

Natur **M**historisches
Museum



Nürnberg

Der Blick in die Tiefe der Zeit

**Sonderausstellung
31. Mai bis 30.9.2015**

Vorwort

Herausgeber: Naturhistorische Gesellschaft Nürnberg e.V.
Marienortgraben 8 (Norishalle), 90402 Nürnberg
Telefon (0911) 22 79 70
URL: www.nhg-nuernberg.de
E-Mail: info@nhg-nuernberg.de
Text & Layout: Gottfried Hofbauer
Bildvorlagen soweit nicht anders angegeben: Gottfried Hofbauer
© Naturhistorische Gesellschaft Nürnberg e.V. und Gottfried Hofbauer

DER BLICK IN DIE TIEFE DER ZEIT

INHALTSVERZEICHNIS

0. Einleitung
 1. Die Tiefe der Zeit – Siccar Point
 2. Geologische Schichten: Blätter im Buch der Natur
 3. Wissenschaftliche Sammlung aus der Kuriositätenkammer
 4. Fossilien als Zeugnisse der Sintflut
 5. Fossilien als Zeugnisse vergangener Lebenswelten
 6. Die fehlenden Seiten im Buch der Natur
 7. Die Besonderheit vulkanischer Landschaften
 8. Darwin – Evolution braucht Zeit
 9. Darwins Zeitkalkulation
 10. Lord Kelvin setzt Grenzen
 11. Geologischer Faktor Mensch: Das Anthropozän
- Anmerkungen

Der Blick in die Tiefe der Zeit

Gottfried Hofbauer

Begleitheft zur Sonderausstellung
der Naturhistorischen Gesellschaft Nürnberg e.V. in der Norishalle¹

31. Mai - 30. September 2015



Der Mensch des 17. Jahrhunderts kannte weder eine Erdgeschichte noch seine eigene prähistorische Vergangenheit. Dennoch gab es genügend Erscheinungen, die auf eine dunkle Vorzeit verwiesen. Veränderungen in der Landschaft oder die Entstehung merkwürdiger Felsformationen waren allerdings kaum als natürlicher Prozess vorstellbar. Viel eher wurde an das Werk von Vorfahren gedacht, und wenn menschliche Kräfte nicht zu reichen schienen, dann konnten es auch Riesen gewesen sein.

Split Rock, Westküste Schottland

Einleitung

Eine Zeitreise in das 17. Jahrhundert erscheint uns auf den ersten Blick vielleicht nicht als ein besonders spannender Gedanke. Zu nahe fühlen wir uns – zumindest hier innerhalb Europas – den Menschen jener Zeit. Manche erinnern sich möglicherweise an Filme wie *Die drei Musketiere*, in denen die Figuren ausgiebig ihre Gewandtheit am Degen demonstrieren, aber sonst wie wir zu denken und zu fühlen scheinen. Andere werden vielleicht im Physik-Unterricht auf Isaac Newton (1643–1727) getroffen sein, den wir als Mitbegründer der neuzeitlichen Physik in Erinnerung haben. Aber gerade Newton würde uns sehr verwundern, wenn wir seine Vorstellungen über die Entstehung und das Alter der Erde hören könnten.

Unsere scheinbare Nähe zu den Menschen dieser Zeit löst sich rasch auf, wenn wir uns mit ihren Ansichten über Vergangenheit und Zukunft beschäftigen. Über die in der Bibel erwähnten Generationen von Königen, Propheten und Geschlechtern wurde versucht, das Alter der Welt zu rekonstruieren. Dabei ging es am Ende nicht um Jahrtausende oder gar Jahrmillionen, sondern um Jahrzehnte oder wenige Jahrhunderte: Populär war weit in das 17. Jahrhundert hinein die Berechnung des Bischofs Ussher, nach der der erste Tag der Schöpfung am Abend vor dem 23. Oktober 4004 v. Chr. begonnen haben soll.

Im Denken jener Zeit bestand der Unterschied zwischen Menschheits- und Erdgeschichte darin, dass die Erde sechs Tage vor dem Menschen erschaffen wurde. Aber auch der Blick in die Zukunft war ein völlig anderer: Bei uns im christlich bestimmten Europa bedeutete die Zukunft zugleich das Ende der Welt. Der jüngste Tag wurde auch nicht in weiter unbestimmter Ferne gesehen, sondern schon bald, vielleicht sogar noch zu Lebzeiten, erwartet. Die Vergangenheit und Zukunft der Erde und der Menschen konnte aus der lebensweltlichen Perspektive überblickt werden, das Zeitmaß waren Jahre und Jahrhunderte, oder noch anschaulicher, Generationen.

Die Menschen des 17. und vielfach noch des 18. Jahrhunderts konnten so auch keine Vorstellung von einer Entwicklungsgeschichte der Natur haben, keine Idee von einer Veränderung der Erdoberfläche, und noch

weniger von einer natürlichen Entwicklung des Lebens oder der Entstehung der Arten. Die Zeit war einfach nur „Zeit“ in dem Sinn, dass sich in ihrem Verlauf nichts wesentliches veränderte. Mit der Erschaffung der Welt begann die Uhr zu laufen, Geburt und Tod bestimmten den Takt, das eigene Ende wie das der Welt war stets in Sichtweite.²

Noch deutlicher als viele Felsformen mussten Gruppierungen wie die Lübbensteine von Hand geschaffen worden sein. Nahe der alten Universitätsstadt Helmstedt gelegen, erregten sie schon früh die Aufmerksamkeit der dortigen Gelehrten. So wurden sie erstmals schon im Jahr 1665 von dem Historiker und Rechtsgelehrten Hermann Conring beschrieben: *De antiquissimo statu Helmestadii et vicinia coniecturae*. Der Autor weist die Deutung als Werk von Riesen zurück und versucht, die Erscheinung aus der menschlichen Geschichte heraus zu verstehen. Der Gedanke an eine heidnische Vorzeit beginnt Form anzunehmen, die Unterscheidung menschlicher und natürlicher, erdgeschichtlicher Bodenfunde wird zu einer neuen Herausforderung.

Lübbensteine bei Helmstedt, Niedersachsen



Es gibt Autoren, die in vielleicht überspitzter Weise behaupten, der Mensch, wie wir ihn heute kennen, hat sich erst gegen Ende des 18. Jahrhunderts herausgebildet.³ Das mag etwas kühn und übertrieben erscheinen, aber was Vorstellungen von Raum und Zeit angeht, scheint der Unterschied tatsächlich radikal zu sein.

Die Umgestaltung, die auch das Lebensgefühl des Menschen so nachhaltig verändert hat, hing eng mit der Entstehung einer Wissenschaft zusammen, die es zuvor so nicht gab: Es war die Geologie, die mit der Ausgestaltung eines zuvor nicht denkbaren prähistorischen Raumes erste Konturen annahm. Nach ersten, grundlegenden Schritten im 17. Jahrhundert begannen sich Diskussionen über das Alter der Erde, über die Bedeutung der Fossilien oder die mögliche Gefahr globaler Naturkatastrophen um die Mitte des 18. Jahrhunderts im Themenspektrum der Gelehrtenwelt wie intellektuell geprägter Abendgesellschaften auszubreiten.

Dieser spannende Abschnitt der jüngeren europäischen Kultur- und Menschheitsgeschichte war und ist Thema zahlreicher wissenschaftlicher Projekte. Manche Autoren haben diesen Wandel als *Verzeitlichung* bezeichnet.⁴ Studien mit dem Titel *The dark abyss of time* und andere Arbeiten schildern und analysieren diese erstaunliche Entwicklung, wobei die Titel gar nicht selten die in jenem Umbruch häufig gebrauchte Formel vom *Abgrund* oder der *Tiefe der Zeit* aufgreifen, den man in der Auseinandersetzung mit diesen kaum vorstellbaren Zeiträumen wahrzunehmen glaubte.⁵

Die Ausstellung und dieses Heft richten sich auch an jene, die über die Geologie hinaus an der Entwicklung der Wissenschaften und unseres modernen Denkens interessiert sind. Die zahlreichen Illustrationen dokumentieren nicht nur historisch bedeutende Geländesituationen, sondern auch Ansichten, die den Betrachter in sinnlicher Weise mit der Dynamik der Erde wie den damit verknüpften Zeitmaßstäben konfrontieren.

Der Blick in die Tiefe der Zeit ist nicht nur Ausdruck einer besonderer Phase der Kulturgeschichte oder eine bemerkenswerte Leistung des menschlichen Verstandes. Dieser Blick ist nicht festgezimmert und un-

verrückbar, sondern bedarf stets auch der Übung. Neue Fragestellungen zur Geschichte und Dynamik unserer Erde, wie sie infolge der raschen Entwicklung der Geowissenschaften wie der menschlichen Zivilisation ständig entstehen, fordern immer wieder zur Prüfung der erdgeschichtlichen Perspektive heraus. Nicht immer ist diese scharf und eindeutig zu fassen, oft bleibt es eine Hypothese oder ein Gedankenexperiment – aber es ist ein Akt, der immer wieder versucht werden muss. Ohne eine solche Auseinandersetzung würden wir vermutlich bald wieder in ein Denken und Fühlen zurückfallen, das den Lauf der Dinge nur aus dem kurzen Ausschnitt unserer Gegenwart zu sehen vermag.

1. Die Tiefe der Zeit – Siccar Point

„Wir fühlten uns unvermeidlich in die Zeit zurückversetzt, in der der Schiefer, auf dem wir standen, noch auf dem Grund des Meeres lag, und der Sandstein vor uns gerade erst in Form von Sand oder Schlamm aus dem darüber befindlichen Ozean zur Ablagerung kam.“

Die Erinnerungen des Edinburgher Mathematikprofessors John Playfair⁶ handeln von dem Besuch eines Felsvorsprungs an der schottischen Ostküste im Jahr 1788, dem **Siccar Point**, oder **The Siccar**. Playfair begleitete seinen älteren Freund, James Hutton, der ebenfalls der gelehrten Szene Edinburghs angehörte.

In jener Zeit gab es kein Studienfach „Geologie“ und somit auch keine Geologen, zumindest nicht im heutigen Sinn. James Hutton, der 1726 in Edinburgh geboren war, hatte ein Medizinstudium absolviert, aber niemals anhaltend als Arzt praktiziert. Sein Interessen waren vielfältig, und sie hatten einen gemeinsamen Grundzug: Er suchte nach Verständnis, wie die Dinge funktionieren, welche Prozesse und Abläufe ihr Erscheinungsbild, ihre Vergangenheit und Zukunft bestimmen. Wie funktioniert der menschliche Verstand, wie die Sprache? Wie kann man den Kreislauf von Saat und Ernte, wie den Ackerbau insgesamt optimieren?⁷

Aber trotz all dieser anderen Fragen galt sein bevorzugtes Engagement der Erde. Engagement war auch in ganz besonderer Weise nötig, denn

Antworten auf diese geologischen Fragen ließen sich nur sehr eingeschränkt durch reines Nachdenken am Schreibtisch gewinnen.



Wir fühlten uns unvermeidlich in die Zeit zurückversetzt, in der der Schiefer, auf dem wir standen, noch auf dem Grund des Meeres lag, und der Sandstein vor uns gerade erst in Form von Sand oder Schlamm aus dem darüber befindlichen Ozean zur Ablagerung kam.

Eine noch weit entferntere Epoche bot sich dar, in der selbst die ältesten dieser Gesteine, anstatt vertikal aufrecht zu stehen, in horizontalen Schichten auf dem Meeresboden lagerten, und noch nicht durch die unermesslichen Kräfte durcheinander gebracht waren, die das feste Pflaster unserer Erdkugel auseinander gerissen haben.

Ja selbst noch weiter entfernte Umwälzungen erschienen am Horizont dieser außergewöhnlichen Perspektive. So weit in den Abgrund der Zeit blickend, schien uns der Verstand schwindelig zu werden.

Playfair (1805): Biographical Account of the late Dr. James Hutton, S. 72f

Neu an der Geologie waren nicht nur die Inhalte, die sie zur Diskussion brachte, sondern auch die methodologische Erfordernis, zum Studium dieser Fragen hinauszugehen und die Zeugnisse der Erdgeschichte vor Ort zu sichten, sei es an den unzugänglichsten Stellen oder in den entferntesten Landschaften.

James Huttons Vorstellungen über die Erde waren anfangs tatsächlich mehr auf Überlegungen allgemeiner Art als auf systematische Beobachtungen gegründet. Erst nach der Veröffentlichung einer ersten, noch kurz und abstrakt wirkenden *Theorie der Erde* (1785),⁸ hat er seine Reisen intensiviert und nach überzeugenden Belegen für sein Konzept gesucht. Seine Methodik ähnelte mehr der eines Physikers als eines traditionell vorgehenden Beobachters.

So hat er nicht versucht, zuerst umfangreiches Material zu sammeln, Beobachtungen festzuhalten oder Messungen vorzunehmen, um danach zu überlegen, was dies alles in Hinblick auf die Erde und die sie gestaltenden Prozesse möglicherweise bedeuten könnte. Huttons war ein Freund des Frage- und Antwort-Spiels. Er zog es vor, aus gründlichen Gedankengängen heraus Hypothesen zu entwickeln, für die er dann im Gelände nach möglichst eindeutigen Belegen suchte – so wie eine physikalische Hypothese durch ein entscheidendes Experiment, ein *experimentum crucis*, erhärtet, aber auch verworfen werden konnte.⁹

Der „Blick in die Tiefe der Zeit“ war im 18. Jahrhundert wahrscheinlich die aufregendste aller Perspektiven, die Verstand und Vorstellungskraft einzunehmen vermochten. Als James Hutton im Jahr 1788 mit seinen Freunden am Siccar Point anlegte, waren die Worte über den „Abgrund der Zeit“ allerdings schon auf dem Weg, ein gebräuchliches Sprachbild für die sich öffnende, scheinbar unendliche Dimension der Erdgeschichte zu werden.

Was diese Situation nun aber über andere und frühere hervorhebt, ist die Anbindung an eine besonders prägnante Struktur, an einen Ausschnitt aus der Erdkruste, der in besonderer Weise die Abfolge unterschiedlicher Zustände belegt. Siccar Point war genau eine dieser Stellen, die Hutton im Sinne eines *experimentum crucis* zur Demonstration seiner geologischen Vorstellungen suchte, und die zu finden ihm – welch unkalkulierbares Glück! – auch tatsächlich vergönnt war.

Lässt man sich, wie Hutton und seine Freunde, auf die am Siccar Point aus den Strukturen heraus entwickelbare Logik ein, wird man über das greifbar vorliegende erdgeschichtliche Zeugnis hinausgeführt. Dieses steinerne Dokument erschließt nicht nur zuvor unzugängliche Dimensionen an Zeit und Wissen, an ihm lässt sich zugleich auch demonstrieren, was man nicht in Erfahrung bringen kann.

Jedes geologische Zeugnis ist nämlich selbst schon das Resultat eines Prozesses oder einer „Ursache“. Alles was wir sehen und greifen können, verweist auf etwas Vorangehendes, das selbst nicht mehr materiell greifbar, aber notwendig wirksam oder gegeben gewesen sein muss. Auch das älteste Zeugnis am Siccar Point, die steil gestellten – von Playfair als *schistus* (Schiefer) bezeichneten – Schichten, sind schon das Ergebnis vorausgehender Bedingungen und Prozesse: Hier belegen sie, dass auch zur Zeit der Ablagerung dieser Schichten in ihrer Umgebung bereits ein Festland existiert haben muss, das, wie auch alle heutigen Festländer, von Abtragung und Umlagerung des durch die Verwitterung gelockerten Gesteins betroffen gewesen sein muss.

Wenn man heute, mehr als 200 Jahre nach James Hutton, nach den ältesten Zeugnissen der Erdgeschichte fragt, dann trifft man – ganz in diesem Sinn – nicht auf einen ersten, voraussetzungslosen Urzustand. Man findet vielmehr ein Mineral, einen Zirkon, der auf Kristallisationsprozesse in einer frühen, selbst nicht mehr erhaltenen kontinentalen Kruste verweist.¹⁰

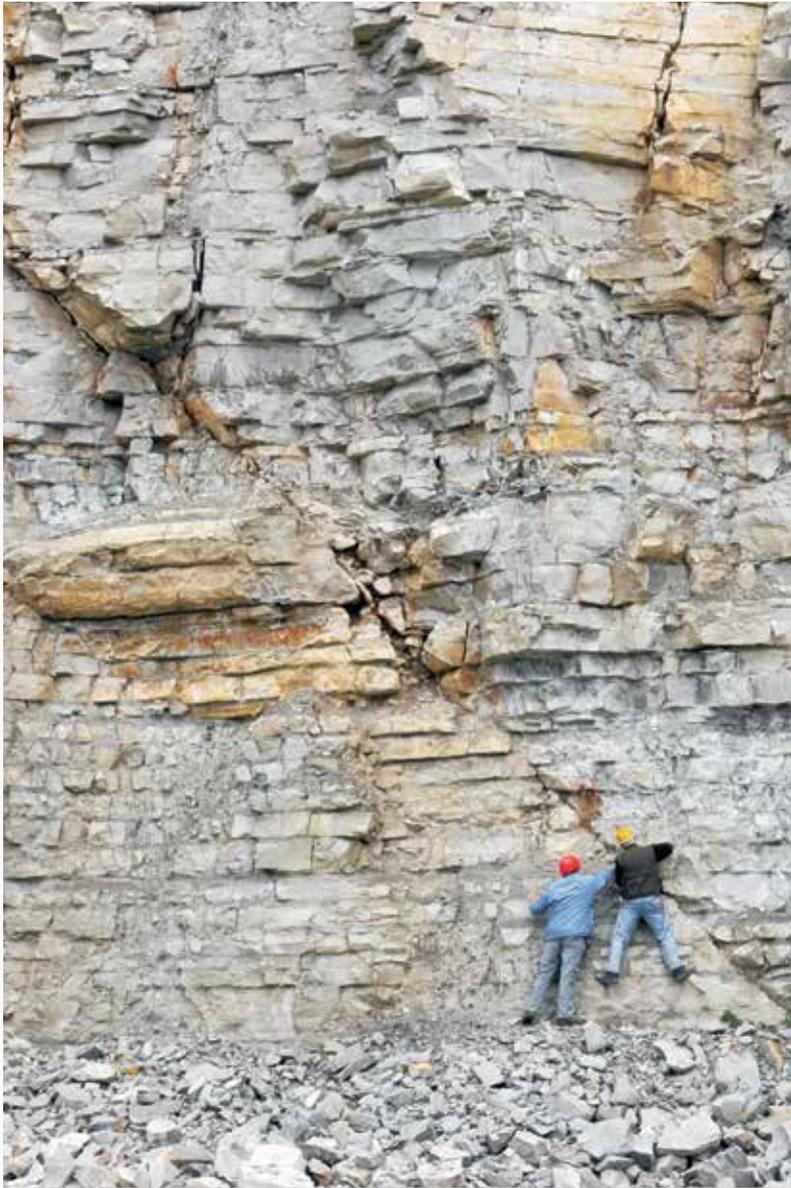
James Hutton hat diese Schwelle gesehen und erkannt, dass es grundsätzlich nicht möglich ist, Anfänge oder Ursprünge zu finden, sondern nur Ergebnisse und Konsequenzen: *„Das Ergebnis unserer gegenwärtigen Untersuchung ist daher, dass wir weder die Spur eines Anfangs, noch die Aussicht auf ein Ende finden.“*¹¹

Dieser berühmte Satz wurde oft als Behauptung missdeutet, die Erde hätte keinen Anfang und kein Ende. Aber das hat James Hutton damit nicht gemeint. Ihm ging es darum deutlich zu machen: Es ist vergeblich, einen Anfang oder auch ein Ende finden zu wollen, denn gleich in welche Richtung wir blicken, wir sehen nur die Kette von Ursachen und Wirkungen.



Die Konsistenz des Gesteins verlieh jeder Seite Gewicht, und Seite für Seite, Schicht für Schicht, blätterte man in die Vergangenheit

„Papierschiefer“ des Oberen Lias, Hohlweg bei Hetzles (Oberfranken)



Die Mächtigkeit der Schichtgesteine war schon bald nicht mehr mit der Sintflut erklärbar. Wie sollte ein einzige, zeitlich so begrenzte Überflutung in der Lage sein, so viele und in der Summe so mächtige Lagen abzusetzen?

Steinbruch im Weißen Jura der Frankenalb

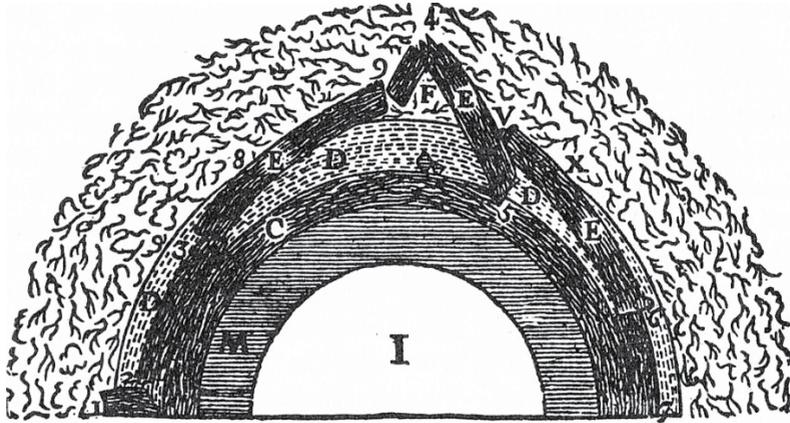
2. Geologische Schichten: Blätter im Buch der Natur

Die Bezugnahme auf einzelne, konkrete Gesteinslagen gaben den frühen Geologen die Sicherheit, sich auf festem Grund zu bewegen. Das Buch der Natur war kein Werk für die bloße Phantasie, sondern greifbare, im unmittelbaren Sinn harte, empirische Wissenschaft.

Die Konsistenz des Gesteins verlieh jeder Seite Gewicht, und Seite für Seite, Schicht für Schicht, blätterte man in die Vergangenheit. Begleitet vom Knistern des Papiers, vom Luftzug der bewegten Blätter, oder vom Rieseln des Staubs und abbrechenden Gesteinsstücken, schlägt man eine neue Seite auf, ist man in einem weiteren Abschnitt der Schöpfung angelangt. Manchmal kleben die Seiten aneinander, die Druckbögen sind noch nicht aufgeschnitten, die Lagen des Schiefers müssen vorsichtig voneinander getrennt werden – in beiden Fällen kann ein Messer von großem Nutzen sein. Und man weiß nie, was auf der nächsten Seite zu lesen sein wird.

Die steinernen Seiten im Buch der Natur erinnern auch an eine Zeit vor den papiernen Büchern, als Schreiber Zeichen noch in Tontafeln ritzen oder in Stein meißelten. Nun dreht sich der Informationsfluss um: anstatt mit dem Buch oder dem daraus entnommenen Wissen aus der Bibliothek hinaus in die Natur zu gehen, bringt man Seiten aus der Natur nach Hause, um sie dort neben den traditionellen Büchern zu archivieren, sei es als Schau- oder Belegstück, oder für weitere „Lektüre“. James Hutton merkt in einem um 1770 geschriebenen Brief ironisch an, dass seine Freunde behaupten, dass er sich von den gesammelten Gesteinen wohl bald ein Haus bauen könne. Aber er möchte halt doch seine Studienobjekte in einer Art Bibliothek um sich haben:

„Mein Streben ist es, eine geräumige Bibliothek einzurichten, in der alle Bücher, in altertümlicher Weise, aus Gesteinstafeln bestehen sollen, die – ohne mystisch gemeint zu sein – allein von der Hand Gottes verfasst wurden. Was immer auch für Schwierigkeiten beim Erkennen der Buchstaben oder dem Verständnis der Sprache auftreten sollten: Wir werden uns zumindest nicht sorgen müssen, Irrtümer im Druck oder im Inhalt zu korrigieren.“¹²



Das Schichtenprinzip ist an sich eine einfache Ordnungsregel:
Die jeweils obere Lage ist relativ jünger als die untere. Doch nicht immer ist auf den ersten Blick zu sehen, wo oben und unten ist.

Crackington-Formation des Oberkarbon, Millock Haven (Cornwall)

gegenüber oben:

Ein erstes Modell zur Entstehung der Erde und ihre unterschiedlichen Sphären hat der Philosoph René Descartes im Jahr 1644 veröffentlicht. Ohne zu wissen, wie die Materie oder auch Gesteine eigentlich beschaffen sind, versuchte er allein aus der unterschiedlichen Form bewegter, hypothetischer Materieteilchen eine mögliche natürliche Entwicklung verständlich zu machen. In der Skizze sind verstellte Erdkrusten-Schollen (E) zu sehen, sowie in den am tiefsten eingesunkenen Bereichen auch die Hydrosphäre (D). Die faserig gezeichneten Teilchen repräsentieren die Atmosphäre (F).

Rene Descartes: Principia philosophiae. Amsterdam 1644.

gegenüber unten:

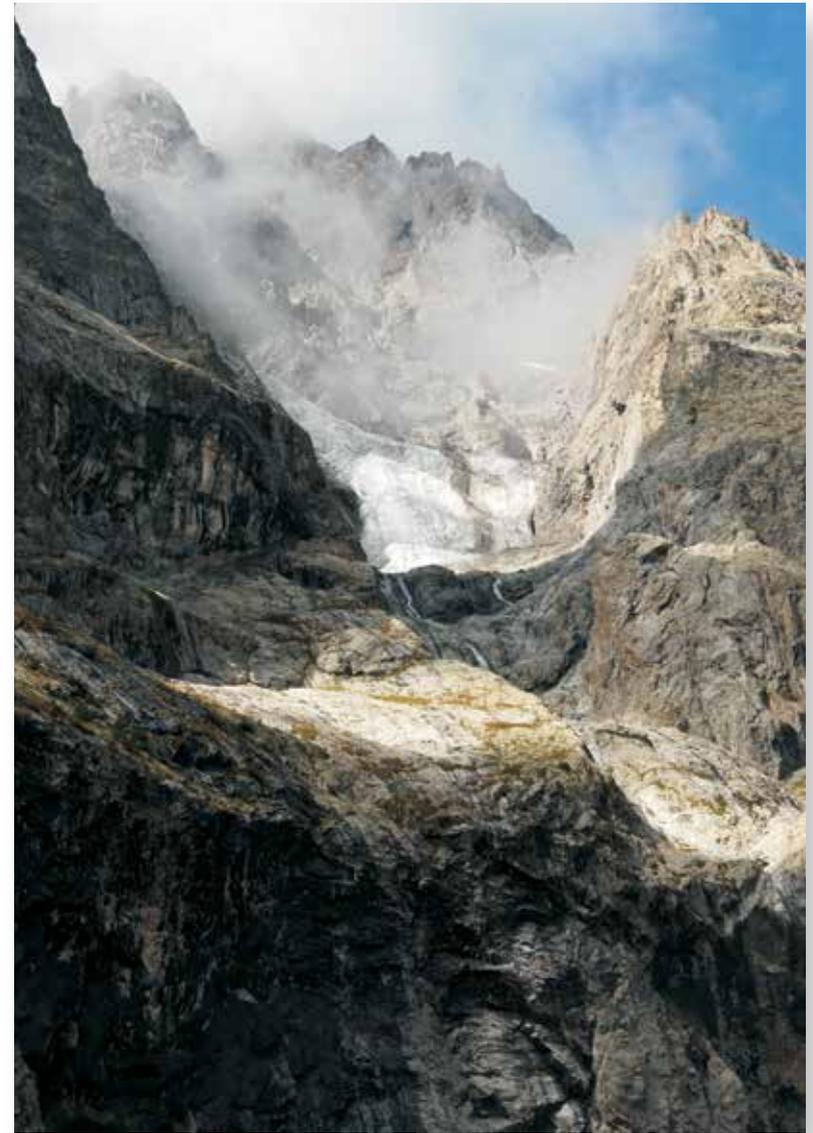
Über steil gestellten, dunklen Kalksteinen des Devons lagert weitgehend horizontal der helle Dolomit aus dem Zechstein. Georg Christian Füchsel hat diese Situation (1761) erfasst und sie als Zeugnis für den sukzessiven Einsturz der Erdkruste interpretiert.

Füchsel, Georg Christian (1761): Historia terrae et maris



Die Mächtigkeit von Schichten geht oft nicht mit ihrer Bildungszeit einher. So steckt in den roten, aus Verwitterungsprozessen stammenden Lagen viel mehr Zeit als in den mächtigen, dunklen Lavaströmen.

Henigifoss (Island)



Granit und ähnliche Gesteine zeigten weder Schichtfugen noch Materialwechsel. Sie wurden daher als Primäre Bildungen aus der Frühzeit der Erde angesehen. Erst über dem aus auch als Urgebirge oder Uranfängliches Gebirge bezeichneten Sockel folgten die Sekundären Bildungen in Form von Sedimentgesteinen.

Granit im Aiguilles-Rouge -Massiv, Westalpen

3. Wissenschaftliche Sammlung aus der Kuriositätenkammer

Die Wertschätzung des Besonderen, Kuriosen kam aus der Geschichte der frühneuzeitlichen Sammlungen. Erste Sammlungen entstehen im 16. Jahrhundert, zugleich beginnen die Besitzer, auch in Druckwerken über ihre Objekte zu berichten. Diese frühen Sammlungen hatten keine wissenschaftliche, sondern vor allem ästhetische Bedeutung: Sie zeigten Vielseitigkeit, Geschmack und Erfahrung des Besitzers, der die Vielfalt der Welt in einem – oft nur einzigen – Raum zu repräsentieren versuchte.

In diesen Sammlungen war weniger das Normale, Charakteristische, Repräsentative untergebracht, sondern eher das Merkwürdige wie Bemerkenswerte, Spektakuläre oder Seltene. Daher wurden diese Sammlungen häufig auch als Wunderkammer oder Kuriositätenkabinett bezeichnet. Da die Sammlungen in der Regel auch Kunst oder Kunsthandwerk enthielten, konnte man allerdings genau so gut von Kunstkammern sprechen.



Die regelmäßige Wiederholung der Muster auf dem Gehäuse des Ammoniten ist ein gutes Indiz dafür, dass es sich hier um kein Naturspiel handelt.

Museum Geopark Harz-Braunschweiger Land,-Ostfalen, Königslutter

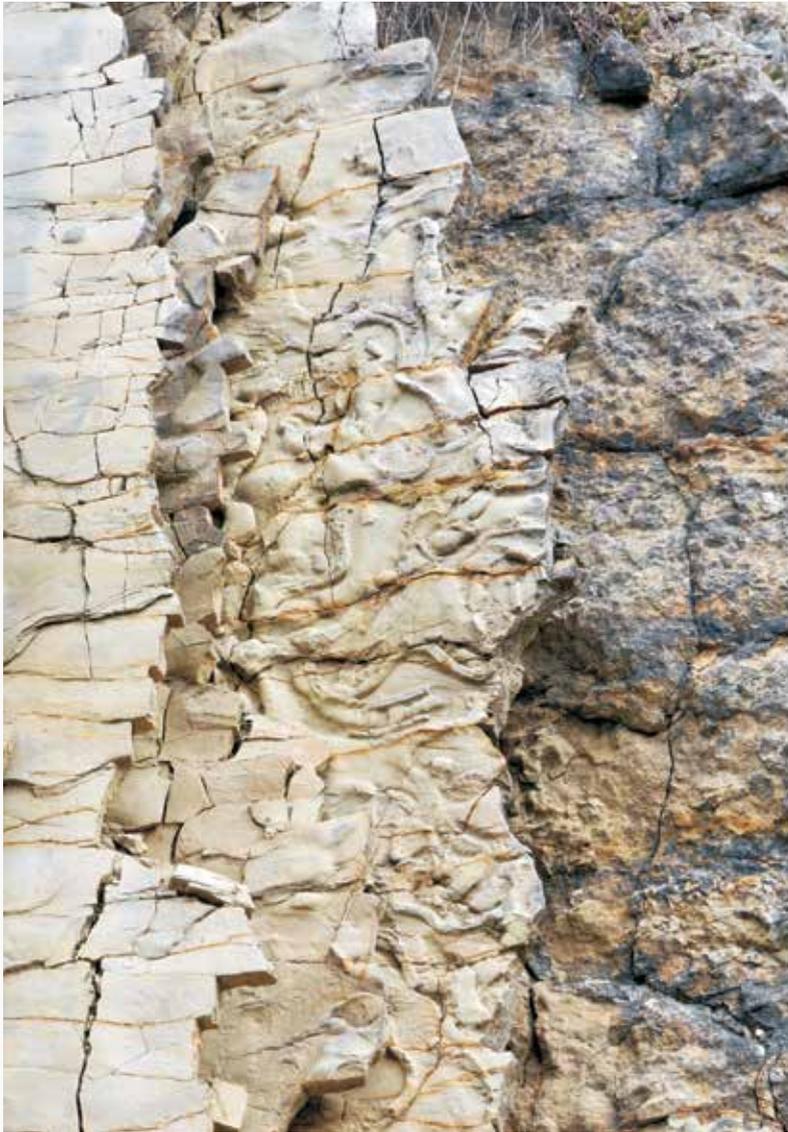


Eine besondere Form von Naturspielen entsteht durch Zufälle, in deren Folge Teile unterschiedlicher Organismen so zusammengeführt werden, dass sie auf den ersten Blick wie der Rest eines einzigen Objekts aussehen. In diesem Fall wird allerdings auch weniger erfahrenen Findern rasch klar werden, dass der fünfzählige Stern nicht ein natürliches Bauelemente der Muschel sein kann, an der er haftet. Zu bekannt und unverwechselbar sind die Formen der Seelilien, als dass ein solch schönes Mischwesen für authentisch gehalten werden könnte.

Unterer Jura bei Neumarkt (Oberpfalz) - Sammlung Westhoven (Nürnberg)

Nicht selten war einem solchen Kabinett auch die Bibliothek angegliedert, in der weitere Raritäten lagen oder auch bestaunt werden konnten: seltene Bücher, vielleicht auch Manuskripte von berühmten Leuten.

Fossilien und Naturspiele im heutigen Sinn waren Teile dieser Wunderkammern. Ihr langsamer Wandel zu einer als wissenschaftlich angesehenen Sammlung setzte ein, als Figurensteine nicht mehr ungeachtet ihrer regionalen Herkunft zusammengekauft wurden, sondern als Dokumente der Naturgeschichte einer konkreten Region angesehen wurden. Diese Entwicklung begann in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts. Als Fundquelle konnte ein natürlicher oder künstlicher Aufschluß dienen, die Umgebung der Stadt oder auch eine weiter ausgedehnte Region.



Laune der Natur oder Launen der Tiere am Boden des Muschelkalkmeeres?
 Von vielen Lebewesen kennt man nur die Spuren, die sie im Gestein hinterlassen haben. Unterseite einer Bank im Oberen Muschelkalk

Steinbruch „Gelbe Weiden“ südlich Kulmbach, Oberfranken (Nordbayern)



Monster im Wald sind für uns heutzutage lustvolle Spiele der Phantasie. Andere Kulturen, wie etwa die australischen Ureinwohner, sind es hingegen gewohnt, in Felsen zu Stein gewordenen Relikte ihrer Vorzeit zu sehen.

Zyprianstein am Steinberg bei Rinnenbrunn, zwischen Oberachtel und Bärnhof (Oberpfalz)

Den Funden kam damit eine neue Bedeutung zu: Sie waren nicht mehr nur ästhetisch interessante Objekte, sondern – möglicherweise auch neben Artefakten aus prähistorischer Zeit – Zeugnisse der Natur. Der Sammler war so zum Vertreter einer neuen, nun empirisch orientierten naturhistorischen Praxis geworden.¹³

Diese Verschiebung eröffnete der Sammlung zugleich eine neue, verstärkende Perspektive. Für den Erwerb der Figurensteine bedurfte es nicht unbedingt mehr bedeutender finanzieller Mittel, man konnte sie stattdessen ganz einfach vom Boden aufsammeln. Allein durch die Beachtung dieser Objekte war es möglich, eine umfangreiche, vielleicht sogar dokumentations- wie publikationswürdige Sammlung zustande zu bringen.

Nachdem die Objekte nun als Gegenstände der Naturgeschichte – wohl-gemerkt: nicht der Entwicklungsgeschichte, sondern als Sachinventar einer Region – angesehen wurden, war schließlich auch die Zeit gekom-men, sich Klarheit über den eigentlichen Charakter der Figurensteine zu verschaffen.

4. Fossilien als Zeugnisse der Sintflut

Mit der Akzeptanz versteinertes Organismen konnte eine erste erdge-schichtliche Erklärung nicht lange auf sich warten lassen. Gegen Ende des 17. Jahrhunderts griff rasch die Ansicht um sich, die Figurensteine wären Zeugnisse der Sintflut. Die Sintflut war das einzige in der Bibel dokumentierte Ereignis von möglicherweise erdgeschichtlichem For-mat. Dieser Gedanke war in zweifacher Hinsicht willkommen.

So wurde es auf der einen Seite möglich, die in den Gesteinen gefunde-nen Strukturen als einstige Lebensformen zu akzeptieren, ohne auf der anderen Seite die biblische Chronologie aufgeben zu müssen. Diese Art einer ersten Erdgeschichte bezog sich auf Veränderungen, die die Erde nach ihrer Schöpfung, wie auch erst nach der Schöpfung des Menschen betroffen haben.

Die Fossilien wurden somit in der ersten Phase tatsächlich mehr als Be-stätigung der biblischen Chronologie verstanden denn für ihre Auflö-sung benutzt. Die Tür zu einer „tiefen“ Erdgeschichte wurde in der Folge daher erst mal nicht aufgestoßen.

In dieser Richtung war die Argumentation über die Vielfalt und Mäch-tigkeit von Gesteinsschichten wirksamer. Der Umfang der Fossilien füh-renden Schichten erwies sich als so immens, dass er bald nicht mehr als Folge nur einer einzigen, zeitlich begrenzten Flut verständlich sein konnte. Dazu kamen die Vorkommen der angeblichen Sintflut-Zeugnisse in großen Höhen, oft inmitten der Gebirge. Auch damit stießen die ersen Versuche einer natürlichen Erklärung zunehmend an die Grenze physikalischer Möglichkeiten: Wie sollte eine solcher Anstieg des Meer-esspiegels möglich gewesen sein?

Mit der auf den Umfang der Gesteinsformationen gegründeten Ausdeh-nung der Erdgeschichte wurden die Fossilien gleichsam „mitgenommen“. Ihre Bedeutung lag nun darin, dass sie Zeugnis für den Charakter des Ablagerungsraums geben konnten. Aufgrund der eingebetteten Flora und Fauna konnte eine Formation als marin, festländisch oder vielleicht gar als Süßwassersediment beurteilt werden.

5. Fossilien als Zeugnisse vergangener Lebenswelten

Die Bedeutung der Fossilien als biologisches Objekt wurde im Laufe die-ser Entwicklung lange an den Rand gedrängt. Erst mit Beginn des 19. Jahrhunderts, maßgeblich durch die Arbeiten von Georges Cuvier, wur-den die Versteinerungen wieder in das Zentrum der erdgeschichtlichen Forschung zurück geführt. Erst dann wurden sie zu Zeugnissen einer Entwicklungsgeschichte des Lebens, und zu den Objekten, mit deren Hilfe das erdgeschichtliche Alter der Formationen verglichen und ge-ordnet werden konnte.

Nur wenige Einrichtungen boten im ausgehenden 18. Jahrhundert aus-reichendes Vergleichsmaterial, um das Aussterben einer Spezies wirk-lich als Tatsache erkennen zu können. Das Naturkundemuseum in Paris besaß in jener Zeit zweifellos die vollständigste Sammlung an Flora, Fau-na und Fossilien. Als der noch junge Georges Cuvier (1769–1832) gerade erst eine Assistentenposition am *Musée National d'Histoire Naturelle* in Paris angetreten hatte, nahm er sich schon bald – im Jahr 1796 – Schä-del, Unterkiefer und Zähne verschiedener Elefanten vor.¹⁴

Sein Ergebnis war, dass das aus Sibirien stammende, als Mammut be-zeichnete Tier weder mit dem asiatischen (Indischen), noch mit dem Afrikanischen Elefanten, und so am Ende mit keiner noch existierenden Spezies identisch sein konnte. Damit war das Mammut als die erste in der Erdgeschichte ausgestorbene Art bestimmt. Cuvier hat sich dabei bewusst den Vorteil zu Nutze gemacht, dass große Wirbeltiere kaum zu übersehen sind: Würde das Mammut noch irgendwo auf der Erde exis-tieren, hätte es wohl doch auch schon jemand sehen müssen.

Schon Cuviers erster großer Schritt, die Trennung der erdgeschichtlichen Gegenwart von einer vorangegangenen Epoche, war alleine durch die Unterschiede in der Komposition der Spezies begründet. So wie die Gegenwart durch die Existenz des Menschen gekennzeichnet wird, bestimmen große, heute ausgestorbene Säugetiere die Vorzeit.

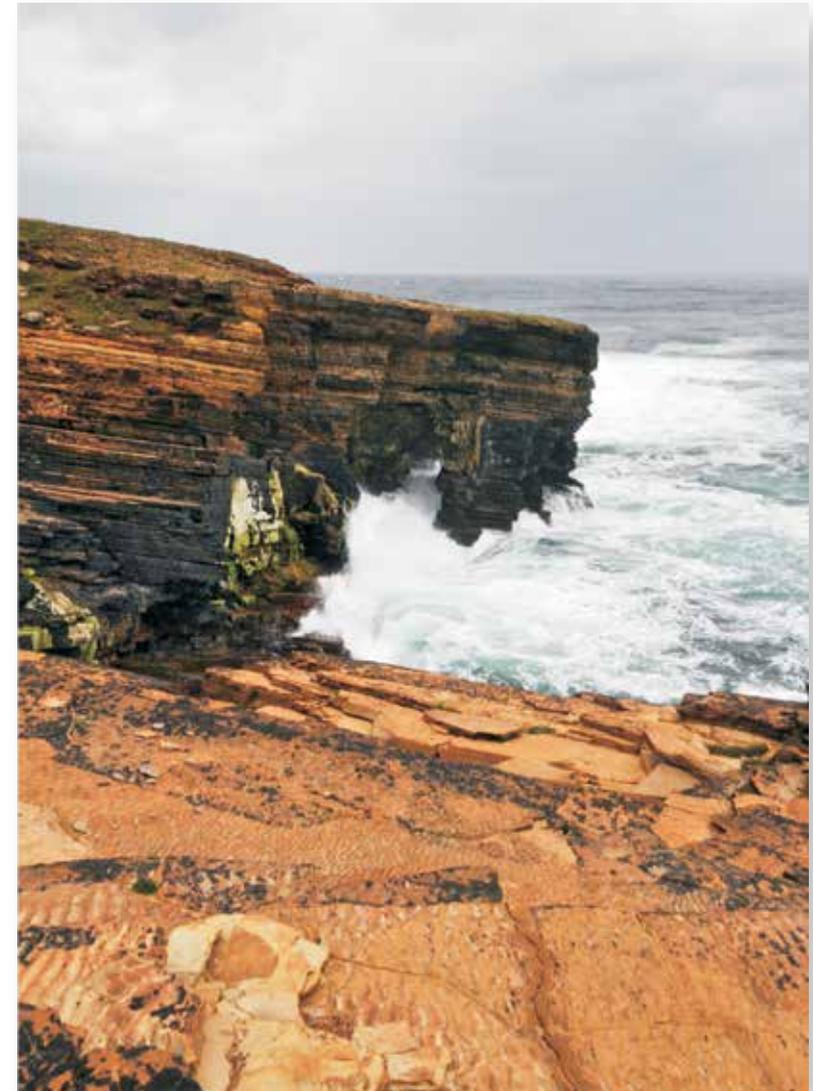
Die Art der Gesteine spielte für diese Art der erdgeschichtlichen Gliederung nur eine nachgeordnete Rolle. Es waren die Lebensformen, an denen sich ein erdgeschichtlicher Abschnitt identifizieren ließ. Der Anatom Cuvier seziiert die Haut der Erde – und darin finden sich Lagen mit jeweils unterschiedlichen Lebensformen!¹⁵

Spätestens mit dieser Arbeit leiten die Autoren in der Geschichte der Geowissenschaften ein weitere Revolution ein: Die Formationen, bei Füchsel und Werner durch mineralogische Prozesse geprägte Einheiten der Erdkruste, sind nun zu Zeugnissen von Lebensräumen geworden. Weniger die mineralogische Konsistenz, als die Faunenassoziationen charakterisieren die einzelnen Abschnitte der Erdgeschichte.

Der Begriff „Fossil“ kommt eigentlich von „graben“, hat aber erst durch Cuvier seine heutige Bedeutung erhalten. In der Freiburger Geologenschule bedeutete „Fossil“ in jener Zeit noch immer „ein aus dem Gebirge gewonnenes Mineral“.¹⁶ Die in den Gesteinen gefundenen Organismenreste sind im wesentlichen Zeugnisse ausgestorbener Spezies. Fossil bedeutet für uns heute: gegenwärtig nicht mehr existent.

6. Die fehlenden Seiten im Buch der Natur

Georges Cuvier hätte noch so viel erdgeschichtliche Zeit zur Verfügung haben können – eine natürliche Entwicklung der Spezies wäre dennoch an seinem Bild vom Organismus gescheitert. Für eine in ihren Bauteilen perfekt abgestimmte Einheit hätte jede Veränderung eines anatomischen Elements fatale Fehlfunktionen zur Folge gehabt. Solche Veränderungen im Bauplan wären noch eher als Ursache für das Aussterben als für die erfolgreiche Entwicklung einer Spezies denkbar gewesen.



Das Archiv der Erdgeschichte gleicht nicht einer abschließbaren Museumsvitrine. Ihre Zeugnisse können nicht vor den geologischen Kräften bewahrt werden, denen sie zugleich auch ihre Entstehung verdanken.

Vor 400 Millionen Jahren, lange bevor es den Atlantik gab, haben sanfte Wellen an der Küste eines großen Sees die im Vordergrund erhaltenen Rippelstrukturen geschaffen. Nun werden sie von den Brechern des Atlantiks wieder aufgezehrt.

Orkney Mainland, Nordküste (Schottland)



Jahrhunderte lang schritten die Gläubigen über die Zeugnisse der Erdgeschichte, ohne ihre Bedeutung wahrzunehmen.
Treppen mit Muschelanschnitten (Lias).

Eingang zur Kathedrale Staint-Lazaire in Autun (Burgund)

Auch wenn er mit seinen geologischen und paläontologischen Arbeiten „die Grenzen der Zeit zu überschreiten“ vermochte, bleibt doch im Dunkeln, wie umfangreich Cuvier sich die erdgeschichtliche Dimension tatsächlich vorgestellt haben mag. Cuvier, so scheint es, hat die Erdgeschichte aus dem Zeitgefühl der menschlichen Gegenwart heraus interpretiert.

Aber warum sollte man nicht versuchen, in umgekehrter Weise die Gegenwart aus der erdgeschichtlichen Perspektive zu sehen? Auf den ersten Blick mag ein solcher Gedanke wenig interessant sein, denn es geht ja eigentlich darum, die erdgeschichtliche Vergangenheit zu verstehen. Aber es sollte sich zeigen, dass eine solche Perspektive beträchtliches wissenschaftliches Potential hatte. Vielleicht gab es ja Prozesse, die so langsam verlaufen, dass wir sie in der Gegenwart gar nicht direkt beobachten können. Dann könnten wir ihnen nur auf die Spur kommen, wenn wir sie aus der Verknüpfung erdgeschichtlicher Zeugnisse rekonstruieren und prüfen, ob sie sich mit den Beobachtungen in der Gegenwart vereinbaren lassen.

Eine solche Umkehrung der Perspektive ergab sich nicht ohne weiteres aus der Beobachtung erdgeschichtlicher Zeugnisse. Es bedurfte einer intensiven Auseinandersetzung mit diesen Zeugnissen und einem fortgesetzten Abwägen, wie repräsentativ unsere Gegenwart als Ausschnitt der Erdgeschichte insgesamt sein konnte. Erst als ein solches Denkmuster möglich geworden war, konnte man neue, erdgeschichtlich bedeutende Prozesse zumindest als Hypothese formulieren. Ein Prozess dieser Art ist letztlich auch die Evolution, so wie sie von Darwin als ein ebenfalls in der Gegenwart nicht direkt beobachtbarer Prozess konzipiert wurde.

Aber es war nicht Darwin selbst, der diesen ungewöhnlichen Blick auf die Gegenwart entwickelt hat, sondern der Schotte Charles Lyell. Geboren im Jahr 1797, dem gleichen Jahr, in dem James Hutton starb, scheint ihm dieser noch in die Wiege gelegt zu haben: *Look into the abyss of time!* Blicke in den Abgrund der Zeit!

In den Prinzipien greift Lyell immer wieder auf Gedankenexperimente zurück um zu verdeutlichen, dass viele Erscheinungen nur deshalb als plötzlich oder katastrophenartig erscheinen, weil man bei der Interpretation nicht bedacht hat, dass die erdgeschichtliche Aufzeichnung nicht durchweg vollständig sein muss. Große Zeitlücken oder auch nur Fundlücken können die Dokumentation der wirksamen Prozesse so unterbrechen, dass sprunghafte Veränderungen im Erscheinungsbild vorgetäuscht werden, sei es in Hinblick auf die andauernde Umgestaltung der Erdoberfläche, sei es in der Entwicklung der Spezies.

Bevor wir uns näher ansehen, wie Darwin in bis dahin noch nie dagewesener Weise aus der erdgeschichtlichen Zeit geschöpft hat, können wir eine Landschaft besuchen, deren Formenschatz die Vorstellungen von der Tiefe der erdgeschichtlichen Zeit in besonderer Weise unterstützt hat. Die Vulkanlandschaft der Auvergne hat Generationen von Geologen Mittel in die Hand gegeben, das Verhältnis von Erdgeschichte und Gegenwart so einzustellen, dass die menschliche Gegenwart aus der fernen Perspektive der Erdgeschichte auf das denkbar kleinste Maß reduziert wird.

7. Die Besonderheit vulkanischer Landschaften

Nicht jede Landschaft gibt dem geologisch geprägten Betrachter in gleicher Weise Schlüssel zur Bestimmung ihrer Geschichte in die Hand. Während sich die Erdgeschichte über das Schichtenprinzip in vielen Regionen mehr oder weniger gut rekonstruieren lässt, sind Landschaften, in denen sich Vorstellungen zum schwierigen Verhältnis geologischer und menschlich-historischer Zeiträume entwickeln lassen, viel seltener.

Die Chaine des Puy sind die Folge eines sehr jungen Vulkanismus. Die Ausbrüche konzentrieren sich auf einen Zeitraum von 10.000 - 6.000 Jahren und reichen damit in die Jungsteinzeit. Geologisch betrachtet sind sie „Gegenwart“. Doch vor dieser jungen Phase gab es auch ältere Eruptionen. Der berühmte, von einer Lava eingenommene Rücken der *Montagne de la Serre*, hat ein Alter von ca. 3 Millionen Jahren, die zwei Basaltlagen des Plateaus von Gergovie gar von 16 bzw. 19 Millionen Jahren.¹⁷



Connecting links sind erst im Zusammenhang mit Darwins Evolutionstheorie weithin bekannt geworden. Ihre Verwendung bei Scrope beruht tatsächlich auf einer völlig analogen Problematik: das – vermutete! – Kontinuum der Wirkungen hat kein Kontinuum an Erscheinungen hinterlassen: es gibt Überlieferungslücken. Aber eine möglichst dichte Kette von Zwischengliedern kann davon zeugen, dass die Kette selbst auch tatsächlich existiert hat und nicht nur ein spekulatives Konstrukt ist. Die Überzeugungskraft einer solchen Kette hängt natürlich von der Dichte dieser Glieder ab. Scrope hat hier eine äußerst überzeugende Grafik geschaffen, die die Situation in Form eines geologischen Profils zusammenfasst. Mit dieser lehrbuchreifen Demonstration hat Scrope einen bedeutenden Schritt getan, die Entstehung der Täler durch die kontinuierliche Einschneidung der Flüsse nachzuweisen.

Scrope, George Poulett (1827): Memoir on the geology of Central France; including the volcanic formations of Auvergne, the Velay, and the Viverrais. London.

Da die Lavaströme stets – wie Wasser, nur wesentlich zähflüssiger – zu den jeweils tiefsten Geländeneiveaus laufen, markieren sie zuverlässig das Niveau der Talböden zur Zeit ihrer Platznahme. Die soeben skizzierte erdgeschichtliche Entwicklung der Region hat damit eine in Europa in diesem Umfang einzigartige Kulisse zur naturgeschichtlichen Dokumentation der fortschreitenden Taleintiefung geschaffen.

Der völlige Mangel an Berichten über irgendwelche Ausbrüche verweist in eine Zeit vor der menschlichen Erinnerung. Gleichwohl sehen die jüngsten Vulkanformen wie frisch entstanden aus: „Geologisch jung“ bedeutet aber somit schon ein Alter jenseits der Dimension der menschlichen Beobachtung. Doch auch die Tiefenerosion der Flüsse muss in einer Geschwindigkeit verlaufen, die sich unserer direkten Beobachtung entzieht.



Die unter der Lava erhaltenen Schotter sind ein Beweis dafür, dass das Tal der Loire auch schon zu jener Zeit existiert hat und dann erst nachfolgend durch die Erosionsleistung des Flusses weiter vertieft wurde.

Obere Loire bei Goudet, Auvergne

Anhand der durch Lavaströme nachweisbaren älteren, nun hochgelegenen Tallagen, muss die Zeit dieser hohen Täler nochmals viel weiter zurück liegen. Aber diese hohen Tallagen sind immer noch jünger als der Einbruch des Limagne-Grabens, dessen tertiärzeitliche Sedimentfüllung ein ebenfalls noch junges geologisches Alter aufweist.

So kann der Faden der Geschehnisse in eine weit entfernte Vergangenheit zurückverfolgt werden, aber dennoch ist diese Vergangenheit noch immer einer der jüngsten Abschnitte der Erdgeschichte. Die geologischen Prozesse verlaufen offenbar in einem Takt, der sich unseren menschlichen Maßstäben völlig entzieht.



Viele Vulkanformen der Auvergne erschienen so frisch und vollständig, dass sie gerade erst in der jüngsten geologischen Vergangenheit entstanden sein können. Dennoch sind sie älter, als jegliche menschliche Erinnerung zurückreicht. Zugleich belegen die an sich fragilen, aus losem pyroklastischem Material aufgebauten Vulkankegel, dass niemals eine gewaltsame Flut über das Land gegangen sein kann: Eine solche wurde von vielen Geologen unter anderem deshalb gefordert, weil diese sich die Entstehung der Täler nur durch einen solchen gewaltsamen Akt vorstellen konnten. Gegen eine solche Vorstellung sprach auch die von alten Lavaströmen markierten Tallagen, die als *connecting links* für eine kontinuierliche Eintiefung der Täler sprachen.

Puy de la Vache (rechts) und Puy de Lassolas (links) von Süden

Aber, so Scrope, die Erdgeschichte ist von einer Dimension, die uns die Möglichkeit gibt, für ihre Wirkung unbegrenzt Zeit einräumen zu können.¹⁸ Dieser entfesselte Zugriff auf die Zeit wird von einer Art Hymne, oder zumindest einer sehr poetischen Würdigung, gekrönt:¹⁹

„Die Perioden, die für unsere enge Fassungskraft, und im Vergleich mit unserer kurzlebigen Existenz, von unabschätzbarer Dauer scheinen, sind aller Wahrscheinlichkeit nach nur Kleinigkeiten in der Zeitrechnung der Natur. Es ist die Geologie, die uns mehr als alle anderen Wissenschaften, mit dieser bedeutenden, wenngleich demütigenden Tatsache bekannt macht. Jeder Schritt, den wir bei dieser Beschäftigung unternehmen, zwingt uns dazu, nahezu unbegrenzt aus ihrem Alter zu schöpfen. Der leitende Gedanke, der bei allen unseren Erkundungen gegenwärtig ist, und der jede neue Beobachtung begleitet, der Laut, der dem Ohr des Studenten der Natur von jedem Teil ihrer Werke wiederhallt, ist

Zeit! – Zeit! – Zeit!“

8. Darwin: Evolution braucht Zeit

Ein Mensch muss für Jahre selbst mächtige, übereinandergelagerte Abfolgen von Schichten durchmustert und das Meer bei der Arbeit gesehen haben, wie es alte Gesteine zermahlt und neue Sedimente erzeugt – bevor er wirklich hoffen kann, irgendetwas von der Zeitspanne zu verstehen, deren Denkmäler wir um uns herum sehen.²⁰

Im folgenden bringt Darwin Angaben zur Mächtigkeit der Schichtgesteine, wie sie in England inzwischen relativ zuverlässig zusammengezählt werden konnten. Diese eindrucksvollen Zahlen sollen die Dimension der Erdgeschichte untermauern:²¹

paläozoische Schichten	57,154 ft
mesozoische [secondary] Schichten	13,190 ft
tertiäre Schichten	2,240 ft
<hr/>	
	72,584 ft [22,123 km]

Das Prinzip der Natürlichen Selektion, die funktionale Grundlage der Evolution, kann überhaupt nur dann als plausible Hypothese angesehen werden, wenn man ihr genügend Zeit einräumt. In den Augen Darwins ist der Mechanismus der Evolution in seiner zeitlichen Struktur nicht anders zu sehen als die vielen langsamen anorganischen Prozesse der

Erdgeschichte: eben so langsam, dass wir sie um uns herum nicht unmittelbar am Wirken sehen. Aber im Laufe der erdgeschichtlichen Zeiträume sollte die Evolution, durch die Aufsummierung dieser für uns direkt unmerklichen Prozesse, alle Lebensformen zustande bringen können.

Das Werk, dem Darwin diesen zeitlichen Spielraum entnahm, waren die *Prinzipien der Geologie* von Charles Lyell. Darwin macht unmissverständlich klar, dass es für das Verständnis seiner Evolutionstheorie eine unbedingte Voraussetzung gibt: die Vorstellung, oder zumindest Ahnung, von der Tiefe der erdgeschichtlichen Zeit.

Es ist mir kaum möglich, den Leser – sofern er kein erfahrener Geologe ist –, überhaupt nur an die Tatsachen zu erinnern, die den Verstand dazu bringen, wenigstens andeutungsweise den Ablauf der Zeit zu verstehen. Wer Sir Charles Lyells großes Werk über die „Prinzipien der Geologie“ in die Hand nimmt – von dem zukünftige Historiker urteilen werden, dass es eine Revolution in den Naturwissenschaft hervorgebracht hat –, aber dennoch nicht anerkennt wie unverständlich unermesslich die vergangenen Zeiträume sind, kann diesen Band gleich wieder zuschlagen.²²

Doch Zeit war nicht das einzige, was Darwin in nahezu beliebig verfügbarer Menge benötigte. Die zweite wichtige Voraussetzung war ein Konsens darüber, dass das Buch der Natur erhebliche Lücken aufwies: Aus der langen Zeit der Erdgeschichte, wie zugleich der Entwicklung des Lebens, fehlen uns zahlreiche Seiten. Diese Lücken sind nicht nur gelegentliche Erscheinungen, sondern umfangreich und ein grundsätzlicher Wesenszug im Buch der Erdgeschichte.²³ Sie in die Rechnung mit aufzunehmen, bringt wichtige Vorteile: zum einen kann man in diese Lücken noch mal beliebig viel Zeit hineinprojizieren, zum anderen kann man damit die Sprünge im Erscheinungsbild der Spezies, also den Mangel an Übergangsformen – *der connecting links* – verständlich machen.

9. Darwins Zeit-Kalkulation

Um die Langsamkeit erdgeschichtlicher Prozesse zu illustrieren, hat Darwin versucht, sie mit einer Kalkulation zu unterlegen. Offenbar wollte er seine Leser anhand konkreter Zahlen aus den sonst schwer zu kontrollierenden Unschärfen ihrer Vorstellungskraft holen. Nur dann würden sie vielleicht wirklich begreifen, wie langsam die geologischen Prozesse verlaufen und wie viel Zeit dafür nötig ist. Um Darwins Ansatz zu verstehen, muss man in Lyells *Principles* nachschlagen. Dort wird die Freilegung („Denudation“) der als „Weald“ bezeichneten Landschaft von der sie einst vollständig überlagernden Schreibkreide als ein Modellfall für das erdgeschichtliche Wechselspiel von Ablagerung und Abtragung präsentiert.²⁴

Das Weald ist eine Tallandschaft in Südengland, die im Norden wie im Süden von den darüber ansteigenden Hügelzügen der Schreibkreide begrenzt wird. Diese Hügelzüge und der zu ihnen hinauf führende Anstieg werden traditionell als *North Downs* bzw. *South Downs* bezeichnet. Aus heutiger Sicht handelt es sich bei Anstiegen zu den North und South Downs um Schichtstufen, die im Laufe der Erdgeschichte von einer zentralen breiten Schichtaufwölbung – unter festländischen Verhältnissen! – nach beiden Seiten zurückverlegt wurden. Die beiden Stufen liegen nun etwa 20-25 km weit auseinander.

Lyell nahm hingegen – aus heutiger Sicht in unzutreffender Weise – an, dass es sich bei den Schichtstufen am Rande der Downs um ein fossiles Meeresskliff handele.²⁵ Das Meer wäre nach der Ablagerung der Schreibkreide, sowie auch der noch darüber folgenden alt-tertiärzeitlichen Sedimente, in die sich aufwölbende Struktur eingedrungen. Ausgehend von einer schmalen, der heutigen Straße von Dover ähnlichen Meeresstraße, hätte die Brandung die Kliffs zu beiden Seiten bis zu ihrer heutigen Position zurückverlegt.

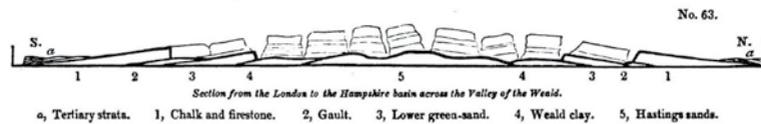
Diese heutige Position soll dann durch eine raschere Hebung des Landes bestimmt worden sein, in dem diese zum Trockenfallen der Meeresstraße und damit dem Ausfall der Brandungserosion geführt hat.

Um den 22 Meilen (ca. 30 km) breiten Streifen an Schreibkreide zwischen den heutigen South und North Downs abzutragen, wäre nach Darwins Kalkulation mindestens 306.662.400 Jahre, oder, wie er nach der Nennung dieser konkreten Zahl großzügig einräumt, „dreihundert Millionen Jahre“, notwendig gewesen.



Die im Bild zu sehenden Blöcke am Fuß des Kliffs (Mittelgrund) stammen nicht aus der Schreibkreide, sondern aus der darüber eingeschnittenen braunen Sandsteinrinne. Herabgebrochene Schreibkreide wird von der Brandung rasch aufgearbeitet, zurück bleiben allein die in der Kreide eingelagerten Feuerstein-Gerölle (im Vordergrund links unten). Steilküsten in wenig verfestigtem Gestein wie der Schreibkreide (Oberkreide) können besonders schnell zurück verlegt werden. Aus über Jahrzehnte gehenden Beobachtungen kann man Mittelwerte von bis 0,7 Meter/Jahr kalkulieren. Um die Dimension der Erdgeschichte deutlich zu machen, stellte Charles Darwin in seiner Erstauflage „Vom Ursprung der Arten“ eine Kalkulation vor, für die er eine Rücksetzung von nur 0,01 cm/Jahr zugrunde gelegt hatte. Die Evolution im Sinne Darwins benötigte viel Zeit, und ihr Autor war bemüht, ihr diese auch möglichst umfangreich zu gewähren.

England, Südküste östlich Seaford, im Hintergrund die Seven Sisters



Schichtstufe der Schreibkreide an den South Downs bei *Ditchling Beacon*. Der Interpretation Charles Lyells folgend, sah Darwin die Geländestufe am Rande der *Downs* als ein fossiles, aus dem Meer herausgehobenes Steilufer an. Die davor gelegene Senke, die als „Wealden“ bezeichnete Landschaft, wäre so gesehen durch die von der Brandung des Meeres verursachten Zurückversetzung der Schreibkreide freigelegt worden. Das ist der Gedanke, der dem als „Denudation des Wealden“ bezeichneten, für die Diskussion um das Alter der Erde so folgenreichere Gedankenexperiment zugrunde lag.

Der Blick geht über die Wealden-Senke nach Nordosten, die gegenüber liegenden *North Downs* sind leider in Wolken. Das Lyells „Prinzipien der Geologie“ (Bd. 3, 1833, S. 288) entnommene Profil (unten) zeigt die gesamte Situation wie den den geologischen Aufbau dieser sattelförmigen Schichtaufwölbung. Die inzwischen abgetragenen Schreibkreide-Bereiche über der Aufwölbungsachse sind etwas feiner gezeichnet.

Dieser Betrag ist selbst für uns heute schockierend groß. Nach heutiger Erfahrung sind für leicht zu erodierende Gesteine wie der Schreibkreide durchschnittliche Rückwanderungsgeschwindigkeiten von Dezimetern/Jahr möglich. Gegenwärtige Beobachtungen der Klifferosion an der Kanalküste zeigen allerdings erhebliche Schwankungen, abhängig von der Küstenposition und lokalen Strömungsverhältnissen: in Ost-Sussex und Kent waren 1870 - 2001 jährliche Erosionsraten zwischen 5-70 cm zu messen,²⁶ was 50 - 700 cm/100 Jahren entspräche, während Darwins nur 0,01 cm/Jahr angenommen hatte.

Die von Darwin genannten „dreihundert Millionen Jahre“ werden ausdrücklich als geschätzter Mindestzeitraum präsentiert. Er gibt zu bedenken, dass zwischen dem Beginn der Erosion und dem Ergebnis kein Prozesskontinuum geherrscht haben muss: die Erosion kann phasenweise geruht oder stark reduziert gewesen sein, weil der Meeresspiegel entweder über dem Kliff lag, oder unter das Kliff gefallen sein konnte. Seine Schlußfolgerung lautet letztendlich, dass wahrscheinlich eine weit längere Zeit als 300 Millionen seit dem Ende des Mesozoikums – und damit der Ablagerung der Schreibkreide bzw. der seiner einsetzenden Abtragung – vergangen sein wird.²⁷ Die folgende Diskussion ist auf die Feinheiten dieser Gedankengänge nicht eingegangen, sondern hat – wie sollte es auch anders sein – die konkret genannten 306.662.400 Jahre zur Zielscheibe genommen.

Darwin hat sich – aus heutiger Sicht – nicht nur leicht, sondern gleich um Größenordnungen verkalkuliert. Dies ist auch insofern bemerkenswert, als es hier offenbar zu einer Umkehrung der Perspektive gekommen ist: nicht der „kurze“ lebenszeitliche Blick hat die erdgeschichtliche Dimension in unzutreffender Weise verkürzt, sondern eine äußerst großzügige erdgeschichtliche Perspektive führt zu einer verlangsamten Einschätzung der „in der Gegenwart wirkenden Ursachen“.

Dabei scheint Darwin das von Lyell entworfene Konzept der tiefen Zeit nochmals gestreckt, wenn nicht gar überdehnt zu haben. Sein Vertrauen in dieses Konzept bzw. die unbestimmbare und gleichsam beliebige Länge erdgeschichtlicher Zeit muss übergroß gewesen sein. Denn selbst aus der Perspektive Lyells scheint Darwin hier zu weit gegangen zu sein.²⁸ Darwin hat dabei offenbar auch ignoriert, dass Lyell die Erosion von

Kliffs durchaus als einen der unmittelbaren Beobachtung zugänglichen Prozess erwähnt hat:

Wir haben vielfach Gelegenheiten, Zeuge der vollständigen Zerstörung der Kreide an unserer Südküste zu sein – zum Beispiel bei Seaford in Sussex, wo Jahr für Jahr große Massen vom Kliff abgelöst werden und sogleich verschwinden, nichts zurücklassend als einen großen Wall aus Feuerstein-Kies.²⁹

Wir müssen erkennen, dass Darwins Evolutionstheorie nicht ohne seine extrem großzügiges Sicht auf die Zeitdimension der Geologie denkbar ist. Und wir müssen auch sehen, dass es bis zur Publikation seines Werkes „Vom Ursprung der Arten“ auch niemanden gab, der dieser Beliebigkeit definitive Grenzen gesetzt hätte. Doch das sollte sich nun ändern – Darwins Evolutionstheorie war der Startschuss für eine für ihn sehr unerfreuliche Debatte um das Alter der Erde.

10. Lord Kelvin setzt Grenzen

Die nachdrücklichste Kritik an der von Darwin so äußerst großzügig in Anspruch genommenen Zeit kam nicht aus dem Bereich der Geologie, sondern aus der Sphäre der Dampfmaschine. Und erstaunlicherweise war das Argument nicht, dass sich ein Organismus, als Maschine gedacht, wohl kaum von selbst durch Veränderung seiner Teile entwickeln kann.

In den Mittelpunkt der Debatte rückte vielmehr das Problem, dass eine Maschine, und so auch die Erde, nicht ohne laufende Energieverluste funktionieren könne. Wenn die Energie, die die Erde im Anfangszustand als heißer Körper gehabt haben soll, nicht von irgendwoher ständig ersetzt wird, dann wird sie notwendig auskühlen. Ausgehend von einer kalkulierbaren Ausgangstemperatur, muss es also eine bestimmte, begrenzte Zeit gedauert haben, bis ihre Oberfläche auf die heutige Temperatur abgesunken ist.

Die Vorstellung einer im Inneren heißen, womöglich glutflüssigen Erde gründete auf die im 18. Jahrhundert entwickelte Hypothese von der Ent-

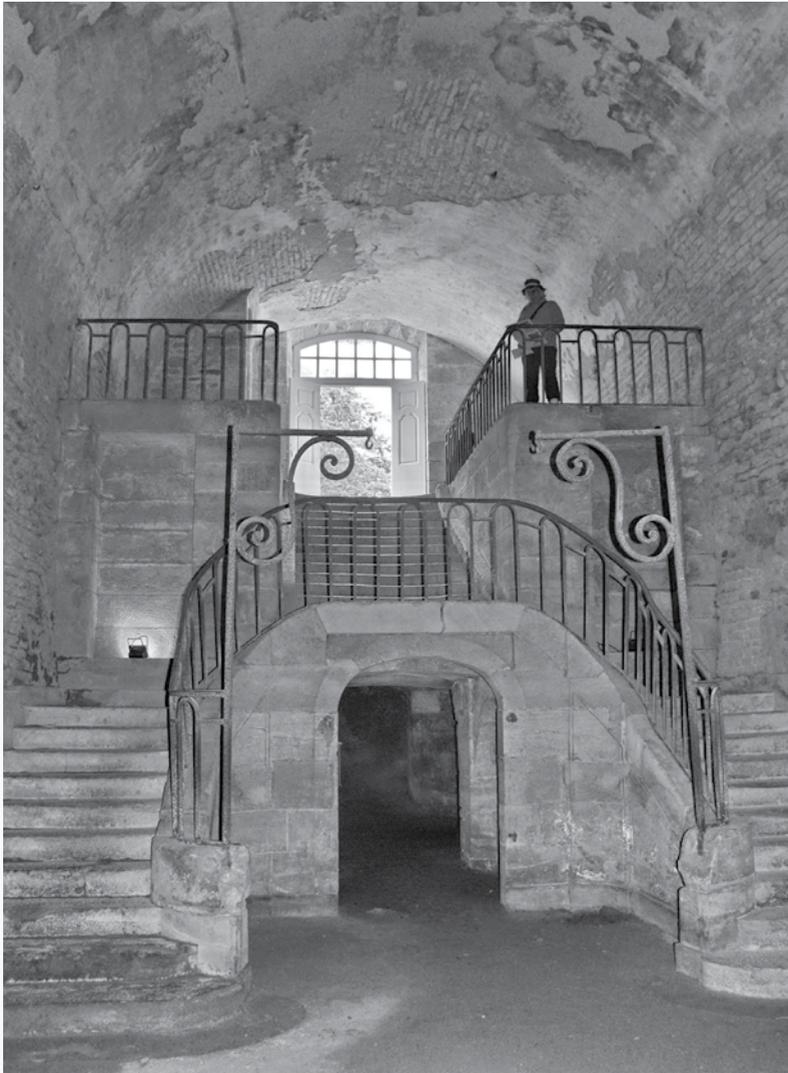
stehung des Planetensystems aus einem kondensierten Gasnebel, wie sie von Kant (1755) und später in ausführlicher Form von Pierre Simon Laplace (1798) formuliert wurde. Ein anschaulicher Beleg für eine im inneren heißen Erde waren Vulkane und flüssige Laven. Dazu kam, dass in Bergwerken zur Tiefe hin eine beträchtliche Zunahme der Temperatur gemessen werden konnte. Alle diese Indizien ließen sich gut mit dem Bild von einer im Inneren heißen Erde vereinbaren.

Die Beschäftigung mit der Ausbreitung von Wärme hatte enormes technisches wie wissenschaftliches Potential. In der Zeit der Dampfmaschinen wurden die physikalischen wie mathematischen Grundlagen zu dem als „Wärmetheorie“ bezeichneten theoretischen Gerüst gelegt.

Tatsächlich scheinen Erforscher der Wärmetheorie neben den technisch-physikalischen und mathematischen Aspekten aber auch von Beginn an schon häufig auch geologische und planetologische Fragestellungen bedacht zu haben. Wie vor ihm Buffon (1775)³⁰ ging Fourier von einer anfangs heißen Erde aus. Joseph Fourier, der im Jahr 1822 seine für die weitere Entwicklung bedeutende *Theorie analytique de chaleur* veröffentlichte, hatte schon zuvor (1820) Überlegungen zur thermischen Geschichte der Erde zu Papier gebracht. In dieser und einer weiteren auf die Erde bezogenen Arbeit (1824) hatte Fourier versucht, die theoretischen Probleme und die mathematische Behandlung zu diesem Thema herauszuarbeiten.³¹

Schon im jungen Alter hatte sich William Thomson (1824 - 1907) – später wegen seiner wissenschaftlichen Verdienste zum Lord Kelvin geadelt – mit Fragen der Wärmelehre befasst. Im Jahr 1852 publizierte er jene theoretischen Grundlagen, die später als *Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik* bezeichnet wurden: Die Zerstreuung von mechanischer Energie, vor allem in Form von Wärme, ist demnach ein unumkehrbarer Prozess.³² Dies bedeutet auch, dass Sonnen und Planeten nicht langfristige oder gar endlos gleichbleibende Systeme sein können. Bereits in dieser klassischen Arbeit bringt der Autor die Konsequenzen auch für die Dauer des Lebens auf der Erde unmissverständlich zum Ausdruck:

Innerhalb eines endlichen Zeitabschnitts der Vergangenheit muss die Erde für das Leben von Menschen, in seiner gegenwärtigen Konstitution, unge-



Ein stilvoll angelegtes Treppenhaus mit Balustrade ermöglichte es Besuchern in der Eisengießerei des Grafen Buffon, dem Abstich der Schmelze in sicherem Abstand beiwohnen zu können. Hier hat Buffon um 1770 Messungen zur Abkühlung von heißen Eisenkugeln unternommen und versucht, daraus das Alter der Erde zu kalkulieren. Ein knappes Jahrhundert später haben Physiker mit den fortgeschrittenen Methoden der Wärmelehre die Abkühlung der Erde neu berechnet und ihrem Alter Grenzen gesetzt.

Montbard, Burgund

*eignet gewesen sein, und innerhalb eines ebenso endlichen Zeitabschnitts wird die Erde es wieder sein; außer es wirkten Prozesse, oder es werden Prozesse wirken, die unter den Gesetzen, denen die bekannten Prozesse der materiellen Welt folgen, unmöglich sind.*³³

So gesehen, kann die Erde nicht nur metaphorisch als eine Maschine bezeichnet werden: Die Erde ist, physikalisch betrachtet, eine Maschine! Der *Zweite Hauptsatz* bestimmt, dass die Erde mit ihren geologischen Prozessen nicht als eine ewig laufende Maschine gesehen werden kann, sondern ihre Energie in unumkehrbarer Weise endlich sein muss. Und das ist nicht nur eine allgemeine philosophische Perspektive – der Energieverlust konnte dank der Mathematik auch kalkuliert werden. Dem Blick in die Tiefe der Zeit werden nun mit den nüchternen Gleichungen der Wärmetheorie Grenzen gesetzt.

Die Gleichförmigkeit der geologischen Prozesse, die Lyell und auch Darwin als methodologische Grundlage entwickelt und heran genommen hatten, wird nun aus der Perspektive der Wärmetheorie grundsätzlich in Frage gestellt: Die Geschichte der Erde muss eine thermische Entwicklung haben, und im Rahmen einer solchen Entwicklung sind langwährende, gleichförmige Zustände problematisch.

Genau in dieser Weise begann Thomson/Kelvin nach der Publikation von Darwins „Vom Ursprung der Arten“ energisch gegen das Gleichförmigkeits-Denken und die ihm willkürlich erscheinenden Zeitmaßstäbe gerade dieser Geologen zu argumentieren. Die erste Gegenattacke Kelvins erfolgte noch in einem Zusammenhang, der eigentlich der thermischen Entwicklung der Sonne galt. Dieser Text beginnt mit einem massiven Hinweis auf die unerschütterliche Gültigkeit des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik:

*Das zweite Gesetz der Thermodynamik birgt in sich ein sicheres Prinzip unumkehrbarer Wirkung in der Natur. Obwohl mechanische Energie grundsätzlich immer erhalten bleibt, gibt es eine allgemeine Tendenz zu ihrer Zerstreung, die eine graduelle Ausbreitung und Streuung von Wärme, sowie das Erlöschen von Bewegung und Erschöpfung potentieller Energie in der materiellen Welt verursacht.*³⁴

Nach einigen Seiten hat seine Argumentation den Punkt erreicht, an dem hinreichend deutlich geworden ist, dass auch die Sonnenenergie endlich und von kalkulierbarer Dauer ist. Noch bevor er die Zahlen konkret nennt, stellt er – gleichsam im Vorbeigehen – gegen Darwin den Anspruch heraus, dass dessen Annahmen über die Geschwindigkeit der Klifferosion wesentlich wahrscheinlicher unzutreffend sind als die physikalischen Grundlagen der Wärmetheorie, sowie auch die an dieser Stelle vorgenommenen Berechnungen zum Energiehaushalt der Sonne:

*Was sollen wir denn von solchen geologischen Schätzungen wie die 300.000.000 [300 Millionen] Jahre für die „Freilegung des Weald“ halten? Als ob es wahrscheinlicher wäre, dass sich die physikalischen Bedingungen der Sonnenmaterie 1000mal mehr von der Materie in unseren Laboratorien unterscheidet, als uns die Dynamik zwingt es anzunehmen; oder dass ein stürmisches Meer, vielleicht Gezeitenströme mit besonderer Gewalt, ein Kreidekliff 1000 mal schneller angreifen können als Mr. Darwins Schätzung von 1 inch/Jahrhundert?*³⁵

Am Ende nennt Thomson/Kelvin Zahlen, die das Reservoir an Sonnenenergie auf einen Zeitraum zwischen 100 Millionen und 500 Millionen Jahre einschränkt – wobei der untere Betrag kürzer ist als der von Darwin schon allein für die Denudation des Weald angenommenen Zeitraum, und der obere nur wenig über Darwins Schätzung hinausreicht:

*Es scheint daher äußerst wahrscheinlich, dass die Sonne die Erde nicht 100,000,000 [100 Millionen] Jahre, und nahezu sicher keine 500,000,000 [500 Millionen] Jahre beleuchtet hat. Was die Zukunft betrifft, können wir mit gleicher Sicherheit sagen, dass die Bewohner der Erde nicht fortdauernd weiter Licht und Wärme der Sonnen werden genießen können, sofern nicht uns heute noch unbekannt Energiequellen im großen Lagerhaus der Schöpfung bereit liegen.*³⁶

Darwin verstarb 1882 und hat den späteren Verlauf der Debatte nicht mehr erlebt. Eine unmittelbare Reaktion auf die Kritik Kelvins war jedoch, dass er seine Kalkulation über die „Freilegung des Weald“ von der Schreibkreide in den späteren Auflagen der Origin of species gestrichen hat. Auch hat er Überlegungen angestellt, wie Evolution auch in einem kleineren Zeitraum, also schneller, verlaufen könnte.

Die Debatte um das Alter der Erde hatte ihren Ursprung und Schauplatz im wesentlichen in Großbritannien. Zweifellos hatte aber die ganze, weltweite Geologen-Gemeinde zur Kenntnis nehmen müssen, dass die Physik der Erdgeschichte mit offenbar guten Gründen Grenzen setzte. Der Umgang mit der erdgeschichtlichen Zeit hat sich dadurch verändert: anstatt sie als beliebiges Reservoir zur Erklärung erdgeschichtlicher Prozesse zu nutzen, galt das Augenmerk nun einer festen, möglichst präzisen Strukturierung der Erdgeschichte.

Daran hat die folgende Entdeckung der Radioaktivität nichts wesentliches geändert. Auch wenn diese neue bekannt gewordene Energiequelle es ermöglichte, das Alter der Erde gleichsam von einem Moment zum anderen wieder offener und weiter denken zu können, war doch jedem Geologen klar, dass ihre Geschichte dennoch eine physikalisch bedingte Grenze haben muss. Mit der Entdeckung der radioaktiven Elemente wurde schon bald die Möglichkeit denkbar, das Alter von Gesteinen anhand der in ihnen enthaltenen radioaktiven Spaltprodukte zu messen. Das Verfahren war, rein theoretisch betrachtet, einfach. Schwierig war hingegen die technische Durchführung, an deren Ende ja eine hinreichend vertrauenswürdige Genauigkeit stehen sollte.³⁷

In der Mitte der 50iger Jahre waren dann schließlich Standards erreicht, die es Clair Cameron Patterson (1922–1995) am *California Institute of Technology* ermöglichten, das Alter der Erde auf der Grundlage von Meteoriten auf 4,55 Milliarden Jahre zu datieren.³⁸ Zahlreiche neuere Messungen haben diesen Wert bis auf kleine Abweichungen bestätigt.

Das Alter der Erde scheint damit für alle Zeiten geklärt zu sein. Doch ein physikalisches Datum sagt wenig dazu aus, wie das Verhältnis von Gegenwart und Erdgeschichte tatsächlich wahrgenommen wird. Es hat sich gezeigt, dass diese Wahrnehmung weniger davon abhängt, wie man das Alter der Erde einschätzt oder davon weiß. Viel bedeutender ist offenbar der Eindruck, ob und in welcher Weise geologische Prozesse tatsächlich unsere Gegenwart oder gar unsere Zukunft berühren können.



In Island verläuft der Mittelatlantische Rücken über das Festland. Hätte Alfred Wegener die heutige Technik zur Hand und ein paar Jahre Meßdauer zur Verfügung gehabt, hätte er das von ihm angenommene Auseinanderrücken von Amerika und Europa belegen können. Auch wenn geologische Prozesse nicht unmittelbar mit dem Auge wahrnehmbar sind, können sie mit moderner Technik mitunter doch gemessen werden.

Thingvellir, Island

11. Geologischer Faktor Mensch: Das Anthropozän

Der Wirkung des Menschen auf die Umwelt hat ein geologisch relevantes Ausmaß erreicht – daran kann kein Zweifel bestehen. Zur Diskussion steht lediglich, wann diese Wirkung eingesetzt hat – einen Begriff dafür gibt es jedoch schon: **Anthropozän**.³⁹

Der Beginn dieses neu definierten Zeitalters wird möglicherweise gar nicht auf einen konkreten Anfangspunkt gebracht werden können, denn als Teilnehmer an den globalen Kreisläufen hat der Mensch – wie jede andere Spezies – von Beginn an nicht nur eine passive Rolle gespielt.

Mit der Entdeckung des Feuers, mit der Aufgabe des nomadischen Lebensstils und dem Beginn systematischer Landwirtschaft, mit dem

Abbau von Kohle und der Gewinnung von Erdöl und Erdgas, mit dem CO₂-Ausstoß durch Verbrennung dieser fossilen Reservoirs, mit der Produktion von Nukliden durch Kernspaltung, und letztlich mit dem ungebremsten Wachstum der Bevölkerung ist die Spezies in die Situation geraten, ungewollt *Geo-Engineering*⁴⁰ zu betreiben – und das nicht nur in Hinsicht auf das Klima.⁴¹

Für die geologische Praxis ist die Einführung eines Anthropozän genannten Periode weitgehend unerheblich. Die Erdgeschichte – und gerade die jüngere, die die Zeit der Hominiden oder gar nur des *Homo sapiens* der jetzigen Nacheiszeit umfasst – bedarf eigentlich keiner zusätzlichen Gliederungshilfen. Doch geht es jenen, die diesen Begriff gebrauchen und unterstützen, vor allem um die symbolische Bedeutung: Die Aufmerksamkeit soll damit auf diese neue menscheits- und zugleich auch neue erdgeschichtliche Situation gelenkt werden.



Die letzten Jahrhunderttausende waren durch einen regelmäßigen Wechsel von Kalt- und Warmzeiten geprägt. Der Mensch hat zwar eine lange Vorgeschichte, zum geologischen Faktor wurde der Mensch allerdings erst mit dem gewaltigen Bevölkerungswachstum unter den günstigen Klimaverhältnissen der letzten 10.000 Jahre, ein winziger Augenblick im Ganzen der Erdgeschichte.

Südos-Island

Nachdem die frühe Geologie auch Fragen zur Zukunft der Erde und des Menschen gestellt hat, war diese Blickrichtung lange außer Gebrauch gekommen. Kein Zweifel kann daran bestehen, dass der Mensch heute selbst ein geologischer Faktor ist. Dieser Sachverhalt ist nicht mehr rückgängig zu machen. Daher wird der Blick in die Tiefe der Zeit nun immer auch in die Zukunft gerichtet sein.



Eis schmilzt schneller, als Berge abgetragen werden. Ozeane können viel schneller steigen, als Gebirge wachsen.

Island

Anmerkungen

¹ Der in diesem Heft wiedergegebene Text ist eine stark gekürzte sowie in Teilen veränderte Version des im Herbst dieses Jahres erscheinenden Werks. *Die geologische Revolution: Wie die Erdgeschichte unser Denken veränderte*, Darmstadt 2015 (Wissenschaftliche Buchgemeinschaft).

² Das vorliegende Werk gründet auf langjährige wissenschaftsgeschichtliche Forschung und damit auch auf den Arbeiten vieler anderer, die sich mit den hier behandelten Fragestellungen befasst haben. Es ist hier nicht möglich, alle relevanten Beiträge zu dokumentieren. Wir bitten um Verständnis dafür, dass Quellen hier nur selektiv angegeben werden, so wie auch die Darstellung selbst versucht sich nur auf einige, für die „Entdeckung der Zeit“ besonders aussagekräftige Figuren und Beiträge zu konzentrieren.

³ Foucault (1966/dt. 1974): *Les mots et les choses/Die Ordnung der Dinge*.

⁴ Lepenies (1978): *Das Ende der Naturgeschichte*; Toulmin & Goodfield (1985): *Entdeckung der Zeit*.

⁵ Albritton (1980): *The abyss of time*; Rossi (1984): *The dark abyss of time: The history of the earth and the history of nations from Hooke to Vico*; Rudwick (2005): *Bursting the limits of time*; Rudwick (2008): *Worlds before Adam*.

⁶ *We felt ourselves necessarily carried back to the time when the schistus on which we stood was yet at the bottom of the sea, and when the sandstone before us was only beginning to be deposited, in the shape of sand or mud, from the waters of a superincumbent ocean. An epocha still more remote presented itself, when even the most ancient of this rocks, instead of standing upright in vertical beds, lay in horizontal planes at the bottom of the sea, and was not yet disturbed by the immeasurable force which has burst asunder the solid pavement of the globe. Revolutions still more remote appeared in the distance of this extraordinary perspective. The mind seemed to grow giddy by looking so far into the abyss of time.* Playfair (1805): *Biographical Account of the late Dr. James Hutton*, S. 72f.

⁷ Die in Leiden abgelegte medizinische Dissertation handelte vom Blutkreislauf: Hutton (1749): *Dissertatio physico-medica inauguralis et circulatione microcosmi*. Weiter finden wir in seinem Werk unter anderen eine „Theorie des Regens“ (1788), eine „Abhandlung über geschriebene Sprache als ein Zeichen der Rede“ (1790), „Eine Untersuchung der Grundsätze des Wissens, und dem Fortschritt des Verstandes, von der Wahrnehmung bis zur Wissenschaft und Philosophie“ (1794), sowie „Elemente des Ackerbaus“ (unpubl. Manuskript 1797).

⁸ Hutton (1785): *Abstract of a dissertation read in the Royal Society of Edinburgh, upon the seventh of march, and fourth of april, M,DCCC,LXXXV, concerning the system of the earth, its duration and stability*. Edinburgh.

Anmerkungen

- ⁹ Playfair (1805): Biographical Account of the late Dr. James Hutton, S. 67; Playfair verwendet hier statt *experimentum crucis* den älteren, auf Francis Bacon zurück gehenden Begriff *instantia crucis*.
- ¹⁰ Wilde, Simon A. (2011): Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.4. Gyr ago. *Nature* 409: 175-178.
- ¹¹ The result, therefore, of our present inquiry is, that we find no vestige of a beginning – no prospect of an end. Dieser Satz beschließt bereits Huttons Theory (1788), erscheint dann nochmal in der Theory of the Earth (1795), Bd.1, Ende des ersten Kapitels.
- ¹² *My ambition is to make a spacious library, where the books shall consist, in the ancient manner, of tables of stone, and (without any mystical sense) wrote by the finger of God alone, whatever difficulty may occur in distinguishing the character or understanding the language, we shall not, at least, be troubled with correcting errors either in the press or composition.* – James Hutton, *Brief an John Strange, vermutl. um 1770*; in Eyles, V. A. & Eyles, J. M. (1951): *Some geological correspondence of James Hutton, Annals of Science* 7, 316-339.
- ¹³ Eine frühe Arbeit dieser Art in Deutschland zur Region um Helmstedt: Conring, Hermann (1665): *De antiquissimo statu Helmestadii et vicinae coniecturae. Helmestadii (Helmstedt) (Henning Müller). Zur Nachbarschaft von Nürnberg und der Universität Altdorf: Baier, Johann Jacob (1708): Oryktographia Norica, sive rerum fossilium et ad minerale regnum pertinentium, in territorio norimbergens eiusque vicinia observatarum succincta descriptio. Cum iconibus lapidum figuratorum fere ducentis. Norimbergae (Nürnberg), Wolfgang Michael (Wolfgangi Michahellis).*
- ¹⁴ Cuvier (1796) *Mémoire sur les espèces d'éléphants tant vivantes que fossiles, lu à la séance publique de l'Institut National le 15 germinal, an IV. Magasin encyclopédique, 2e année, 3. 440-445; Rudwick: Georges Cuvier, Fossil Bones, and Geological Catastrophes: New Translations & Interpretations of the Primar Texts.* – University of Chicago Press 1997.
- ¹⁵ Kenner der Geschichte der Geowissenschaften werden hier den Hinweis auf den Engländer William Smith (1769 - 1839) vermisst haben. Nachdem Smith ab 1799 einige geologische Karten zu Teilgebieten Englands fertiggestellt und publiziert hatte, wurde 1815 die erste zusammenhängende geologische Karte von England und Wales herausgebracht und damit zugleich unterstrichen, welchen enorme erdgeschichtliche Informationen aus einem solchen Werk zu gewinnen ist. Smith hat ebenfalls die Bedeutung der Fossilien für die Charakterisierung von Formationen erkannt und systematisch angewandt.

Anmerkungen

- Da das vorliegende Buch nicht auf Vollständigkeit zielt, haben wir uns auf die Arbeiten Cuviers konzentriert. Über die Beiträge von Smith hinausgehend hat Cuvier „Aussterben“ thematisiert sowie darauf einen ganzen erdgeschichtlichen Entwurf gegründet. Insbesondere in Frankreich und Deutschland, und selbst in England, wurde Cuviers „Katastrophentheorie“ auch weit über die Fachkreise hinaus diskutiert. Zu Smith siehe: Winchester 2001, *The map that changed the world: the tale of William Smith and the birth of a science*, London.
- ¹⁶ Werner, Abraham Gottlob (1774): *Von den äußerlichen Kennzeichen der Fossilien.* Leipzig (Crusius).
- ¹⁷ M. Chantepie, *Le Volcanisme basaltique miocène et pliocène dispersé de la région de Clermont-Ferrand et sur le plateau des Dômes. Étude pétrologique et géochronologique. Implications volcanologiques et morpho-tectoniques, Mémoire de DEA, Univ. Clermont-Ferrand II, 1990, 38 p.* <http://www.chainede-spuy-failedelimagne.com/le-bien/la-montagne-de-la-serre/> – zuletzt besucht am 5.2.2015.
- ¹⁸ Scrope 162: *unlimited allowance of time*
- ¹⁹ *The periods which to our narrow apprehension, and compared with our ephemeral existence, appear of incalculable duration, are in all probability but trifles in the calendar of Nature. It is geology that, above all other sciences, makes us acquainted with this important, though humiliating fact. Every step we take in its pursuit forces us to make almost unlimited drafts upon antiquity. The leading idea which is present in all our researches, and which accompanies every fresh observation, the sound which to the ear of the student of Nature seems continually echoed from every part of her works, is – Time! – Time – Time!*
- ²⁰ Darwin, Charles (1859): *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life.* London (Murray), S. 282: *A man must for years examine for himself great piles of superimposed strata, and watch the sea at work grinding down old rocks and making fresh sediment, before he can hope to comprehend anything of the lapse of time, the monuments of which we see around us.*
- ²¹ Darwin 1859, *Origin*, p. 284.
- ²² *ebd.: It is hardly possible for me even to recall to the reader, who may not be a practical geologist, the facts leading the mind feebly to comprehend the lapse of time. He who can read Sir Charles Lyell's grand work on the Principles of Geology, which the future historian will recognise as having produced a revolution in natural science, yet does not admit how incomprehensibly vast have been the past periods of time, may at once close this volume.*

Anmerkungen

- ²³ „imperfection of the geological record“
- ²⁴ Lyell, Principles vol. III (1833); 285 ff.
- ²⁵ Lyell, Principles vol. III (1833); 289 ff.
- ²⁶ Dornbusch, U. ed. D. Robinson (2005): Beaches at Risk (BAR) Phase 1, February 2003-January 2005, Science Report. Retreat of chalk cliffs and downwearing of shore platforms in the Eastern Channel during the last century. Brighton (University of Sussex).
- ²⁷ Darwin 1859, Origin, p. 287: So that in all probability a far longer period than 300 million years has elapsed since the latter part of the Secondary period.
- ²⁸ Burchfield, Joe D. (1974): Darwin and the dilemma of geological time. Isis 65: 300-321; S. 302 spricht B. von einem offenkundigen Übervertrauen (overconfidence) Darwins in Lyells Konzept der tiefen Zeit.
- ²⁹ Lyell Principles III (1833), 311: *We have many opportunities of witnessing the entire demolition of the chalk on our southern coast, as at Seaford, for example, in Sussex, where large masses are, year after year, detached from the cliffs, and soon disappear, living nothing behind but a great bank of flint shingle.*
- ³⁰ Buffon (1775): Histoire naturelle, Supplement tome second.
- ³¹ Fourier, Jean Baptiste Joseph (1820): Extrait d'une mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires. Annales de chimie et de physique 13: 418-438; Fourier, Jean Baptiste Joseph (1824): Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires. Annales de chimie et de physique 27: 136-167. Siehe dazu auch Rudwick 2008, Worlds before Adam, 124f.
- ³² Thomson, William [Lord Kelvin] (1852): On a universal tendency in nature to the dissipation of mechanical energy. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh 1852: 139-142.
- ³³ Thomson, William [Lord Kelvin] (1852): On a universal tendency in nature to the dissipation of mechanical energy. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh 1852: 139-142.
- ³⁴ *Within a finite period of a time past the earth must have been, and within a finite period of time to come the earth must again be, unfit for the habitation of man as at present constituted, unless operations have been, or are to be performed, which are impossible under the laws to which the known operations going on at present in the material world are subject.* Thomson [Kelvin], On a universal tendency in nature to the dissipation of mechanical energy, Kelvin 1852, S. 142.

Anmerkungen

- ³⁴ *The second law of Thermodynamics involves a certain principle of irreversible action in nature. It is thus shown that, although mechanical energy is indestructible, there is a universal tendency to its dissipation, which produces gradual augmentation and diffusion of heat, cessation of motion, and exhaustion of potential energy through the material universe.* – Thomson, William [Lord Kelvin] (1862): On the age of the sun's heat. Macmillan's Magazine 5: 388 - 393; hier der erste Satz des Beitrages, S. 388.
- ³⁵ *What then shall we think of such geological estimates as 300,000,000 years for the „denudation of the Weald“? Whether it is more probable that the physical conditions of the sun's matter differ 1,000 times more than dynamics compel us to suppose they differ from those of matter in our laboratories; or that a stormy sea, with possibly channel tides of extreme violence, should encroach on a chalk cliff 1,000 times more rapidly than Mr. Darwin's estimate of one inch per century?* (Kelvin 1962, 391f.) Kelvin hat hier den Text von Darwin nicht genau gelesen, denn eigentlich belief sich die Schätzung Darwin auf 1 inch/220 Jahre, siehe Abschnitt 5.3., Darwins Zeit-Kalkulation. Doch auch 1inch/100 Jahre war schon Anstoß genug.
- ³⁶ *It seems, therefore, on the whole most probable that the sun has not illuminated the earth for 100,000,000 years, and almost certain not done so for 500,000,000 years. As for the future, we may say, with equal certainty, that inhabitants of the earth cannot continue to enjoy the light and heat essential to their life, for many million years longer, unless sources now unknown to us prepared in the great storehouse of creation.* (Kelvin 1962, 391f.)
- ³⁷ Auch dieser neue Abschnitt wird von J. D. Burchfield (1975) treffend skizziert: Lord Kelvin and the age of the earth. New York.
- ³⁸ Patterson, Clair Cameron (1956): Age of meteorites and the earth. Geochimica et Cosmochimica Acta 10: 230-237
- ³⁹ Crutzen, Paul J. & Eugene F. Stoermer (2000): The „Anthropocene“. – IGBP (International Geosphere–Biosphere Programm) Newsletter 41: 17-18. Crutzen, Paul J. (2002): Geology of mankind. Nature 415: 23; Waters, Colin. N., Jan. A. Zalasiewicz, Mark. Williams, Michael. A. Ellis & Andrea. M. Snelling (2014): A stratigraphical basis for the Anthropocene. Geological Society London Special Publications SP 395: 321 S.
- ⁴⁰ siehe den entsprechenden Eintrag in der deutschsprachigen Wikipedia (besucht am 31.1.2015).
- ⁴¹ Der Kollaps von Zivilisationen bedarf nicht notwendig externer, geologischer oder klimatischer Katastrophen, siehe Motescharrei, Safa (2014): Human and nature dynamics (HANDY): Modelling inequality and use of resources in the collapse or sustainability of societies. Ecological Economics 101: 90-102.

