

Tutorial Erdgeschichte und Evolution 04 – Hutton, Lyell, Naturalismus, Neptunismus, Plutonismus

Wir befassten uns mit dem Alter unserer Erde. Wir haben gelernt, mit welchen Methoden Wissenschaftler die Gesteine untersuchen, um deren Alter zu bestimmen. Insbesondere die radiometrische Datierung erlaubt es uns, das hohe Alter der Erde möglichst genau zu bestimmen. In diesem Beitrag, wollen wir einen kurzen Überblick über die Ursprünge der Geologie als Wissenschaft liefern, einer Disziplin, die gerade erstmal 200 Jahre alt ist.

Obwohl es schon unter den alten Griechen und Römern einige Gelehrte gab, die dachten, die Erde sei wirklich alt, stammen unsere modernen Erkenntnisse über das Alter der Erde aus dem späten 18. Jahrhundert, aus der Zeit der Aufklärung. Es war ein Zeitalter der wissenschaftlichen Entdeckungen, und die wissenschaftliche Forschung war weniger durch den Einfluss der Kirche oder des Adels eingeschränkt. Aufklärer wie Voltaire, Montesquieu, Jean-Jacques Rousseau und Denis Diderot in Frankreich und Philosophen wie George Berkeley, Jeremy Bentham und John Locke sowie der Wissenschaftler Isaac Newton in England waren sehr einflussreich, da sie sich auf Indizien und Vernunft konzentrierten und die seit Jahrhunderten überlieferte wissenschaftliche Methode über das Übernatürliche und Mythen bevorzugten. Eine ihrer zentralen Prämissen war der Naturalismus: Es ist besser Dinge (insbesondere wissenschaftliche Ergebnisse) durch Naturgesetze zu erklären als durch übernatürliche Ursachen. Tatsächlich kann die Wissenschaft ohne Naturalismus nicht funktionieren, weil übernatürliche Erklärungen für Ereignisse nicht durch wissenschaftliche Beweise überprüft oder bewertet werden können. Eine Erklärung wie „Gott hat es einfach so gemacht“ bremst die wissenschaftliche Entwicklung ab, da es keine Möglichkeit gibt, diese Aussage zu überprüfen.

Überraschenderweise war Edinburgh in Schottland eine der Brutstätten der intellektuellen Aufklärung. Obwohl es kein großes Land war, hatte Schottland zu dieser Zeit eine der höchsten Alphabetisierungsraten der Welt. Dies lag daran, dass die presbyterianische Kirche, die Teile von Schottland regierte, der Meinung war, dass jeder in der Lage sein sollte, die Bibel für sich selbst zu lesen und zu interpretieren und nicht darauf angewiesen zu sein, dass Geistliche sie für sie lesen. So gründeten die Kirchen öffentliche Schulen und versuchten sicherzustellen, dass jeder Schotte lesen und schreiben konnte. Die Schotten hatten einen Wissensdurst, mit großen Bibliotheken und vielen Verlagen, die Bücher und Zeitungen herausbrachten.

Dank des relativ schwachen Einflusses der Kirchen in Schottland gab es keine Unterdrückung durch Kleriker wie in weiten Teilen Europas. Folglich war Edinburgh im späten 18. Jahrhundert die Hauptstadt der bemerkenswerten „schottischen Aufklärung“.

Einer ihrer Aufklärer war James Hutton (Abb. 1), der von 1726 – 1797 lebte. Hutton war ein berühmter Chemiker und Naturforscher und wird allgemein als Vater der Geologie bezeichnet. Obwohl als Jurist und Mediziner ausgebildet, war seine größte Leidenschaft die Erforschung der Natur.



Abb. 1: James Hutton

Als Landbesitzer, der mehrere große Farmen in Schottland hatte, nutzte er seine Kenntnisse in Chemie, um seine Felder zu düngen. Er reiste auch viel und suchte nach neuen Methoden, um die landwirtschaftlichen Praktiken zu verbessern. Seine Neugier führte ihn inzwischen zu vielen Beobachtungen über den langsamen Verwitterungsprozess, wie sich Böden bilden oder wie Sedimente langsam ins Meer ausgeschwemmt werden und sich dann Schicht für Schicht anhäufen. Schließlich verpachtete er seine Grundstücke und kehrte nach Edinburgh zurück, wo er sich mit anderen großen Denkern wie Adam Smith und Joseph Black, zwei seiner engsten Freunde, austauschte. Er reiste viel durch Schottland, ergänzte seinen Fundus an Beobachtungen und suchte Antworten auf seine Fragen über die Funktionsweise der Erde. Seine Ideen veröffentlichte er schließlich 1788 in einer wissenschaftlichen Arbeit mit dem Titel „Theory of the Earth; or an Investigation of the Laws Observable in the Composition, Dissolution, and Restoration of Land Upon the Globe“.

Hutton erkannte, dass die geologischen Prozesse der Erde sehr langsam und allmählich abliefen. Es dauerte Jahre, bis sich dicke Böden bildeten; es dauerte Jahrhunderte, bis sich Sedimentschichten auf dem Grund eines Sees gebildet hatten. Er besuchte z. B. den Hadrianswall (Abb. 2), der über 1500 Jahre zuvor von den Römern in ganz Schottland errichtet wurde, und sah keine Anzeichen dafür, dass sich die Steine in all den Jahrhunderten stark verändert oder verwittert hatten.



Abb. 2: Hadrianswall

Darüber hinaus wandte er den Naturalismus auf die Geologie an und argumentierte, dass die natürlichen Prozesse, die wir heute ablaufen sehen – langsame Verwitterung, Erosion, Transport von Sedimenten – in der geologischen Vergangenheit genauso funktioniert haben müssen. Uralte Gesteine können durch beobachtbare Prozesse erklärt werden, und diese Prozesse, die jetzt auf und in der Erde am Werk sind, haben über immens lange Zeiträume mit langsamer, stetiger Gleichförmigkeit funktioniert. Dies wurde als Uniformitarismus bekannt – die Gleichförmigkeit natürlicher Prozesse im Laufe der Zeit.

Der Uniformitarismus ist auch in anderen wissenschaftlichen Disziplinen von Bedeutung. Vor allem, wenn wir Prozesse ableiten müssen, die in Zeitrahmen oder auf Skalen ablaufen, die wir nicht direkt beobachten können. Bis vor kurzem konnten wir Atome oder Moleküle nicht sehen und mussten aus ihrem Verhalten in Experimenten auf ihre Eigenschaften schließen. Die Sterne und Galaxien sind Hunderte bis Millionen von Lichtjahren entfernt, was bedeutet, dass das Licht, das wir heute von ihnen sehen, vor Hunderten bis Millionen von Jahren entstanden ist und uns gerade erreicht. Wir können diese Prozesse nicht in Echtzeit beobachten, sondern müssen aus den Naturgesetzen der Physik auf die Funktionsweise des Universums schließen. In Chemie und Biologie konnten wir bis in die letzten Jahrzehnte nicht viel unter der zellulären Ebene sehen, also mussten wir die Prozesse der Biochemie und Molekularbiologie und die Natur von Molekülen und Atomen indirekt durch Experimente herausfinden. Die Geologie ist nur eine weitere Wissenschaft, die stark von dem einheitlichen Ansatz abhängt, der in allen Wissenschaften universell ist. Hutton konzentrierte sich auf den naturalistischen Zugang zur Erde und versuchte, sich von unwissenschaftlichen, übernatürlichen Erklärungen zu lösen, die oft als Katastrophismus bezeichnet wurden (wie z. B. Noahs Sintflut).

Aber diese Ideen widersprachen dem damaligen Dogma. Führende Kirchengelehrte hatten erklärt, die Erde sei erst 6000 Jahre alt, und nur wenige Menschen wagten es, sie in Frage zu stellen. Einige Gelehrte dachten, dass alle geschichteten Gesteine der Erde in Noahs Sintflut abgelagert wurden, obwohl es ernsthafte Probleme mit dieser Idee gab. Eine Denkschule, die vom deutschen Mineralogen Abraham Gottlob Werner an der Freiburger Bergakademie geleitet wurde, erklärte, dass alle Gesteine Sedimentgesteine sind. Das heißt, dass alle Gesteine, sogar Lavaströme, sich aus Wasser der Ozeane abgelagert haben. Diese Idee wurde als Neptunismus bekannt (nach Neptun, dem römischen Namen für den Gott des Meeres).

Aber Hutton konnte sehen, dass Lava und andere magmatische Gesteine aus geschmolzenem Gestein oder Magma gebildet wurden, das aus dem heißen Erdinneren aufgestiegen war und die Gesteinsschichten nicht durch Sedimentablagerung aus Wasser entstehen. Wo er fließende Magmaströme entdeckte, das durch älteres Gestein eindrang, konnte er Hinweise dafür sehen, dass es sich als flüssiges Gestein durch Risse nach oben gedrängt hatte, dann das Gestein mit seiner intensiven Hitze um ihn herum gebacken und dann zu einem Festkörper abgekühlt hatte, wo es zur Ruhe kam.

Salisbury Crags und Arthur's Seat, südlich von Edinburgh, sind erloschene Vulkane mit eingedrungenen Laven (Abb. 3).

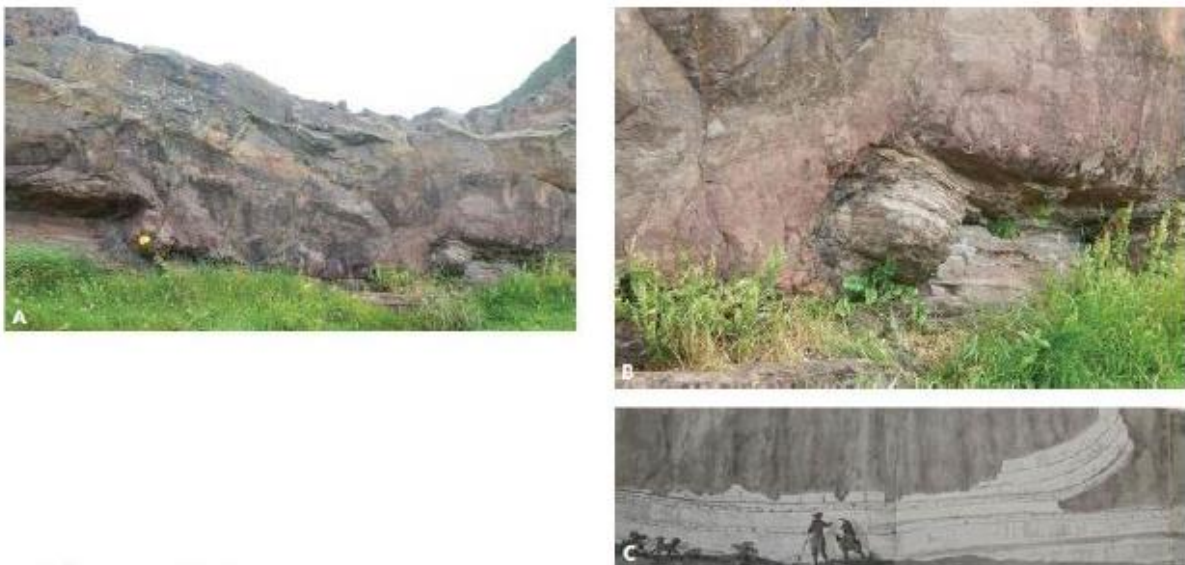


Abb. 3: Salisbury Crags

Hutton ging dort mit seinem Hund Missy spazieren und sah deutliche Hinweise darauf, dass das Granitgestein einst eine geschmolzene Magmamasse war, die in ältere Sedimentschichten eindrang. Auch an anderen Orten konnte Hutton dieselben Beobachtungen machen. Für Hutton war dies ein unausweichliches Indiz dafür, dass die Erde dynamisch war und sich veränderte, wobei geschmolzenes Gestein, wie Hutton es ausdrückte, aus „der großen Wärmemaschine der Erde“ tief unter unseren Füßen aufstieg. Durch die Befürwortung des magmatischen Ursprungs von Gesteinen wie Lavaströmen wurden Huttons Ideen als Plutonismus bekannt (nach Pluto, dem römischen Namen für den Gott der Unterwelt).

Wie konnte man sich vorstellen, dass Lavaströme aus Sedimenten im Wasser entstanden sind? Im 21. Jahrhundert sind wir es gewohnt, Videos von ausbrechenden Vulkanen wie dem Kilauea auf Hawaii zu sehen. Aber damals reisten nur wenige Menschen außerhalb ihres Heimatlandes, geschweige denn in andere Länder, und fast kein Nordeuropäer hatte jemals einen Vulkanausbruch gesehen. Die nächstgelegenen Vulkane waren der Vesuv und der Ätna in Süditalien, und sie produzieren hauptsächlich Asche, keine Lavaströme. Außerdem war das Studium der Chemie noch sehr primitiv, sodass frühe Mineralogen wie Werner keine Ahnung hatten, wie viel Wärme es braucht, um ein Gestein zu schmelzen oder Magma zu kristallisieren und unter welchen Bedingungen Magmen entstehen.

Huttons Gedanken wurden besonders angeregt, als er Aufschlüsse von dem sah, was heute als Winkeldiskordanz bekannt ist (Abb. 4).

Winkeldiskordanz



Mattauer, 2002

Formation of an angular unconformity

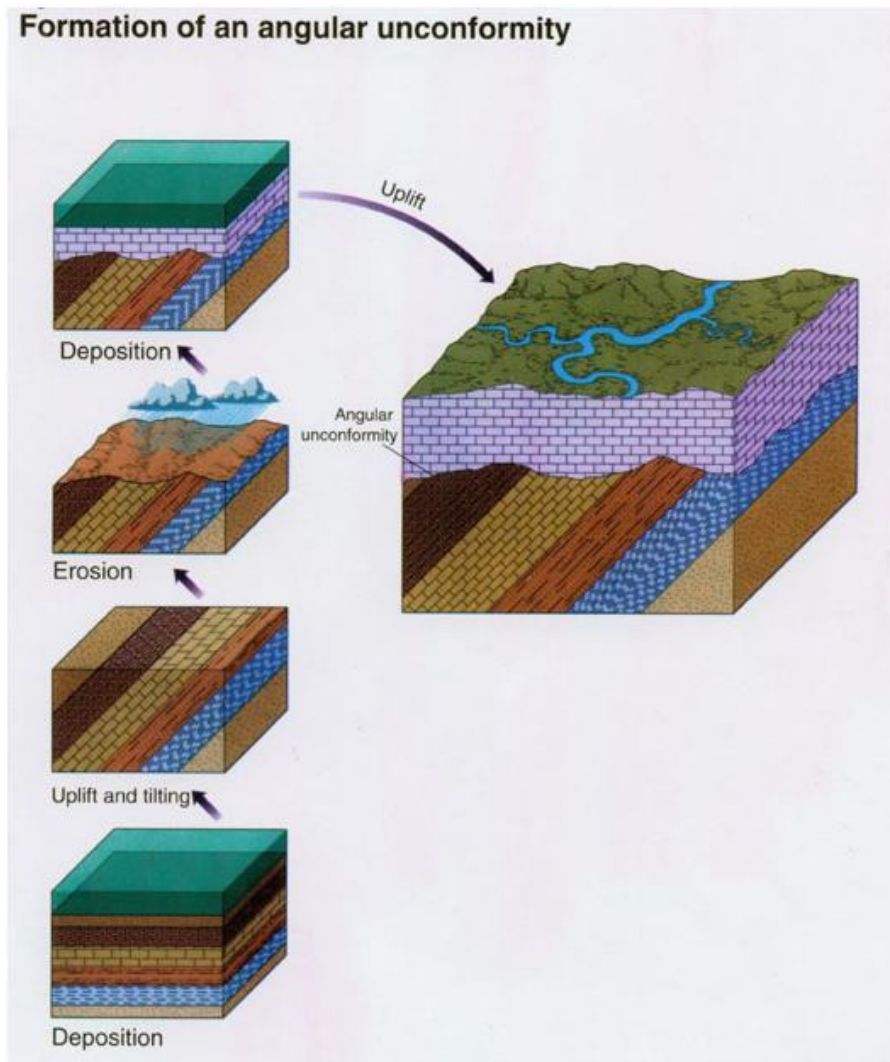


Abb. 4: Winkeldiskordanz

Eine Winkeldiskordanz bildet sich gewöhnlich in Sedimentgesteinen, die durch tektonische Bewegungen, wie Dehnung, Stauchung, Faltung, Hebung und Senkung, oder durch singuläre vulkanische Ereignisse, verkippt werden. Die herausgehobenen Gesteine werden dann erodiert, zum Beispiel bei einem Rückgang des Meeresspiegels (Regression). Spätere Sedimente, die unter anderem bei erneutem Meeresspiegelanstieg (Transgression) abgelagert werden können, liegen wieder waagrecht und bilden folglich einen Winkel mit den älteren Gesteinsschichten (Abb 4). Die genaue Rekonstruktion der Verhältnisse von Ablagerungen und Diskordanzen zueinander ist von großer Bedeutung für das Verständnis der zeitlichen Entwicklung eines Gebirges (Orogenese).

Da Hutton wusste, wie langsam die modernen Verwitterungs- und Erosionsraten waren und wie lange es dauern musste, bis Tausende von Sedimentschichten abgelagert wurden, erkannte Hutton, dass eine Winkeldiskordanz Tausende bis Millionen von Jahren darstellen muss und nicht die bloßen 6000 Jahre, die Religionsgelehrte vermuten. Die Erde war unvorstellbar alt und operierte auf Zeitskalen, die der Mensch kaum begreifen konnte. Hutton behauptete, dass die Gesamtheit dieser geologischen Prozesse die gegenwärtigen Landformen auf der ganzen Welt vollständig erklären könnte und dass diesbezüglich keine biblischen Erklärungen notwendig seien. Schließlich stellte er fest, dass die Prozesse von Erosion, Ablagerung, Sedimentation und Auftrieb zyklisch seien und sich in der

Erdgeschichte viele Male wiederholt haben müssen. Angesichts der enormen Zeitspannen, die solche Zyklen benötigen, behauptete Hutton, dass das Alter der Erde unvorstellbar groß sein muss.

Huttons Ideen waren für seine Zeit radikal und für die meisten Menschen auch heute noch schwer zu verstehen, geschweige denn zu akzeptieren. Darüber hinaus war Hutton ein nicht sehr klarer oder lebhafter Schreiber, so dass nur wenige Leute seine Ideen vollständig verstanden, selbst wenn sie seine Werke lasen. 1802, 5 Jahre nach Huttons Tod, veröffentlichte sein Freund John Playfair Illustrationen der Huttonschen Theorie der Erde, die Huttons Ideen viel klarer erklärten.

Aber es würde eine weitere Generation brauchen, bis sich solche revolutionären Ideen in der geologischen Gemeinschaft durchgesetzt haben. Die Person, die es möglich gemacht hat, war ein junger Mann namens Charles Lyell (Abb. 5).



Abb. 5: Charles Lyell

Ursprünglich in Rechtswissenschaften zum Rechtsanwalt ausgebildet, hatte er den Anwaltsberuf bald satt und verfolgte stattdessen als Hobby die junge Geologie. (Dies war übrigens nicht das erste Mal, dass jemand des Jurastudiums müde wurde und zu einem anderen Beruf wechselte, der ihn mehr interessierte.) Lyell reiste weit durch Europa und erlebte viele verschiedene geologische Phänomene mit den uniformitären Augen von Hutton. Schließlich schrieb er sein Meisterwerk, *Principles of Geology*, das von 1830 bis 1833 in drei Bänden veröffentlicht wurde. Er sammelte alle Beobachtungen, die er auf seinen Reisen und seiner Lektüre gesammelt hatte, und nutzte seine Fähigkeiten als Anwalt, um alle notwendigen Argumente und rhetorischen Taktiken zu nutzen, um seine Gegner, die Anhänger des Katastrophismus, zu diskreditieren, während er überwältigende Beweise für seinen eigenen Fall vorlegte. Er versuchte, jede Möglichkeit auszuschließen, dass der alte unwissenschaftliche übernatürliche Katastrophismus jemals wieder ernst genommen wird. Er war so überzeugend, dass innerhalb einer Generation die letzten der alten Katastrophisten und Neptunisten gestorben sind oder aufgegeben haben und die Geologie zu einer modernen Wissenschaft wurde.

Lyell argumentierte, dass man, um ein guter Geologe zu sein, nicht nur die Gleichförmigkeit der Naturgesetze und Prozesse (den Aktualismus) akzeptieren muss, sondern auch die langsame, allmähliche Gleichförmigkeit der Geschwindigkeiten (den Gradualismus). Der Kampf gegen übernatürliche, unwissenschaftliche Vorstellungen hatte Lyell dazu veranlasst, eine extrem entgegengesetzte Position einzunehmen, und die meisten Geologen für den Rest des Jahrhunderts wollten keinen Prozess akzeptieren, der den Gradualismus zu verletzen schien.

Wir wissen aber, dass es auch natürliche Prozesse gibt, die schnell verlaufen können, also nicht graduell sind, aber gleichzeitig den Aktualismus und Uniformitarismus nicht verletzen. Der Einschlag eines Asteroiden aus dem Weltraum ist kein allmähliches Ereignis, aber es ist sicherlich natürlich und passiert. Ebenso ein gewaltiger Erdbeben oder ein riesiger Vulkanausbruch.

Diese Verwechslung von Gradualismus und Uniformitarismus führte dazu, dass viele Geologen zu Lyells Zeiten Schwierigkeiten hatten, große Naturkatastrophen wie einen Meteoriteneinschlag oder eine massive Eiszeitflut zu akzeptieren.

Geologen müssen, wie alle Wissenschaftler, innerhalb der wissenschaftlichen Methode arbeiten: Daten beobachten und aufzeichnen, Hypothesen aufstellen, relevante Daten sammeln, dann diese Hypothese testen und versuchen, sie zu falsifizieren. Insbesondere sollten wir mehrere Arbeitshypothesen im Auge behalten, wenn wir versuchen, Naturphänomene zu erklären. Wenn genügend Tests durchgeführt wurden, wird eine Hypothese, die Tausende von experimentellen Tests überlebt und fast alle Beweise erklärt hat, zu einer Theorie, einer umfassenderen Erklärung für natürliche Phänomene, die eine Vielzahl von Daten erklärt.

Aus diesem Grund müssen Wissenschaftler den Naturalismus annehmen und übernatürliche Erklärungen ablehnen, weil sie nicht überprüfbar sind und zu keinen weiteren wissenschaftlichen Erkenntnissen führen können.