



Woher wissen wir, wie alt die Erde ist?

Vom Schöpfungsmythos zur modernen radiometrischen Datierung

von Sascha Staubach

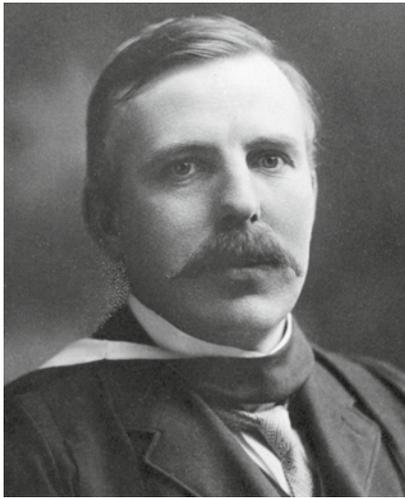
Laut jüdischem Kalender entstand die Welt vor genau 5778 Jahren, nach der Bibel vor 6021 Jahren. Doch als Forscher begannen, auf und in der Erde selbst nach Spuren ihres Alters zu suchen, mussten sie die Zahl immer weiter nach oben korrigieren. Nach heutigen Datierungsmethoden ist unser Planet zwischen 4,5 und 4,6 Milliarden Jahre alt.

Die frühen Menschen dachten vermutlich noch nicht darüber nach, wann und wie die Welt entstanden ist. Ihr Zeitempfinden war bestimmt durch den Wechsel von Tag und Nacht, die Mondphasen und das Werden und Vergehen im Verlauf der Jahreszeiten. In dieser

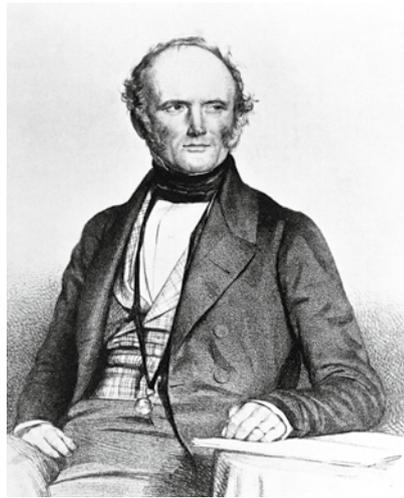
Gedankenwelt war die Zeit zyklisch, ohne Anfang und ohne Ende.

Erst die Entstehung von Schöpfungsmythen, die in vielen Religionen überliefert sind, weist darauf hin, dass Menschen nach dem Anfang zu fragen begannen. Mit dem Bericht über den Schöpfungsakt stellte sich als weitere Frage, wie weit dieser zurücklag. So legte beispielsweise der jüdische Kalender den Anfang der Welt auf den 6. Oktober 3761, um 23 Uhr, 11 Minuten und 20 Sekunden vor unserer Zeitrechnung fest.

Die heiligen Bücher dienten im Barock als die erste Datenbasis zur Berechnung des Erdalters. So legten der Erzbischof von Armagh, James Ussher (1581–1656), und John Lightfoot (1602–1675) die Alter der biblischen Patriarchen und die Regierungszeiten der Könige zugrunde, um den Zeitpunkt für die Erschaffung der Welt zu



2 Ernest Rutherford



3 Charles Lyell

bestimmen. Der 1650 erschienene Ussher-Light-foot-Kalender legt ihn auf das Jahr 4004 v. Chr.

Erste naturwissenschaftliche Ansätze

Den ersten naturwissenschaftlichen Versuch, das Alter der Erde zu bestimmen, unternahm im 17. Jahrhundert der britische Astronom und Geologe Edmond Halley (1656–1741). Er untersuchte den Salzgehalt der Flüsse und Weltmeere und kam zu dem Schluss, dass die Erde deutlich älter sein müsse, als von Ussher behauptet. Wäre sie tatsächlich nur knapp 6000 Jahre alt, müssten die Ozeane nach Halleys Berechnung deutlich weniger Salz enthalten. Natürlich kannte der britische Forscher noch nicht die komplexen Zusammenhänge des Ein- und Ausstrags von Salzen. Er berechnete das genaue Alter der Erde auch nie aufgrund seiner Über-

legungen. Sein Verdienst liegt darin, als Erster ein Bewusstsein dafür geschaffen zu haben, dass die Erde deutlich älter ist als die Geschichte der Menschheit. Erst knapp 200 Jahre später, in den 1890er Jahren, holte der irische Geologe John Joly die Berechnung nach und kam so auf ein Alter von 80 bis 90 Millionen Jahren.

Einen anderen Ansatz wählte 1774 der französische Naturforscher Georges-Louis Leclerc, Comte de Buffon. Er ging davon aus, dass sich die Erde ursprünglich im schmelzflüssigen Zustand befand und seitdem kontinuierlich abkühlt. Das simulierte er durch Experimente mit Eisenkugeln verschiedener Größe, die er in einer Schmiede bis zur Weißglut erhitze. Anschließend maß er deren Abkühlungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Größe. Dabei kam er auf ein Erdalter von etwa 75 000 Jahren. Weil er aber auf massiven Widerspruch der Geistlichkeit an der Pariser Sorbonne stieß, veröffentlichte er das Ergebnis nicht.

Der englische Physiker William Thomson (1824–1907), der spätere Lord Kelvin, verfeinerte Buffons Berechnungen und kam zu einem Alter der Erde zwischen 24 und 400 Millionen Jahren. Die große Spannweite resultiert aus den vielen, damals noch unbekanntem thermodynamischen Einflussgrößen, die Kelvin nur näherungsweise ermitteln konnte.

Dass die Betrachtung der Gesteine ein hilfreiches Instrument zur Altersbestimmung des Planeten sein könnte, diese Ansicht vertrat James Hutton (1726–1797), ein schottischer Naturforscher und Geologe, 1788 in seiner »Theory of the Earth«. Er formulierte als Erster die Theorie des Gesteinskreislaufs, nach der Gesteine wiederholten Phasen der Aufschmelzung, Verfestigung, Erosion und Ablagerung unterworfen sind. Seiner Meinung nach musste die Erde viele Millionen Jahre alt sein. Er war aber auch davon überzeugt, dass die wiederholten Umformungen alle Spuren früherer Zustände unwiederbringlich auslöschen.

Aus Gesteinen lesen – die Entwicklung der Stratigraphie

Charles Lyell (1797–1875), einem Studenten Huttons, gebührt die Ehre, im 19. Jahrhundert erstmals die Methode der Stratigraphie eingeführt zu haben. Diese beruht auf der Erkenntnis, dass in einem Stapel von Gesteinsschichten das älteste Material zuunterst liegt und dass Fossilien aus derselben Schicht auch dasselbe Alter haben müssen.

Hieraus entwickelte sich die Datierungsmethode mithilfe sogenannter Leitfossilien. Ein typisches Beispiel dafür sind Ammoniten. (Abb. 1) Leitfossilien sind Organismen, die eine möglichst weite geografische Verbreitung hatten, ihr Äußeres im Laufe der Evolution aber

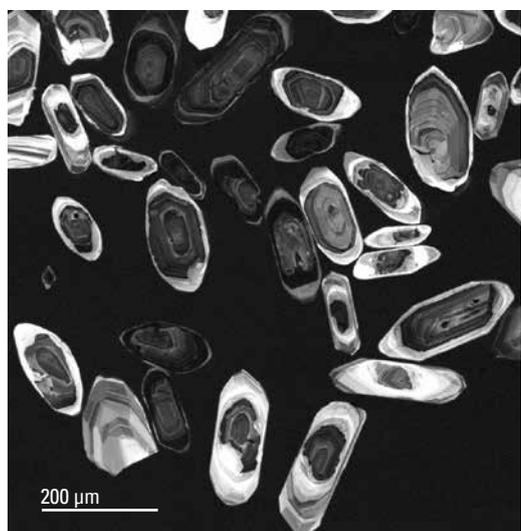
AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Im Barock machten sich Theologen erstmals Gedanken über das Alter der Erde und bestimmten es anhand von Zeitangaben in der Bibel.
- Der britische Naturforscher Edmond Halley erkannte als Erster, dass die Geschichte der Erde lange vor der Geschichte der Menschen begann.
- Im 18. und 19. Jahrhundert untersuchten Naturforscher den Salzgehalt der Meere, die Abkühlung glühender Metallkugeln, Gesteinsschichten und Fossilien.
- Die heute zentrale Datierungsmethode misst das Verhältnis radioaktiver Zerfallsprodukte in Gesteinen von der Erde und aus dem Sonnensystem.

relativ schnell veränderten, so dass sich in kurzer Zeit nacheinander möglichst viele gut unterscheidbare Arten entwickelten. Findet man nun in unterschiedlichen Regionen der Welt Fossilien derselben Art, so sind die Schichten, aus denen sie stammen, vermutlich gleich alt. Auf diese Weise lässt sich allerdings nur das relative Alter der einzelnen Schichten zueinander bestimmen. Um das absolute Alter einer Schicht oder gar der ganzen Erde zu bestimmen, ist diese Methode nicht geeignet.

Von der Erde zum Sonnensystem

Im 19. Jahrhundert machten sich Physiker erstmals Gedanken darüber, wie das Sonnensystem entstanden sein könnte und wie die Sonne Energie produzierte. Lord Kelvin und der deutsche

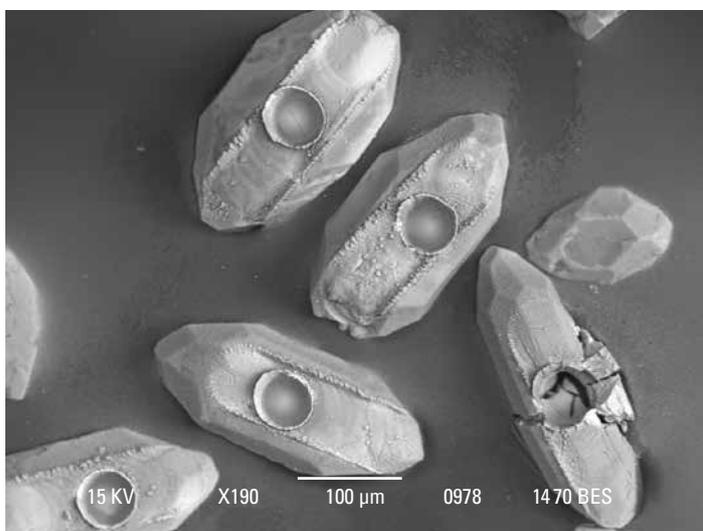


verwittert und abgetragen waren. In späteren Auflagen nahm Darwin von dieser Behauptung allerdings wieder Abstand.

Mitte des 19. Jahrhunderts zog der britische Geologe John Phillips (1800–1874) die Prozesse der Sedimentation heran, um das Alter der Erde zu bestimmen. Nachdem er untersucht hatte, wie schnell sich Sedimente in verschiedenen Milieus ablagern, kam er zu dem Ergebnis, dass diese Prozesse 38 bis 96 Millionen Jahre gedauert haben mussten.

Eine genaue Uhr muss her!

Einen großen Schritt in die Richtung absoluter Zeitangaben machten der Physiker Ernest Rutherford (1871–1937) und der Chemiker Frederic Soddy (1877–1956), als sie die Radioaktivität



Physiker Hermann von Helmholtz (1821–1894) gingen davon aus, dass die Sonne und ihre Planeten aus Partikeln eines Gas- und Staubsnebels entstanden waren. In den Bereichen mit der größten Partikeldichte hatte sich die Materie immer weiter zu festen Körpern verdichtet. Bei der Sonne hatte die extreme Verdichtung dazu geführt, dass das Innere glühend heiß wurde und der Himmelskörper Energie abstrahlt. Helmholtz berechnete, wie lange die von der Schwerkraft getriebene Verdichtung der Sonne gedauert haben konnte und kam auf 22 Millionen Jahre. Da die Erde etwa zeitgleich mit der Sonne entstanden sein musste, war dies auch ein Richtwert für das Alter der Erde.

Beide Physiker widersprachen damit der Ansicht Charles Darwins (1809–1882), der 1859 in der ersten Ausgabe seines berühmten Werks »Über die Entstehung der Arten« das Alter der Erde mit 300 Millionen Jahren angegeben hatte. Seiner Überlegung nach hatte es so lange gedauert, bis bestimmte Gesteinsschichten, die er auf seinen Forschungsreisen untersucht hatte, in ihren heutigen Zustand

erforschten. Sie fanden heraus, dass sich einige chemische Elemente unter Abgabe von radioaktiver Strahlung in andere Elemente umwandeln. Diese Umwandlung geschieht mit einer für das jeweilige Isotop charakteristischen Zerfallsrate. Die Isotope eines Elements haben gleich viele Protonen, aber unterschiedlich viele Neutronen. Da das Verhältnis von Protonen zu Neutronen über die Stabilität des Elements entscheidet, haben die Isotope eines Elements unterschiedliche Zerfallsraten. Zum Beispiel zerfällt das häufigste Uran-Isotop, U^{238} (146 Neutronen), mit einer Halbwertszeit von 4,468 Milliarden Jahren, während das in Atombomben angereicherte Isotop U^{235} (143 Neutronen) »nur« 703,8 Millionen Jahre braucht, um zur Hälfte zu zerfallen.

Rutherford und Soddy erkannten als Erste, dass man die Zerfälle natürlich vorkommender radioaktiver Elemente zur Altersbestimmung nutzen kann. Dabei konnten sie auf der Beobachtung des US-amerikanischen Chemikers Bertram Boltwood (1870–1927) aufbauen. Ihm war bereits Ende des 19. Jahrhunderts aufgefallen,

4 Querschnitte von Zirkonen von Cabo Ortegal in Galizien, Spanien, mit deutlich sichtbarer Zonierung. Gemessenes Alter: 0,5 bis 3 Milliarden Jahre in den Kernen, 390 Millionen Jahre am Rand.

5 Zirkone im natürlichen Zustand aus dem Bushveld Komplex in Südafrika, mit vom Laser hervorgerufenen Ablationsgruben. Gemessenes Alter: 3 Milliarden Jahre im Kern und 2,05 Milliarden Jahre am Rand.

dass in gleich alten Gesteinsproben das Verhältnis der Elemente Uran und Blei immer recht ähnlich ist. Damals wusste er noch nicht, dass Blei das Endprodukt des radioaktiven Zerfalls von Uran ist.

Den letzten großen Schritt zur Anwendung des oben beschriebenen Prinzips machten der englische Geologe Arthur Holmes (1890–1965) und der amerikanische Physiker Alfred O. C. Nier (1911–1994), Letzterer ein Pionier bei der Entwicklung der Massenspektrometrie. Gemeinsam fanden sie im Mineral Zirkon einen Schlüssel zur absoluten Altersbestimmung von Gesteinen.

Zirkon tritt häufig in magmatischen Gesteinen auf und ist mechanisch und chemisch ausreichend stabil, um auch Erosion, Transport- und Umwandlungsprozesse relativ unbeschadet zu überstehen. Während ihres Wachstums lagert diese Verbindung aus Zirkonium, Silizium und Sauerstoff auch geringe Mengen an Uran ein. Dieses sitzt fest im Kristallgitter und zerfällt mit der ihm eigenen Halbwertszeit und über verschiedene Zwischenstufen zu Blei. Die moderne Massenspektrometrie erlaubt es, auch geringste Konzentrationen von Elementen zu messen, so dass man das exakte Verhältnis von Uran zu Blei ermitteln kann. Mithilfe der inzwischen hinreichend genau bekannten Halbwertszeit lässt sich nun der Zeitpunkt berechnen, zu dem das Uran in den Kristall eingebaut wurde.

Da solch ein Kristall, abhängig von seinen Umgebungsbedingungen, nicht immer kontinuierlich wächst, kann er auch die Spuren mehrerer Wachstumsphasen speichern wie die Jahresringe eines Baums.



Der Autor

Diplom-Geologe Sascha Staubach, Jahrgang 1973, studierte Geologie an der Goethe-Universität. Nach einigen Jahren als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Geowissenschaften der Goethe-Universität leitet er nun die Geoagentur, die Agentur für Öffentlichkeitsarbeit des Fachbereichs 11 Geowissenschaften/Geographie.

staubach@em.uni-frankfurt.de

Das zirkonführende Gestein wird im Labor mit Starkstromstößen in seine Mineralkörner zerlegt. Aus dem so entstandenen Gesteinssand werden u.a. mit magnetischen Trennungsmethoden die Zirkone angereichert und von Mineralen getrennt. Die letzte Auswahl erfolgt dann durch Auspicken von Hand unter dem Mikroskop. Um die innere Struktur der Kristalle zu erkennen, werden diese nun in Kunstharz eingebettet, bis zur Mitte abgeschliffen und anpoliert. So erhält man einen Querschnitt durch die Körner. In den Abbildungen 4 und 5 erkennt man hierbei teilweise dunkle, ältere Kerne und hellere Ränder, die ein jüngerer Alter aufweisen.

Für die Untersuchung mit dem Massenspektrometer werden Teile der Probe von einem starken Laserstrahl verdampft und die somit freigesetzten Elemente über einen Gasstrom in das Spektrometer geleitet. Dieses sortiert die ankommenden chemischen Elemente und Isotope nach ihrer Masse und zählt sie, woraus sich im Anschluss das Mengenverhältnis errechnen lässt.

Da nicht alle Gesteine Zirkone enthalten, entwickelte man im Laufe der Zeit noch weitere Datierungsmethoden, die die Verteilung anderer radiogener Isotope in anderen Mineralen nutzen.

Wie alt ist die Erde nun?

Das aktuell anerkannte Alter unseres Planeten beträgt $4,55 \pm 0,05$ Milliarden Jahre. Dieses Alter wurde allerdings an Meteoriten gemessen. Deren Material bildete sich etwa zeitgleich mit der Erde aus der Staubscheibe des noch jungen Sonnensystems, kühlte jedoch schneller ab. Auf der deutlich größeren Erde dauerte es einige Zeit, bis sich auf der glutflüssigen Oberfläche erste Teile einer festen Gesteinskruste bildeten, deren Reste man heute in Form von Zirkonen finden kann. Sie sind die einzigen bis heute erhaltenen Relikte dieser ältesten Kruste. Man findet diese Zirkone, eingebettet in jüngerer Gestein, in den Jack Hills im Westen Australiens. Sie weisen ein Alter von bis zu 4,4 Milliarden Jahren auf. Das älteste bekannte komplett erhaltene Gestein, auf das man seinen Fuß setzen kann, ist der sogenannte Acasta-Gneis im Norden Kanadas mit einem Alter von 4,03 Milliarden Jahren. ●