.

Zunächst zur fundamentalen Entdeckung Stenos, welche die Auffassung von der Natur der Fossilien bleibend ändern sollte. Im Jahre 1667 wurde Steno der Schädel eines an der Küste gestrandeten Hundshais (Carcharias) von enormer Größe zugetragen. Der Anatom seziierte den Kopf und schließlich auch die Zähne des Tieres. Er stellte dabei fest, dass sie mit den vor allem aus Mergelgesteinen von Malta bekannten Glossopetren oder Zungensteinen genau übereinstimmten. Damit hatte Steno den Beweis für den tierischen Ursprung dieser Fossilien erbracht. 1667 publizierte Steno darüber eine wissenschaftliche Studie. Wenn nun aber die Glossopetren fossile Haifischzähne waren, in welchem Verhältnis stand dann das diese Überreste umgebende Gestein dazu? Als er vom Großherzog den Auftrag erhielt, die Bodenschätze des Territoriums zu erforschen, bot sich ihm die Gelegenheit, dieser Frage nachzugehen.

Seine bei diesen Feldforschungen gemachten Beobachtungen und Erkenntnisse publizierte er 1669 in seiner berühmten Schrift „De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus“ (= Vorläufer einer Abhandlung über die im Festgestein natürlicherweise enthaltenen festen Teile).

Steno untersucht in dieser Studie die Absatzgesteine der Toskana, die er Sedimente nannte, da er erkannt hatte, dass diese Absätze einer Flüssigkeit sind. Dabei unterschied er fossilführende, also detritäre und fossilfreie, chemische, Sedimente. Die in den Balze bei Volterra beobachteten, übereinander liegenden Schichten nannte Steno Strata, wobei er erkannte, dass diese Ablagerungen aus

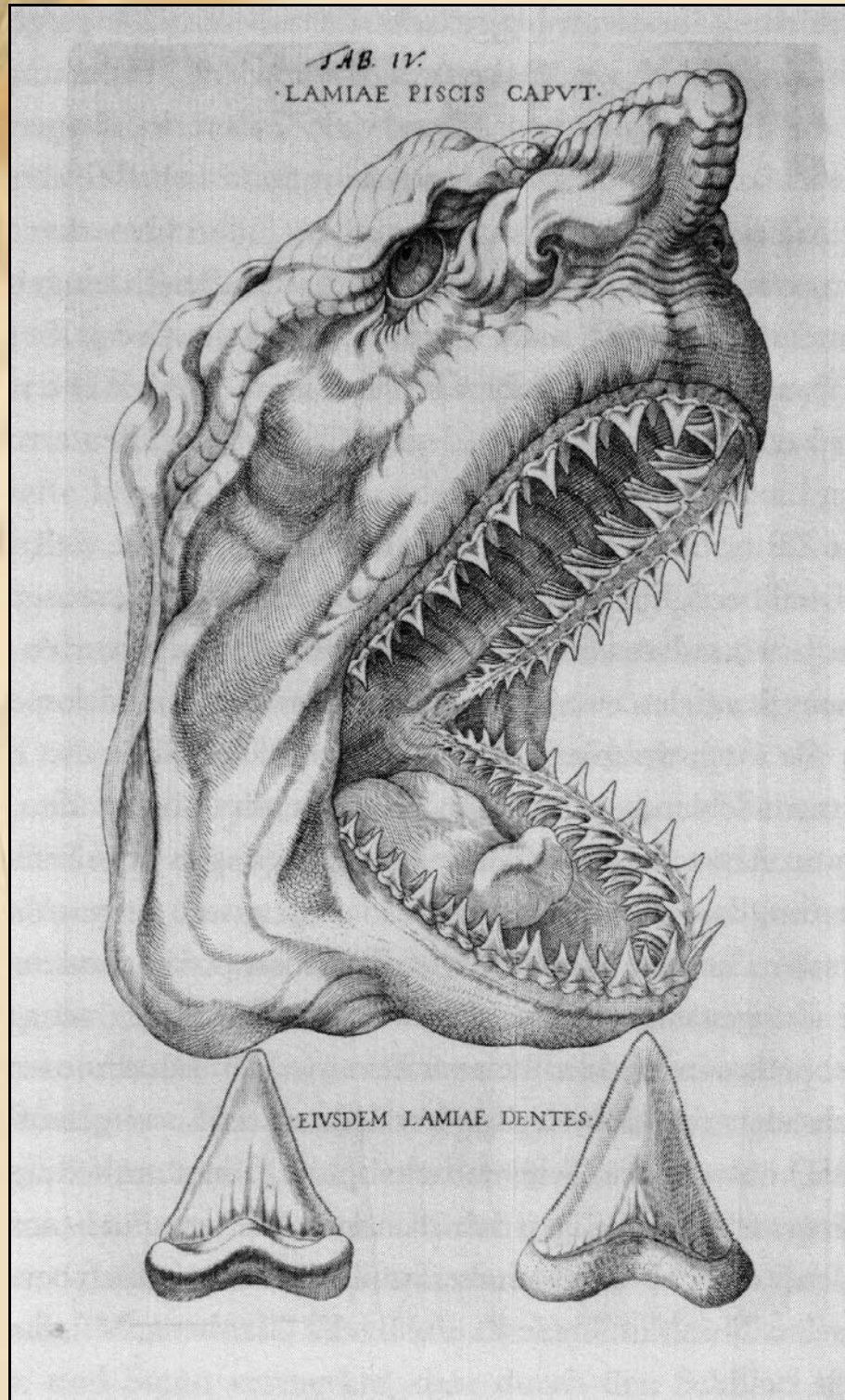


Abb. 2: Haifischkopfstudie von Nicolaus Steno

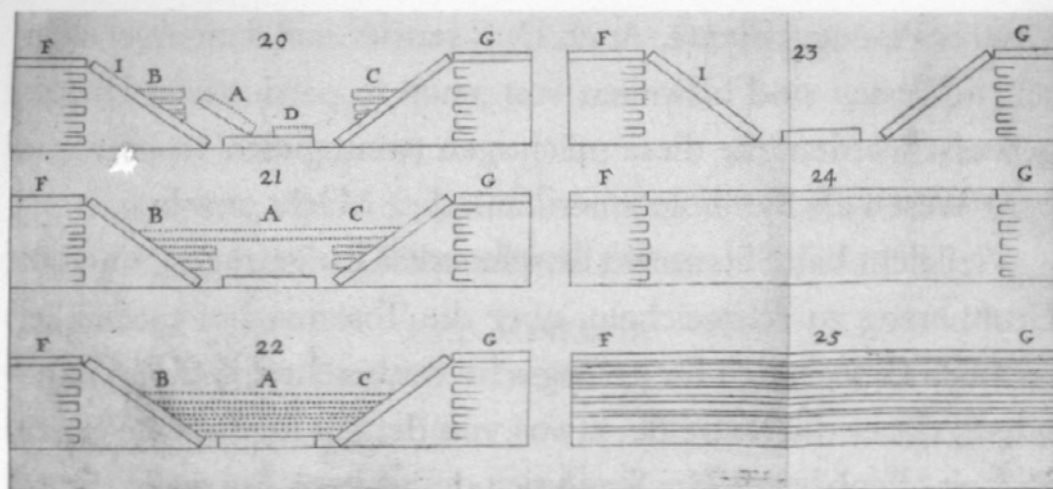
Flüssigkeit einer zeitlichen Abfolge unterliegen. Mit dieser Beobachtung brachte Steno die Geschichtlichkeit in die Erdwissenschaften ein.

Zudem formulierte Steno im „Prodromus“ eines der wichtigsten geologischen Grundgesetze, das „Lagerungsgesetz“, das Folgendes zum Ausdruck bringt:

- 1.) Jede Gesteinsschicht kann sich nur auf einer festen Unterlage bilden.
- 2.) Jede höhere Schicht muss sich als die jüngere über der schon verfestigten tieferen Schicht gebildet haben.
- 3.) Eine Gesteinsschicht muss bei der Bildung durch feste Körper begrenzt sein oder sich über die ganze Erde verbreiten.
- 4.) Während der Bildung einer sedimentären Gesteinsschicht kann sich darüber nur Flüssigkeit, aber kein Gestein befunden haben.

Steno formuliert im Lagerungsgesetz also zeitliche Relationen eines Vorher und Nachher, er erkennt somit die Bedeutung der Zeit für das geologische Geschehen. Wie groß aber war der Rahmen der zeitlichen Ausdehnung zur Zeit Stenos? Als Kind des 17. Jahrhunderts musste er seine zeitlichen Vorstellungen an die von der Bibel vorgegebenen Rahmenbedingungen anpassen. Seit dem 7. Jahrhundert existierten Versuche, das Alter der Erde aufgrund der Angaben im Alten Testament zu errechnen. Die scheinbar genaueste Datierung des Alters unseres Planeten stammt von dem irischen anglikanischen Theologen und Erzbischof von Armagh James Ussher (1581-1656), der in seinen 1650 erschienenen „Annales veteris testamenti a prima mundi origine deducti“ den Vorabend des 23. Oktober 4004 vor Christus errechnete. Die Sintflut fand gemäß Ussher 2501 vor Christi statt. Dieses enge zeitliche Korsett sollte erst rund 100 Jahre nach Stenos Wirken eine deutliche Ausdehnung erfahren.

Bevor wir unsere Aufmerksamkeit dieser Spätphase der Aufklärung zuwenden, wollen wir uns mit einer Persönlichkeit befassen, welche die Grundlage für eine Systematisierung der unbelebten und belebten Natur geschaffen hat, ohne die die weitere Erfassung dynamischer Entwicklungsideen gar nicht möglich gewesen wäre. Aus diesem Grund müssen wir uns kurz mit Carl von Linné (1707 – 1778) befassen. Insbesondere durch die Entdeckungsfahrten des 15. und 16. Jahrhunderts hatte die Kenntnis der Formenvielfalt enorm zugenommen. Die Fülle neuer Formen – um 1700 waren bereits 18.000 Pflanzenarten bekannt – erzeugte



Stenos geologischer Querschnitt der Toskana mit den sechs verschiedenen Entwicklungsstadien. Die Reihe beginnt mit Schaubild 25 (unten rechts) und endet mit Schaubild 20 (oben links). Steno stellte sich zwei Zyklen vor, bei denen jeweils Sedimentschichten abgelagert werden, die dann durch die Entstehung von Höhlen ausgewaschen werden und schließlich einstürzen und dadurch Täler entstehen lassen. Durchgehende Linien stehen für Steinschichten, gepunktete für Sandschichten, denen «auch verschiedene tonige und felsige Schichten eingemengt sein mögen». Nicolaus Steno, *De solido* (Florenz, 1669).

einen enormen Empiriedruck, der einerseits nach einer Vereinheitlichung des Namens zur besseren Verständigung und andererseits nach einer Eingliederung in eine Systematik verlangte.

Eine Vorstufe hierfür waren die mittelalterlichen Kräuterbücher, die durch die Angabe des in der jeweiligen Volkssprache gebräuchlichen Namens mit der lateinischen Bezeichnung den Ärzten und Apothekern wichtige Hinweise gaben. Nachdem im 16. Jahrhundert Anfänge einer Systematik durch das Herausarbeiten von Merkmalen bei Pflanzen und Tieren erarbeitet worden waren, kam es im späten 17. Jahrhundert durch den Engländer John Ray (1627 - 1705) und seinen Schüler Francis Willughby (1635 - 1672), die Westeuropa und Italien durchforscht hatten, zum Versuch einer Gliederung nach morphologischen Kriterien. Kein Zweifel bestand hinsichtlich der Unveränderlichkeit der Arten seit der Schöpfung, Evolution existierte für die beiden Forscher somit nicht. All ihren Erkenntnissen fehlte die Dimension der Zeit. In diese Gedankenwelt wurde 1707 auch Carl von Linné, Sohn eines schwedischen Pastors, hineingeboren. Linné, der Medizin in Lund, Uppsala und Leiden studierte, war vor allem an der Botanik interessiert. In Hardewijck 1735 zum Doktor der Medizin promoviert, publizierte er in Leiden im gleichen Jahr die 1. Auflage seines „Systema Naturae“, das noch zwölf weitere Auflagen erleben sollte. Die Grundlage für sein Werk fand Linné in der Bibel, in der die Schöpfung in klare, aufeinander folgende Abschnitte gegliedert war; aus der in der Heiligen Schrift vorgegebenen Stufenfolge von den Steinen zu den Pflanzen, danach zu den Tieren und zuletzt zur Krone der Schöpfung, zum Menschen, ergab sich für Linné gleichsam eine Stufenleiter der Lebewesen, die jedoch miteinander nicht verwandt waren. Linné ordnete die bekannten Organismen nach einem straff gegliederten, hierarchischen System und gilt als der Begründer der Taxonomie. Die 10. Auflage seines Hauptwerkes „Systema Naturae“ aus dem Jahre 1758 ist bis heute der Fixpunkt der zoologischen Nomenklatur. Nach der Prioritätsregel sind alle Namen vor dem 1. Jänner 1758 ungültig. Linné schuf die binäre Nomenklatur, deren Basis die Art ist; ihre Bezeichnung ist zweiteilig: der Artnamen besteht stets aus einem Gattungsnamen und einem Art-Beinamen.

Im Jahre 1744 entwickelte Linné eine Theorie, der zufolge die Erde bei der Schöpfung eine Insel war, die von jeweils nur einem Artenpaar besiedelt war. Die Fortpflanzung der Organismen machte eine Vergrößerung dieser Insel notwendig, was durch ein Absinken des Meeresspiegels erfolgte. Überdies war Linné von der



Abb. 3: Carl von Linné, Portrait

Existenz der Sintflut überzeugt. Die ökologischen Schwierigkeiten, die sich aus dem Zusammenleben vieler verschiedener Tiere in einer einzigen geografischen Region, dem Berg Ararat, wo die Arche Noah gestrandet ist, ergeben, erklärte er gemäß der Darstellung von Ernst Haeckel in dessen Werk „Natürliche Schöpfungsgeschichte“, 6. Auflage (Berlin 1875) folgendermaßen:

„Der Ararat in Armenien, in einem warmen Klima gelegen, und bis über 16.000 Fuß Höhe aufsteigend, vereinigt in sich Bedingungen für den zeitweiligen gemeinsamen Aufenthalt auch solcher Tiere, die in verschiedenen Zonen leben. Es konnten zunächst also die an das Polarklima gewöhnten Tiere auf den kalten Gebirgsrücken hinaufklettern, die an das warme Klima gewöhnten an den Fuß hinabgehen, und die Bewohner der gemäßigten Zone in der Mitte der Berghöhe sich aufhalten. Von hier aus war die Möglichkeit gegeben, sich über die Erde nach Norden und Süden zu verbreiten.“

In bemerkenswertem Widerspruch zu seinem starren Speziesbegriff steht Linnés Ansicht, dass Bastardzeugung, der sogenannten Hybridismus, sehr wohl zur Bildung neuer Arten führen kann. Er nahm an, dass eine große Zahl von selbständigen Arten durch Vermischung zweier verschiedener Spezies entstanden sind. Dieser Widerspruch veranlasste den bereits genannten Ernst Haeckel zu der Aussage:

„Wenn man die sonstige Klarheit des scharfsinnigen Linné erwägt, darf man vielleicht zweifeln, dass er selbst daran glaubte.“

Ab der Mitte des 18. Jahrhunderts begann sich die Auffassung von der Zeit deutlich zu ändern. Anstatt eines zusammenhanglosen Nacheinander von Geschehnissen, wie es beispielsweise die Schöpfungsgeschichte bietet, trat nunmehr immer deutlicher die Erkenntnis eines zeitlichen Zusammenhangs von Ereignissen in den Vordergrund. Es war bereits die Rede von der Zeitberechnung christlicher Autoren in Bezug auf das Alter der Erde. Alle diese Berechnungen gingen von einem Alter von rund 6.000 Jahren aus. Durch die immer präziseren Forschungen in den Naturwissenschaften, die durch das im 18. Jahrhundert mächtig um sich greifende Publikationswesen – man denke etwa an die große Encyclopédie von Diderot und d’Alembert – breitere Bevölkerungsschichten erfasste, war diese kurze Zeitspanne kaum noch aufrechtzuerhalten. Neben Immanuel Kant (1724 – 1804), der in seinem 1755 erschienenen Werk „Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels“ das Universum als ein in Raum und Zeit unendliches System erklärte und die Natur



Abb. 4: Georges Leclerc de Buffon, Portrait

als veränderlich darstellte, ist insbesondere der französische Naturforscher Georges Louis Leclerc de Buffon (1707 – 1788) als Bahnbrecher in der Zeitauffassung von der Dauer der Prozesse in der Natur zu nennen.

Buffon wurde 1707 im burgundischen Montbard als Sohn eines Juristen geboren. Nach Studien der Medizin, Botanik und Mathematik ererbte er den Familienbesitz in Montbard sowie ein beträchtliches Vermögen, das es ihm erlaubte, seinen naturwissenschaftlichen Interessen nachzugehen. 1739 von Ludwig XV. zum Intendanten des „Jardin du Roi“ in Paris ernannt, begann Buffon 1749 mit der Publikation seines gigantischen Werkes, der „Histoire Naturelle générale et particulière“, das imposante 44 Bände umfassen sollte und dem Autor zu Weltruhm verhalf. In diesem Oeuvre gewaltigen Ausmaßes wollte Buffon unter Mitarbeit anderer Autoren ähnlich wie die Enzyklopädisten sämtliche naturwissenschaftlichen Kenntnisse seiner Zeit über Kosmologie, Geologie, Anthropologie und Biologie darstellen. Der 2. Abschnitt des Werkes befasst sich mit erdwissenschaftlichen Inhalten, worauf ich besonders fokussieren möchte.

Seit Nicolaus Steno beruhten die erdwissenschaftlichen Theorien auf der Annahme der mit der Bibel konformen Sintflut. Buffon lehnte diese aus naturwissenschaftlichen Gründen ab. Für ihn war die Verteilung der Ozeane und des Festlandes sowie die Bildung der Gebirge und Flüsse von Bedeutung, wofür er vor allem exogene Faktoren, also die Abtragung der Gebirge und die Verfrachtung des Materials über die Flüsse ins Meer, verantwortlich machte. „Damit ersetzte“, wie Helmut Flügel 2004 in seinem Werk „Der Abgrund der Zeit“ schreibt, „Buffon, ohne dies auszusprechen, das schöpferische Wirken Gottes durch ein Naturgesetz, welches ihm ermöglichte, die Entwicklung der Schichten der Gesteine, die Bildung mariner Fossilien, das Wachstum der Kontinente auf der einen Seite, ihre Abtragung auf der anderen Seite und vieles mehr, ohne Rücksicht auf die biblische Ansicht einer Flut, zu erklären.“

Um diesem langwierigen erdgeschichtlichen Prozessen einen angemessenen Zeitrahmen zu geben, verfiel Buffon auf einen zyklischen Ablauf des Geschehens.

Im Jahre 1778 publizierte er sein zweibändiges Werk „Epoques de la nature“, in dem er erstmals eine Historizität der Erdentwicklung formulierte. Ich gebe im Folgenden die wichtigsten Aussagen dieser Darstellung nach Bernhard Hubmanns erst heuer erschienenem Buch „Die großen Geologen“ wieder. Die Geschichte der Erde soll sich gemäß Buffon in sieben Phasen abgespielt haben. Während der ersten

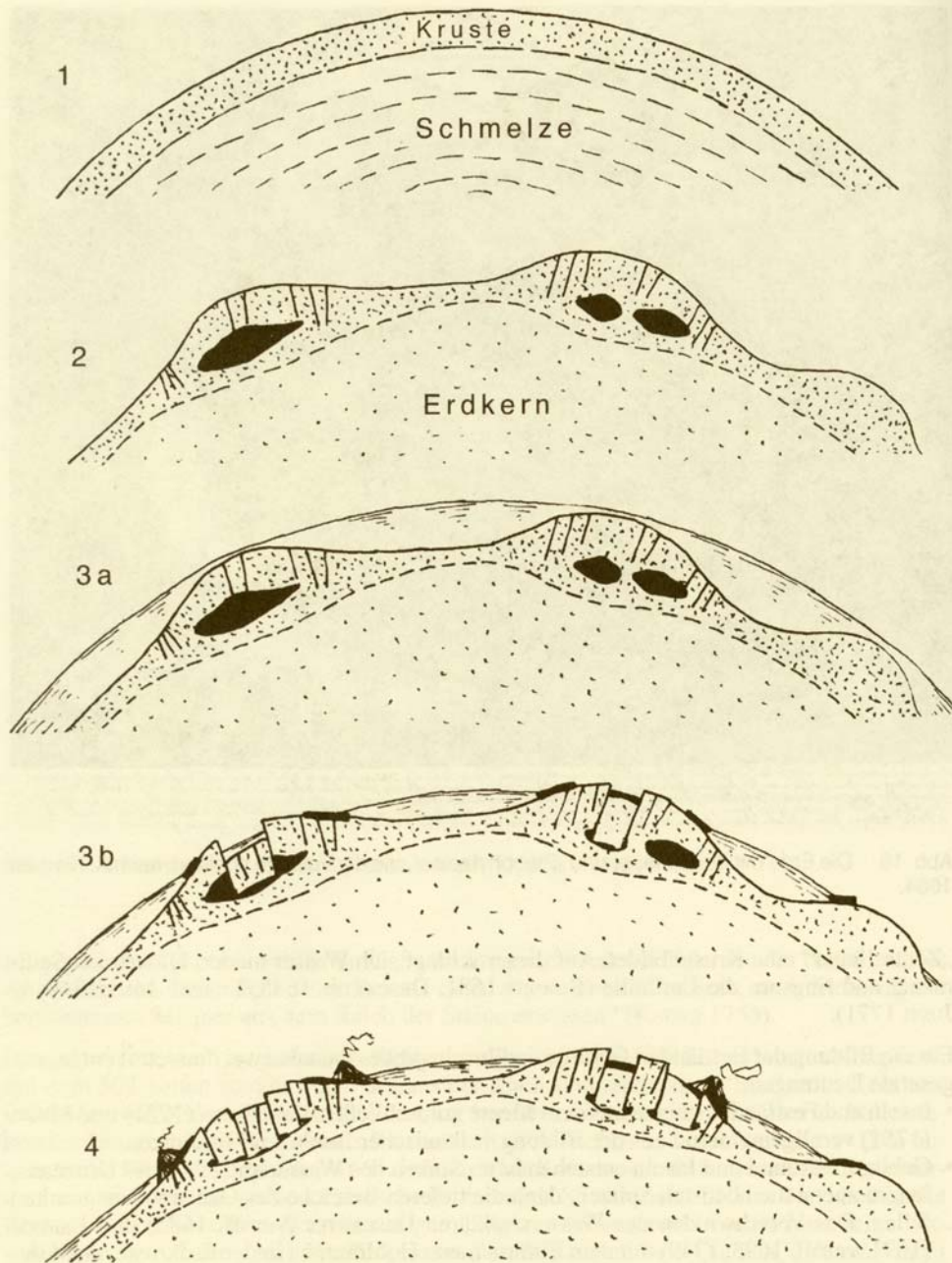


Abb. 19 Schematische genetische Profilreihe zu BUFFONS THEORIE DER ERDGESCHICHTE.
1 erste Erdkruste, 2 Becken, Hauptgebirge, Hohlräume, Erdkern erstarrt, 3 a Wasserhülle,
3 b erste Einbrüche und Steinkohlenflöze, 4 weitere Einbrüche, dadurch weiteres Sinken des
Meeresspiegels, 4 Vulkane über Steinkohlenflözen.

Abb. 5: Genetische Profilreihe von Buffon

Phase stieß ein Komet mit der Sonne zusammen, wobei Material herausgeschleudert wurde, aus dem sich die Planeten bildeten. Auch die Erde entstand bei dieser Kollision, war zunächst schmelzflüssig, bildete jedoch nach 3.000 Jahren durch Abkühlung eine feste Kruste.

In Phase 2 hatte sich die Erde bis zum Mittelpunkt verfestigt, wobei innerhalb der Gesteinsrinde durch Abgasungen Hohlräume entstanden. Durch die nun regelmäßige Kontraktion der Erdrinde entstanden Becken und Hauptgebirge. Umgeben wurde die Erdkugel von den sich bei der Abkühlung verflüchtigenden Materialien in einer Art Uratmosphäre.

In der 3. Phase setzte sich nach 15.000 bis 20.000 Jahren aus dieser Atmosphäre Wasser ab, das zu Ozeanen answoll, welche die Becken und Tiefen zwischen den Gebirgen füllten; Buffon nahm eine Wasserhöhe von 3.900 Metern an, sodass nur die höchsten Berggipfel aus dem Wasser herausragten. Das noch heiße Wasser transformierte die glasigen Schlacken der Gebirge in Tone, Mergel und Sande, die sich schließlich am Becken der Ozeane als Sedimente absetzten. Durch das Einbrechen von Hohlräumen senkte sich der Meeresspiegel. Auf diese Weise entstand Land, auf dem sich als erste Organismen die Pflanzen festsetzten, aus deren Resten sich in Folge die Steinkohlenflöze bildeten.

Die 4. Phase war durch einen rund 5.000-jährigen Vulkanismus geprägt, der durch brennbare Materialien, die in der Erdrinde vorhanden waren, Nahrung erhielt. In weiterer Folge bildeten sich durch Volumenreduktionen erneut Einbrüche, die wieder einen Rückzug des Meeres zur Folge hatten.

Während in Phase 5 die zunehmende Abkühlung zur Entstehung von Klimazonen führte, fanden in Phase 6 erneut Einbrüche statt, die zur Trennung der Landmassen und der jetzigen Verteilung von Land und Meer führten. In jener Epoche bevölkerte bereits der Mensch die Erde und erlebte diese Phase als Sintflut.

Phase 7 ist die Gegenwart, die von einer Prädominanz des Menschen gekennzeichnet ist. Dieser Zeitraum wird so lange andauern, bis die Erde eine um 25 mal tiefere Temperatur als gegenwärtig erreicht hat, wodurch alles völlig erstarrt.

Für den Vorgang von Phase 1 bis zur Gegenwart errechnete Buffon aufgrund von Experimenten, die er an einer Eisenkugel vorgenommen hatte, einen Zeitraum von rund 75.000 Jahren.

Die Geologie musste Systemcharakter erlangen, um sich als Wissenschaft etablieren zu können. Die einzelnen Abstraktionen, die bereits erarbeitet worden

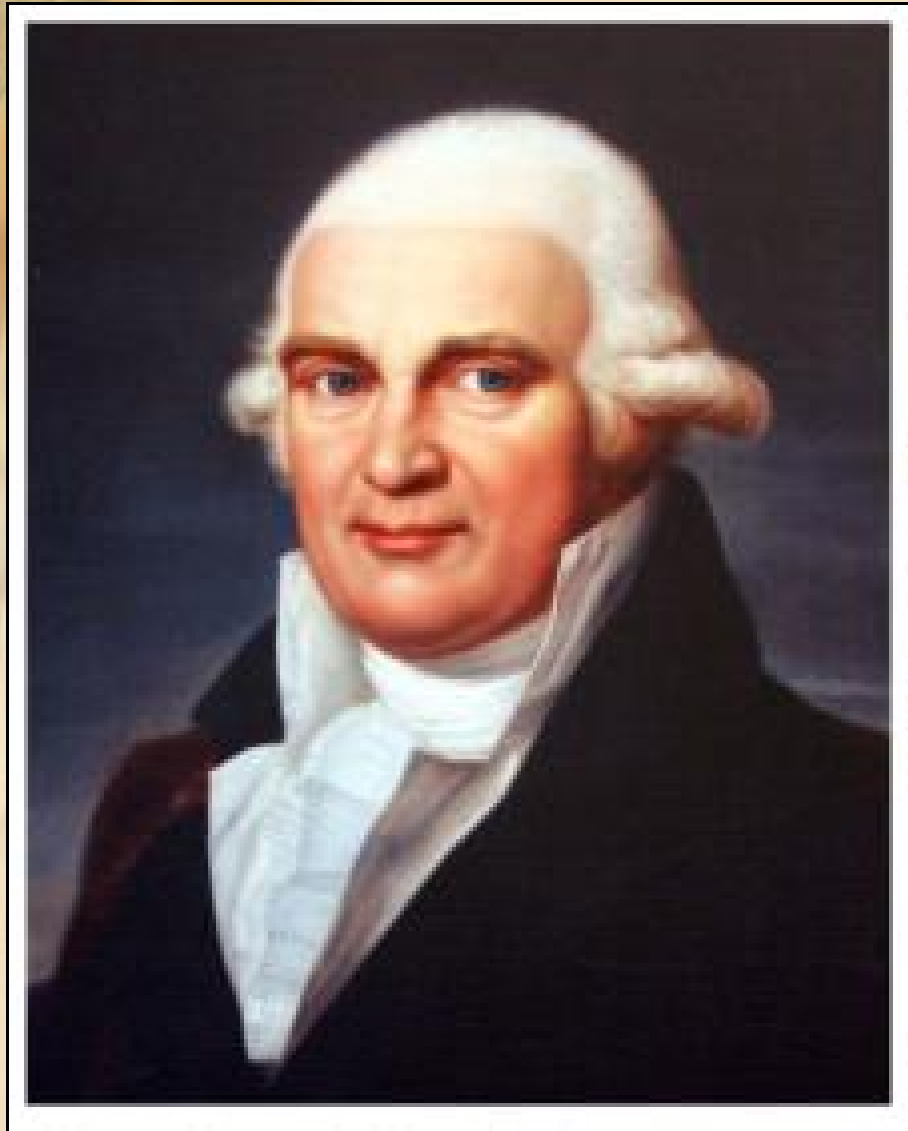


Abb. 6: Abraham Gottlob Werner, Portrait

waren, mussten zu einer Gesamtheit integriert werden, um die einzelnen Segmente zu einem ganzheitlichen Gebilde zu formen. Für die Herausbildung der Geologie als Wissenschaft war eine globale Theorie notwendig, in die grundlegende geologische Abstraktionen eingingen und die Ausdruck des erreichten Wissens der geologischen Erkenntnis war.

Zu Ende des 18. Jahrhunderts bildeten sich in Europa zwei miteinander konkurrierende geologische Theorien aus, die zwar beide den historischen Werdeprozess der Erde anerkannten, bei der Deutung der geologischen Ereignisse jedoch von unterschiedlichen Voraussetzungen ausgingen.

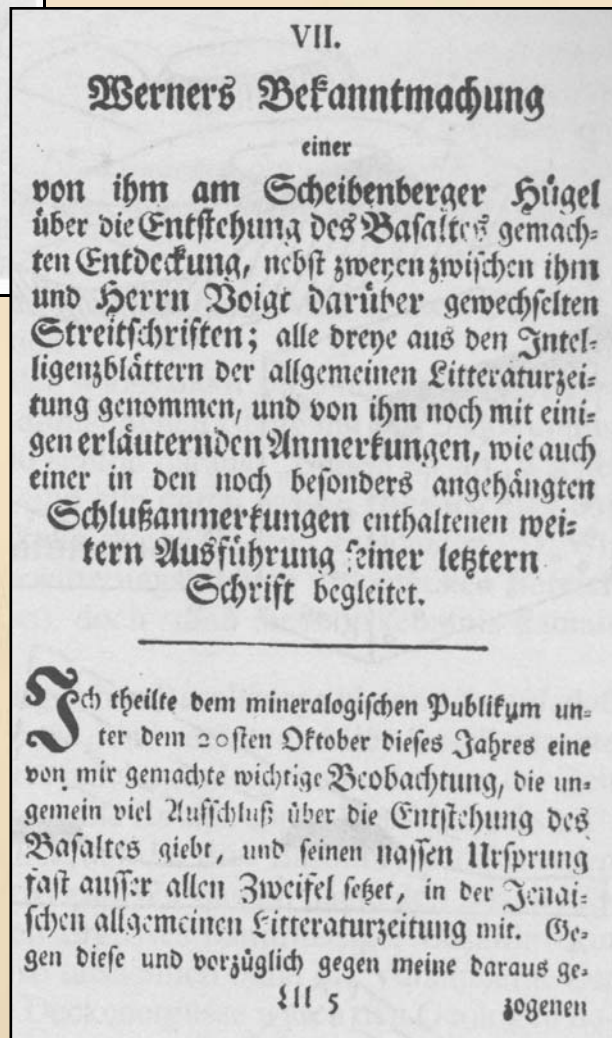
Während der von Abraham Gottlob Werner (1749 – 1817) vertretene Neptunismus sämtliche geologischen Erscheinungen und Bildungen als aus dem Wasser entstanden erklärte, versuchte der von James Hutton (1726-1797) begründete Plutonismus die geologischen Prozesse auf die Einwirkung von Hitze und Feuer auf die Erdkruste zu deuten.

Abraham Gottlob Werner, der 1747 als Sohn eines sächsischen Eisenhüttenwerkspektors geboren wurde, studierte von 1769 bis 1771 an der 1765 gegründeten Bergakademie in Freiberg, um danach bis 1774 an der Universität Leipzig Kameralwissenschaften zu studieren. Im Jahre 1775 wurde er an die Bergakademie zu Freiberg berufen, wo er als Professor für Mineralogie und Bergbaulehre bis zu seinem Tod im Jahre 1817 wirkte. Werner löste während seiner Lehrtätigkeit die Mineralogie von der Bergbaukunde und lehrte auch das Fach Geognosie, das er auf eine reine Beschreibung der Erdkruste beschränkte, also deskriptiv auffasste. Diese Geognosie stellte er bedeutungsmäßig über die Geologie, welche die Veränderungen der Erdkruste im zeitlichen Ablauf darstellte und hypothetische Aspekte zulässt. Diese Suprematie der Geognosie gegenüber der Geologie wurde von Werners Schüler Friedrich Mohs (1773 – 1839), der als Professor für Mineralogie an der Universität Wien wirkte, und dessen Adepten Franz Xaver Maximilian Zippe (1791- 1863) auch an der Alma Mater Rudolphina festzumachen versucht. Dies führte zu einer teilweise polemischen akademischen Auseinandersetzung zwischen Zippe und dessen jüngeren Professorenkollegen Eduard Sueß (1831 – 1914) und Carl Ferdinand Peters (1825 – 1881) in den frühen 60-er Jahren des 19. Jahrhunderts.

Doch zurück zu Abraham Gottlob Werner und zur Freiburger Bergakademie. Im Verlauf seiner dortigen Tätigkeit wandelte sich Werners Vorstellung von der



Abb. 7: Die wichtigsten Werke
von A. G. Werner



systematischen Mineralklassifikation auf der Grundlage äußerer Merkmale hin zu einer historisch orientierten Deutung des Erdgeschehens. Das Resultat dieser Umorientierung war Werners Publikation aus dem Jahre 1787 mit dem Titel „Kurze Klassifikationen und Beschreibung der verschiedenen Gebirgsarten“. In dieser Studie entwickelte Werner seine Theorie der Erdentwicklung. Werners Vorstellungen gingen von der Annahme aus, dass sämtliche Gesteine Ablagerungen eines Ozeans wären, der ursprünglich die gesamte Erde umspannt hätte. Die in diesem Urmeer gelösten Stoffe unterschiedlichster Zusammensetzung kristallisierten nach und nach am unregelmäßig geformten Kern aus, wobei sich zunächst die fossilereen, kristallinen Gesteine absetzten, also Granit, Gneis, Glimmerschiefer, Tonschiefer; darüber folgten die Flözgebirge mit Seefossilien; als dritte Hauptgebirgsabteilung bezeichnete Werner die vulkanischen Gebirge, die er in echtvulkanische und pseudovulkanische teilte. Zuletzt entstand aus Sanden und Kiesen als Aufschüttungsprodukte der Flüsse das aufgeschwemmte Gebirge. Werner entwickelte mit dieser Theorie eine relative zeitliche Abfolge der Gesteine, eine Lithostratigraphie. Diese in sich geschlossene Theorie der Gesteinsentstehung erhielt den Namen Neptunismus, eine Bezeichnung, die bereits in der Antike bekannt war. Da Werner seine Idee der wässrigen Gesteinsentstehung auch auf eindeutig vulkanische Gesteine ausdehnte, geriet er in Konflikte mit den Vulkanisten. Bereits 1788 veröffentlichte Werner seine „Bekanntmachung einer von ihm am Scheibenberg über die Entstehung des Basaltes gemachten Entdeckung“, die die Kontroverse um den Ursprung vulkanischer Gesteine einleitete. In dieser Schrift deutete er die erzgebirgischen Basaltberge als aus wässrigem Niederschlag entstanden.

Man muss aus heutiger Sicht feststellen, dass die niedrig gelegenen vulkanischen Deckenergüsse, die Werner als Erosionsreste eines einst mächtigen Lagers ansah, tatsächlich schwer zu deuten waren, zumal ihnen der Förderschlot fehlt. Da Werner große Vulkane wie den Vesuv nie gesehen hatte, und sich seine Beobachtungen auf längst erloschene und weitgehend abgetragene Vulkane seiner sächsischen Heimat beschränkten, ist seine Fehleinschätzung durchaus einsehbar.

Bei Werners Theorien spielt der Zeitfaktor eine große Rolle, ging er doch von für seine Zeit ungeheuer langen Zeiträumen der Existenz unserer Erde aus. Er dachte an ein Alter von einer Million Jahren.

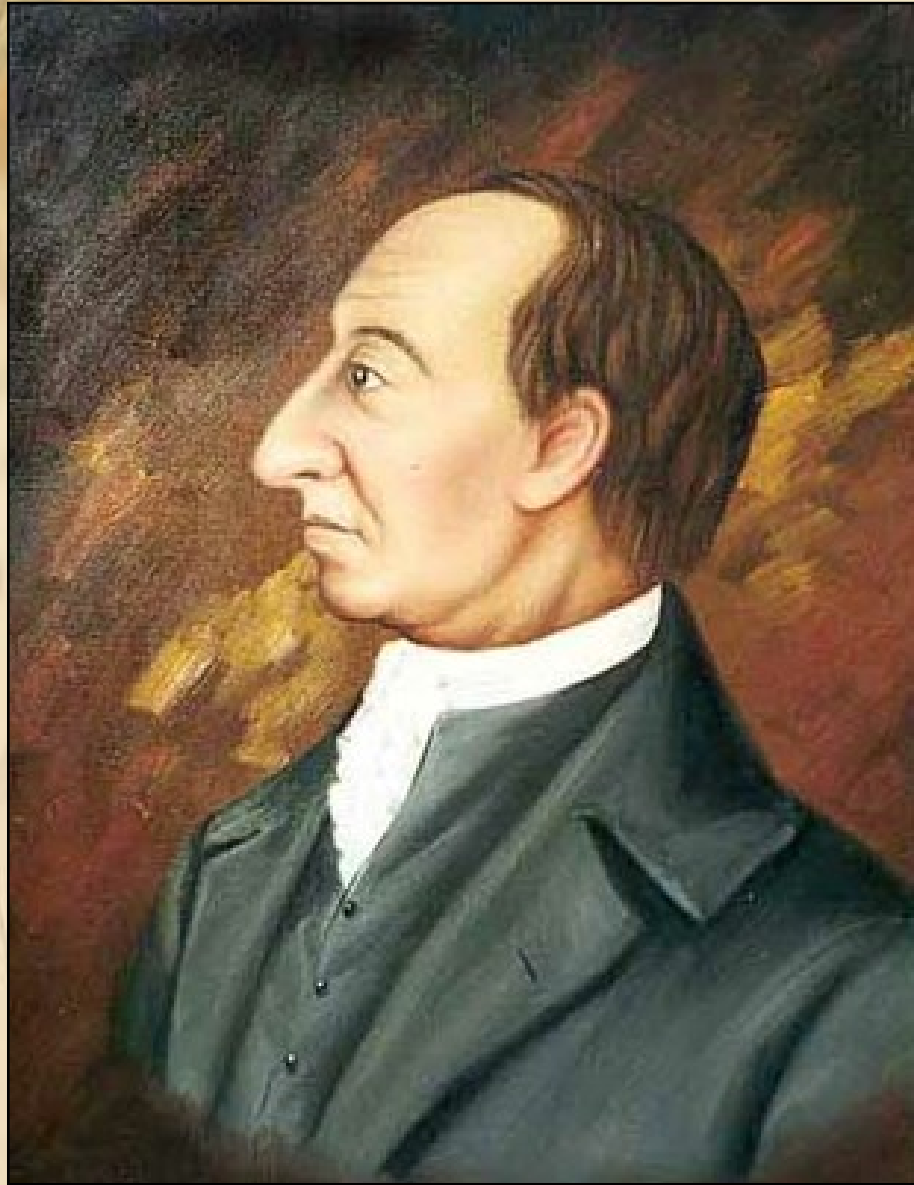


Abb. 9: James Hutton, Portrait

Werners neptunistische Theorie wurde von einigen seiner eigenen Schüler wie Leopold von Buch (1774 – 1853) und Alexander von Humboldt (1769 – 1859) angefochten, die sich vom Neptunismus ab- und dem Plutonismus zuwandten.

Die Theorie des Plutonismus ist aufs engste mit dem Namen von James Hutton verbunden. Geboren als Sohn des Kaufmanns und Stadtkämmerers von Edinburgh, William Hutton, studierte er Chemie, Anatomie und Medizin. 1749 erwarb er das medizinische Doktorat an der Universität Leiden mit einer Dissertation über den Blutkreislauf. Nach seiner Rückkehr nach Edinburgh wandte sich Hutton der Landwirtschaft zu. Nach einigen landwirtschaftlichen Studienreisen ließ er sich auf dem väterlichen Landgut in Berwickshire nieder, wo er verbesserte Anbaumethoden einführte. Aus seinen landwirtschaftlichen Erfahrungen kannte Hutton das Problem der Denudation, die darin besteht, dass einerseits Bodenbildung durch Verwitterung entsteht, es andererseits aber zur Abtragung fruchtbaren Bodens kommt. Dieser Prozess war für Hutton nur erklärbar, wenn die Erde imstande wäre, sich selbst wiederherzustellen, das ins Meer transportierte Material also in einem Kreislauf erneut der Bodenbildung zugeführt wird; dies war nur möglich, wenn es zu einer Verfestigung des abgelagerten Materials zu Gestein, der Hebung des Meeresbodens zu Land und dessen neuerlicher Verwitterung und Abtragung kam. Hutton begann nun, diese Beobachtungen auf eine Entstehungstheorie der ganzen Erde auszudehnen. Wichtigster Ausgangspunkt für seine Überlegungen war die Existenz eines zentralen Erdfeuers, das den Meeresboden emporhob und selbst aufsteigend die dort abgelagerten Sedimente zu gebirgigen Kontinenten auffaltete. Durch die Erosion wurden sie wieder abgetragen. Es war dies also ein zyklisches Wirken endogener und exogener Kräfte in endloser Zeit.

Bei diesem immerwährenden Kreislauf genügt logischerweise das Studium gegenwärtiger Zustände, um auf Vergangenes oder Künftiges zu schließen, wie Hutton schon im 1. Teil seines Hauptwerkes „Theory of the Earth“, in der er seine Ideen zur Darstellung brachte, 1788 feststellte. Zudem hatte Hutton die Theorie aufgestellt, dass sehr langsam wirkende Prozesse die Erdoberfläche gestalten. Damit hatte Hutton das geologische Konzept des Aktualismus erdacht, das sein schottischer Landsmann Charles Lyell noch weiter entwickeln sollte und das bis heute in den Erdwissenschaften unabdingbar ist.

Aus der geringen Geschwindigkeit der von ihm beobachteten geologischen Prozesse schloss Hutton auf ein sehr hohes Alter der Erde, was ihn in Konflikt mit

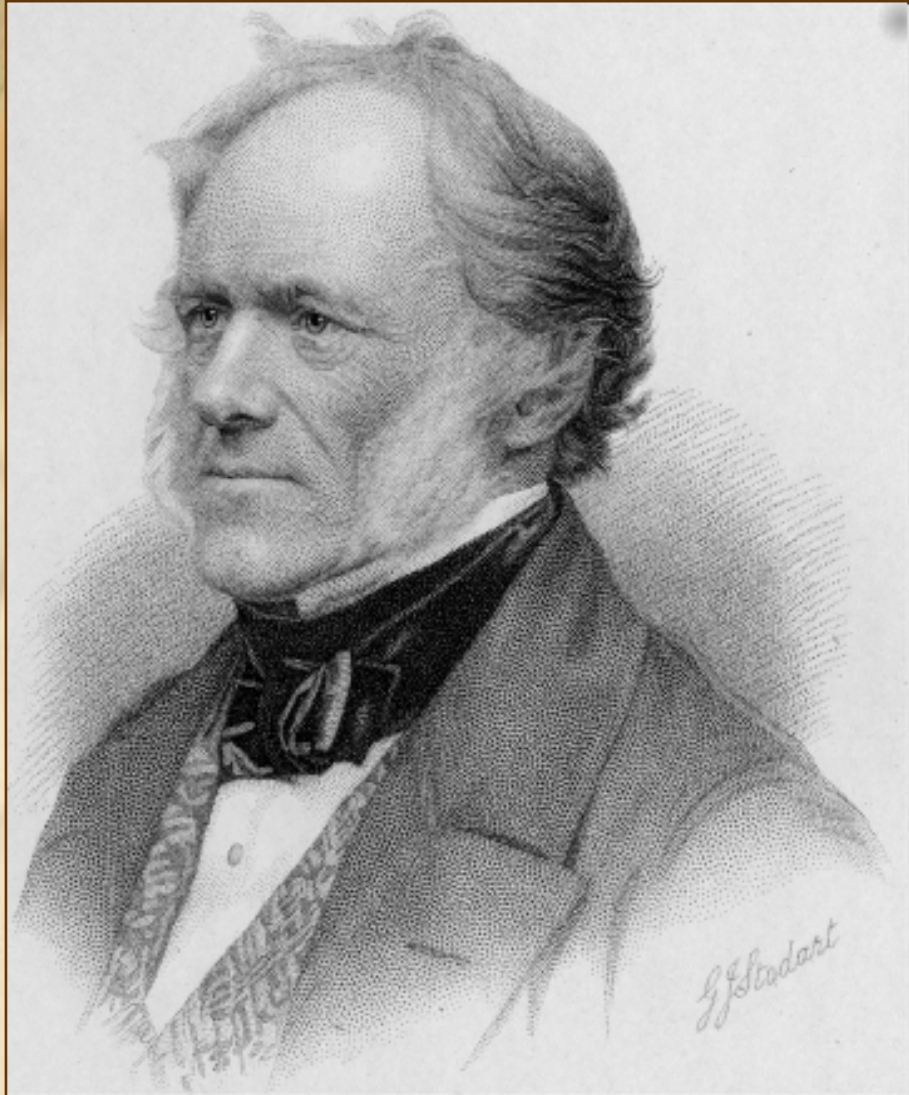


Abb. 10: Charles Lyell, Portrait

kirchlichen Kreisen brachte, die am biblischen Schöpfungsbericht festhielten, wonach die Erde 6.000 Jahre alt wäre. Ebenso erregte Huttons Vorstellung von einer sich selbst immer wieder in Zeitzyklen erneuernden Erde die Kritik durch der Kirche nahestehende Persönlichkeiten.

Auch von neptunistischer Seite wurde Kritik geübt, da Hutton die wesentlichsten geologischen Gestaltungskräfte durch ein Zentralfeuer gespeist sah. Huttons Werk wurde wegen dessen komplizierter Ausdrucksweise zunächst wenig rezipiert. Zur Popularisierung seiner Ideen trug der Mathematiker und Hutton-Apologet John Playfair (1748 – 1819) mit seinen „Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth“, die 1802 erschienen, ganz erheblich bei.

Der von James Hutton begründete Aktualismus, der im anglo-amerikanischen Sprachraum Uniformitarianism genannt wird, wurde von dem schottischen Juristen und geologischen Autodidakten Charles Lyell (1797 – 1875) aufgegriffen und weiter verfeinert. Sein bedeutendstes Werk, die „Principles of Geology“, erschien von 1830 bis 1833 in drei Bänden und erlebte zwölf Auflagen. Gestützt auf überaus reichhaltiges empirisches Material, das er auf zahlreichen Forschungsreisen gewonnen hatte, entwarf Lyell ein kohärentes Gedankengebäude des Aktualismus, dessen Grundaussage darin besteht, dass die gegenwärtig zu beobachtenden geologischen Vorgänge vollkommen ausreichen, um auch große Veränderungen an der Erdoberfläche zu bewirken. Die Voraussetzung für diese Wirkungsmächtigkeit freilich sind sehr lange Zeiträume, in der die genannten Prozesse wirken können.

Die evolutionäre Entwicklung von Lebewesen lehnte Charles Lyell lange ab. Neue Arten entstanden nach seiner Ansicht durch das spontane Wirken einer kreativen Kraft, während Lyell Änderungen des Fossilbestandes in den verschiedenen Sedimenten durch beständige, langsame Hebungen und Senkungen der Erdkruste erklärte.

Obwohl Charles Darwin (1809 – 1882) später den extremen Aktualismus Lyells zurückwies – vollkommen gleiche äußere Bedingungen die gesamte Erdgeschichte hindurch würden jedwede Evolution unmöglich machen, zog er aus Huttons und Lyells Vorstellungen wertvolle Schlüsse: Die Erde musste tatsächlich sehr alt sein, wenn geologische Veränderungen aus langsamen Prozessen resultieren. Überdies können langsame, subtile Prozesse über große Zeiträume gravierende Änderungen hervorrufen. Beide Schlüsse aus Lyells Theorie sind für die



Abb. 11: Georges Cuvier, Portrait

Entwicklung der Darwinschen Evolutionstheorie auf der Basis von Mutation und Selektion ungemein wichtig.

In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts existierte neben der aktualistischen Auffassung Huttons und Lyells eine zweite, diametral entgegengesetzte Denkrichtung, die Katastrophentheorie. Ihr Hauptvertreter war Georges de Cuvier (1769 – 1832). Einer hugenottischen Familie aus dem damals württembergischen Mömpelgard, französisch Montbéliard, entstammend, besuchte Cuvier zunächst die Karlsschule in Stuttgart, eine Militärakademie, die 1781 unter Kaiser Joseph II. zur Universität erhoben worden war. Hier studierte er u.a. Chemie, Mineralogie, Botanik und Zoologie. Während der Französischen Revolution stand Cuvier als Hauslehrer in den Diensten eines hugenottischen Grafen in Caen in der Normandie, wo er sich erstmals eingehender mit den im Gezeitenbereich lebenden Tieren befasste. Im Jahre 1795 wurde Cuvier von Geoffroy Saint-Hilaire, der gemeinsam mit Jean-Baptiste Lamarck – auf beide wird noch zurückzukommen sein – am Muséum d' Histoire Naturelle in Paris tätig war, ebenfalls an das Museum geholt. Bereits einige Jahre später – 1798 – publizierte Cuvier seine erste paläontologische Arbeit "Tableau élémentaire de l'histoire naturelle des animaux", worin er seine berühmt gewordene Gliederung des Tierreiches erstmals der Öffentlichkeit vorstellte. Aufgrund seiner meisterhaften anatomischen Untersuchungen fasste er die Tierwelt in vier Klassen zusammen: Die Wirbeltiere (Vertebrata), die Gliedertiere (Articulata), die Weichtiere (Mollusca) und die Strahltiere (Radiata). Cuvier schloss sich dem Linnéschen Speziesbegriff völlig an; die einzelnen Arten sind bei ihm unabhängig voneinander erschaffen worden und unveränderlich. Er vertritt also konsequent das Prinzip der Artkonstanz. Cuvier erkannte bei seinen paläontologischen Forschungen, dass die Formen der einzelnen Schichten der Rezentfauna umso unähnlicher werden, je tiefer gelegene – nach dem Lagerungsgesetz Stenos also ältere – Schichten man betrachtet. Er kam dabei zur Interpretation, dass die einzelnen Organismengruppen in den Schichten völlig unabhängig voneinander wären. Die Geschichte der Erde, seit es Lebewesen gibt, zerfalle also in völlig voneinander unabhängige, durch Revolutionen getrennte Perioden. Diese Revolutionen würden zu einem lokalen Massensterben führen, aus anderen Regionen seien dann fremdartige Formen eingewandert. Aufgrund von Cuviers enormem sozialen Aufstieg, der ihn bis zum Pair de France führte, blieb seine Katastrophen- oder Kataklysmentheorie während der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts bestimmend



Abb. 12: Alcide d'Orbigny, Portrait

und fand mehrere Epigonen. Insbesondere ist hier zu nennen Alcide Dessalines d'Orbigny (1802 – 1857), der nach einer mehrjährigen Reise durch Südamerika an das Muséum National d'Histoire Naturelle zurückkehrte und eine mehrbändige Darstellung über die Fossilien Frankreichs, darunter einen Band über den Jura, verfasste. Diesen teilte er in zehn Etappen, die er – ganz Katastrophist – durch Kataklysmen scharf voneinander getrennt sah. Er verwendete im Zusammenhang mit diesen erdgeschichtlichen Studien 1851 erstmals den Begriff der Zone für das kleinste durch Fossilien definierte und von Katastrophen getrennte Zeitintervall. Somit kann man d'Orbigny als den geistigen Vater einer verfeinerten Chronostratigraphie bezeichnen.

Auch der in Tübingen lehrende Albert Opper (1831 – 1865) hat sich mit dem Jura beschäftigt, den er in 36 Zonen teilte, von denen er jede durch ein Leitfossil charakterisierte. Er abstrahierte hierbei völlig vom Gestein und stützte sich nur auf fossile Befunde, wodurch er zum Begründer der Biostratigraphie wurde (der eigentliche Begriff „Biostratigraphie“ ist allerdings bedeutend jünger, er stammt von Louis Dollo 1910). Anders als sein Lehrer Friedrich August Quenstedt (1809 – 1889), der evolutionären Ansätzen positiv gegenüberstand, war Opper ganz im Sinne d'Orbignys Katastrophist, der für jede seiner Zonen und Etagen einen neuen Schöpfungsakt annahm.

Neben der Katastrophen- oder Kataklysmentheorie existierten jedoch auch andere Ideen, die an eine fortschreitende Entwicklung glaubten. Bereits 50 Jahre vor Charles Darwin erkannte Jean-Baptiste Lamarck (1744 – 1829), dass die Arten einem evolutionären Wandel unterworfen sind. Geboren 1744 in Bazentin in der Picardie als Sohn eines verarmten Landadeligen, ergriff Lamarck den Beruf eines Soldaten und brachte es bis zum Leutnant. 1768 musste er den Militärdienst aus gesundheitlichen Gründen quittieren und begab sich nach Paris, wo er von 1770 bis 1774 Medizin studierte, seine Studien jedoch nicht abschloss. In der französischen Hauptstadt lernte er unter anderem Georges Buffon kennen, der die Drucklegung von Lamarcks dreibändigem Werk „Flore française“ im Jahre 1779 ermöglichte. 1793 erhielt Lamarck eine Anstellung am Muséum National d' Histoire Naturelle, wo dem bisher als Botaniker Tätigen die Klasse der Insekten und Würmer zur Bearbeitung zugewiesen wurde. Bei dieser Arbeit erkannte er durch den Vergleich rezenter Arten mit fossilen Formen mehrere Abwandlungsreihen, die alle von einer chronologischen Abfolge von älteren über jüngere Fossilien hin zu rezenten Arten bestanden.



Abb. 13 : Albert Opperl, Portrait

Lamarck deutete sie als stufenlose Abfolge von Lebewesen. Diese neue Theorie der Evolution trug Lamarck erstmals im Jahre 1800 in einem seiner zoologischen Seminare vor, veröffentlichte sie aber erst 1809 in seinem bedeutendsten Werk, der „Philosophie zoologique“. Danach ist der Entwicklungsgang der Erde und ihrer Lebewesen kontinuierlich und wird daher nicht durch gewaltsame Revolutionen, wie es Georges Cuvier postulierte, unterbrochen. Heute gilt Lamarck damit als Vater der Deszendenztheorie, also der Abstammungslehre. Zu seinen Lebzeiten jedoch schenkte man seinem Werk kaum Beachtung. Seitens Cuviers wurde es mit Erfolg totgeschwiegen, wodurch es der Forscherwelt unzureichend bekannt war. Hinzu kam, dass sich Lamarck in anderen Wissenschaftsbereichen wenig Anhänger verschaffte: So gab er ein jährlich erscheinendes Journal, den „Annuaire Météorologique“, heraus, in dem er das Wetter für das jeweils kommende Jahr vorhersagte. Natürlich stimmten die Vorhersagen mit der tatsächlichen Wetterlage in den meisten Fällen nicht überein. Lamarck wurde für seinen „Annuaire Météorologique“ regelrecht berühmt-berüchtigt. So lehnte Napoleon I. ein von Lamarck dediziertes Exemplar der „Philosophie zoologique“ ab, weil er dachte, es sei eine neue Ausgabe des „Annuaire“.

Diese Missachtung von Lamarcks Werk erfolgte jedoch völlig zu Unrecht, da er den Aspekt der Abstammung der Organismen voneinander völlig richtig erkannt hatte. Wie in der damaligen Zeit üblich, nahm er eine ständige Urzeugung kleiner, d. h. niedrigst organisierter Organismen aus unbelebter Materie an. Die nun folgende Evolution wurde durch eine den Organismen innewohnende Tendenz zu größerer Komplexität angetrieben; die Organismen streben also der Vollkommenheit zu und werden immer besser an die Umwelt angepasst. Die treibende Kraft der Evolution sind nach Lamarck die „sentiments intérieurs“, die innersten Bedürfnisse der Lebewesen. So meinte er, dass Körperteile, die oft und intensiv gebraucht werden, sich über die Generationen hinweg stärker entwickeln, nicht gebrauchte hingegen schrittweise verkümmern würden.

Lamarck wurde jedoch nicht nur zu Lebzeiten missachtet, sondern später auch falsch interpretiert. So verglich der bereits genannte deutsche Zoologe Ernst Haeckel (1834 – 1919) Lamarcks Theorie mit dem Darwinismus und sprach in diesem Zusammenhang von der Erbllichkeit erworbener Eigenschaften. Auch der heutige Begriff „Lamarckismus“ wird mit der Übertragung erworbener Eigenschaften auf die Nachkommen synonymisiert. Diese Theorie stammt jedoch in dieser



Abb. 14: Jean-Baptiste Lamarck, Portrait

überspitzten Formulierung nicht von Lamarck, sondern von Geoffroy St. Hilaire. Lamarck sprach immer nur von einer Entwicklung durch einen inneren Trieb. Trotz aller Missverständnisse kommen Lamarck rückwirkend zahlreiche Verdienste zu: Er erklärte die rezente Diversität des Lebens und das Vorhandensein von Fossilien schlüssig mit der Abstammungslehre und sah in der Anpassung an die Umwelt das Hauptergebnis der Entwicklung, die sehr viel Zeit in Anspruch genommen haben musste.

50 Jahre nach Lamarck entwarf Charles Darwin eine um die Mechanismen erweiterte Evolutionstheorie. Neu bei Darwin ist dabei der Umstand, dass er in seinem 1859 erschienenen Hauptwerk „On the Origin of Species by means of natural Selection, or the Preservation of favoured Races in the Struggle for Life“ einen schlüssigen Mechanismus für die Artentwicklung geben konnte. Triebfeder der Entwicklung ist gemäß Darwin das Zusammenspiel zwischen Mutation, welche die verschiedensten Varianten und Erscheinungsformen bei den Lebewesen erzeugt, und der Selektion, welche die für die jeweils herrschenden Umweltbedingungen günstigste Variante aus dem Gesamtspektrum auswählt. Dabei ist Mutation ein rein statistisch-zufälliger Prozess, Selektion ist nicht zielgerichtet-teleologisch, sondern entscheidet immer im Jetzt, der Gegenwart, von Fall zu Fall. Das besser Angepasste und daher momentan Lebenstüchtigere gibt seine Eigenschaften in der Vererbung an die Nachkommenschaft weiter.

Der evolutionistischen Auffassung Lamarcks schloss sich auch der bedeutende französische Paläontologe Etienne Geoffroy Saint-Hilaire an. Geboren 1772 als Sohn eines Advokaten in dem kleinen Dorf Saint-Hilaire nahe Etampes rund 50 km südlich von Paris, begann er 1790 ein Jurastudium, das er aber bald aufgab, um sich dem Studium der Medizin und der Naturwissenschaften zuzuwenden. Durch gute Kontakte zu dem Abbé René-Just Haüy (1743 – 1822), der ihn für die Mineralogie begeisterte, erlangte Geoffroy 1793 eine Stelle am Jardin des Plantes, wo er noch im gleichen Jahr zum Professor für Zoologie und bald darauf zum Direktor der Menagerie des Muséum National d' Histoire Naturelle ernannt wurde. Es wurde ihm die Vertebratensammlung des Museums anvertraut. Ebenso wie Lamarck war Geoffroy in eine Tätigkeit gestoßen worden, von der er nicht allzu viel verstand. Nachdem Geoffroy Saint-Hilaire auf Einladung Napoleons I. dessen Ägyptenfeldzug von 1798 bis 1801 mitgemacht hatte, auf dem er den Flösselwurm *Polypterus* entdeckte, wurde er 1807 in die Académie des Sciences gewählt und 1809 zum



Abb. 15: Charles Darwin, Portrait

Professor für Zoologie an die Universität Paris berufen. Hier begann er anatomische Studien, deren Resultate er 1818 bis 1822 in seinem zweibändigen Werk „Philosophie anatomique“ publizierte. In dieser wichtigen Studie entwickelte Geoffroy das Prinzip der homologen Organe, d. h. von Organen, die entwicklungsgeschichtlich gleicher Herkunft, aber in der konkreten Ausbildung mit verschiedener Funktion versehen sind.

Bezüglich seiner Evolutionsansicht steht Geoffroy der Auffassung Lamarcks sehr nahe, dass Umweltfaktoren die treibende Kraft der Evolution darstellen. Arten sind daher nach Geoffroy Saint-Hilaire nicht konstant, sondern unterliegen der Veränderung. Sie gehen alle auf gemeinsame Stammformen zurück. Geoffroy nahm in vergleichend-morphologischer Weise einen einzigen Grundbauplan, einen Archetyp, aller Tierkörper an. Dieser Archetyp sei wandelbar und bilde in seinen Ausformungen alle Baupläne der Tiere. Diese Idee veröffentlichte Geoffroy 1828 in seinem Werk „Sur le principe de l'unité de composition organique“.

Geoffroys Theorie stieß sofort auf den Widerstand Cuviers, der an seiner Idee von einem völlig unterschiedlichen Bauplan der vier Tierklassen festhielt. Die Gegensätze zwischen beiden Wissenschaftlern nahmen in der Folgezeit ständig zu und eskalierten schließlich im Jahre 1830 in dem berühmten Akademiestreit. Diese Pariser Streitdisputation wurzelte bereits in Auseinandersetzungen aus dem Jahre 1829, dem Todesjahr Lamarcks. Damals hielt Cuvier vor der Académie des Sciences einen Nekrolog auf Lamarck, der aber eher einer Schmäherei in Bezug auf dessen Evolutionsvorstellungen glich. Bei seiner Grabrede äußerte im Gegensatz dazu Geoffroy Saint-Hilaire seine große Wertschätzung für den verstorbenen Lamarck.

Unmittelbarer Anstoß für den Gelehrtenstreit war die Frage, ob man die Organisation der Tintenfische mit jener der Wirbeltiere vergleichen könnte. Cuvier verneinte dies naturgemäß kategorisch. Es folgte darauf eine Diskussion über den allgemeinen Evolutionsgedanken. Dieses Streitgespräch, das über mehrere Sitzungen zwischen Februar und Juli 1830 geführt wurde, hatte großen Widerhall in den Medien und bei einem breiten Publikum. Mit größtem Interesse wurde diese Auseinandersetzung an der Pariser Akademie auch von Johann Wolfgang von Goethe (1749 – 1832) verfolgt, der Geoffroy Saint-Hilaire den Vorzug einräumte. Im hohen Alter, wenige Tage vor seinem Tod am 22. März 1832, Goethe war damals 83 Jahre alt, vollendete er sein letztes Werk mit dem Titel „Principes de Philosophie



Abb. 16: Etienne Geoffroy Saint-Hilaire, Portrait

zoologique par M. Geoffroy de Saint-Hilaire“, das eine treffende Charakteristik der beiden Kontrahenten sowie eine interessante Darstellung des Streites enthält.

Ich fasse kurz zusammen. Wir sind von Nicolaus Steno ausgegangen, der durch empirische, d.h. naturwissenschaftliche Forschung das Lagerungsgesetz erdacht und den Beweis für die organische Natur der Fossilien erbracht hat. Freilich war Steno ein Kind seiner Zeit und brachte infolgedessen seine Erkenntnisse mit der biblischen Zeitvorgabe von 6000 Jahren in Einklang.

Ebenfalls noch in dieser kurzen Zeitspanne denkend war der schwedische Naturforscher Linné, dem die Wissenschaft eine bis heute gültige zoologische und botanische Nomenklatur verdankt.

Die nächste Station in den Ausführungen war Buffon gewidmet, der – zumal Atheist – erstmals das von der Bibel vorgegebene Zeitkorsett sprengte und somit die Türe aufstieß für ein offenes und aufgeschlossenes naturwissenschaftliches Denken. Die Zeit war reif geworden für die Historisierung der Naturwissenschaften.

Ob es sich um katastrophistische Vorstellungen mit Untergang der Populationen und darauf folgenden Neuschöpfungen, wie von Cuvier und d'Orbigny propagiert, oder um aktualistische Theorien, wie von Hutton und Lyell vertreten, handelte: stets waren für die Veränderungen der Erdkruste und der Tier- und Pflanzenwelt extrem lange Zeiträume erforderlich geworden. Die zyklischen Zeitvorstellungen, die Hutton und Lyell für ihre ungeheuer langsam vor sich gehenden Erdveränderungen angedacht hatten, wurden von dem französischen Triumvirat Cuvier, Lamarck und Geoffroy Saint-Hilaire und später von Charles Darwin in Einklang mit der Entwicklung des Lebens gebracht. Die in den Feldforschungen gefundenen Fossilien waren keine Naturspiele oder Opfer einer Sintflut mehr, sondern sie waren zu stummen Zeugen der Zeit geworden, die eine individuelle Geschichte haben und Geschichte erzählen.

Ich danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Literatur:

Toby A. APPEL, The Cuvier-Geoffroy debate. French biology in the decades before Darwin (New York [u.a.] 1987)

François ELLENBERGER, Histoire de la géologie, 2 Bde. (Paris 1988 – 1994)

Helmut W. FLÜGEL, Der Abgrund der Zeit. Die Entwicklung der Geohistorik 1670 – 1830 (Berlin/Diepholz 2004)

Stephen Jay GOULD, Die Entdeckung der Tiefenzeit. Zeitpfeil oder Zeitzyklus in der Geschichte unserer Erde (München 1992)

Anthony HALLAM, Great geological controversies. 2. Aufl. (Oxford u. a. 1989).

Bernhard HUBMANN, Die großen Geologen (Wiesbaden 2009)

Helmut HÖLDER, Kurze Geschichte der Geologie und Paläontologie. Ein Lesebuch (Berlin/Heidelberg u. a. 1989)

David R. OLDROYD, Die Biographie der Erde. Zur Wissenschaftsgeschichte der Geologie . 1. Aufl. (Frankfurt am Main 1998)

A. M. Celâl ŞENGÖR, The large-wavelength deformations of the lithosphere. Materials for a history of the evolution of thought from the earliest times to plate tectonics (=Memoir / Geological Society of America ; 196) (Boulder, Colo. 2003)

Otfried WAGENBRETH, Geschichte der Geologie in Deutschland (Stuttgart 1999)

Karl Alfred von ZITTEL, Geschichte der Geologie und Paläontologie bis Ende des 19. Jahrhunderts (= Geschichte der Wissenschaften in Deutschland ; 23) (München 1899)