

4-10 Die Grundfrage radiometrischer Altersbestimmung

Im Grunde genommen ist nicht bekannt, in welcher Beziehung radiometrische Alter zum realen Alter stehen

Von der Radioaktivität zur geologischen Zeitskala

1896 gibt BECQUEREL die Entdeckung der Radioaktivität bekannt. RUTHERFORD & SODDY schlagen 1902 vor, dass Radioaktivität eine Eigenschaft bestimmter Atome ist und die Zerfallsrate sich proportional zu der Anzahl der bestehenden Atome verhält.¹ 1907 publiziert BOLTWOOD erste radiometrische Alter. HOLMES (1913) sieht in der radioaktiven Uhr eine Lösung für das Zeitproblem in der Geologie²; er wird zum Chefarchitekt einer radiometrisch geeichten geologischen Zeitskala. Die geologische Zeitskala wird im Laufe der Zeit als eine Grundlage der Naturwissenschaft akzeptiert (aktuelle Version siehe GRADSTEIN et al. 2012).

Die Grundfrage – Konstanz des radioaktiven Zerfalls?

Für die Beurteilung der Validität der Ergebnisse radiometrischer Altersbestimmungen³ ist es entscheidend, der einen Grundfrage nachzugehen: Ist die Zerfallsrate radioaktiver Substanzen während der gesamten Erdgeschichte (4.600.000.000 [radiometrische] Jahre) und in jeder Umgebung gleich geblieben?

Über den Umgang mit der Grundfrage ...

Die Frage nach der Konstanz des radioaktiven Zerfalls beschäftigte die Wissenschaft von Anbeginn. Anhand einer kleinen Auswahl von Protagonisten – HOLMES, LOTZE, FAURE – wird der Umgang mit dieser Grundfrage exemplarisch aufgezeigt und erörtert.

I) HOLMES

Bereits 1913 präsentiert HOLMES seine Ideen in dem bemerkenswerten Werk *The Age of the Earth*. Mit rhetorischer Brillanz versucht er die Überlegenheit der neuen, physikalisch begründeten Datierungsmethode darzustellen, arbeitet alle Annahmen und Bedenken ab, so auch die letzte nach der Konstanz des radioaktiven Zerfalls (S. 168):

„Er [Joly⁴, MK] fragt: Ist es sichergestellt, dass die Muttersubstanz, Uran, in der Vergangenheit immer mit der gleichen Rate zerfallen ist wie sie aktuell mit ihrer mittleren Halbwertszeit gemessen wird? Soweit wir wissen, ist die Zerfallsgeschwindigkeit [rate of decay, MK] von Substanzen mit schneller Umwandlung [kurzlebige Radioisotope, MK] konstant und unabhängig von Temperatur- und Druckänderungen. Aufgrund dessen, dass eine große Anzahl radioaktiver Körper mit einer konstanten Rate zerfällt, wird angenommen, dass diese Konstanz eine bestimmte Eigenschaft aller radioaktiven Elemente ist. Im Falle des Urans kann diese Annahme für Perioden von gleichem Ausmaße wie die Halbwertszeit nicht überprüft werden. In Analogie mit dem Verhalten der kurzlebigen Elemente ist es wahrscheinlich, hätten wir Messungen in kambrischen Zeiten durchgeführt und mit archaischen uranhaltigen Mineralien experimentiert, so wie es in der letzten Dekade geschehen ist, würde die Halbwertszeit exakt die gleiche sein wie wir sie heute feststellen – 5400 Millionen Jahre. Im Falle der Radium-Emanation kann es keinen Zweifel daran geben, dass Experimente in kambrischer Zeit konkordante Resultate mit den unsrigen ergeben würden. Es würde genauso unphilosophisch sein, dies anzuzweifeln wie zu glauben, dass die Gesetze von Physik und Chemie mit der Zeit variieren.“

¹ Diese Erklärung, so FAURE & MENSING (2005, 34), ist niemals wirklich herausgefordert oder modifiziert worden: „This explanation of radioactive decay has never been seriously challenged or modified (...).“

² Eine vermeintlich absolute Datierung von Ereignissen der Erdgeschichte war bisher nicht möglich.

³ Bezogen auf langlebige radioaktive Isotope.

⁴ John JOLY (1857-1933), ehemals Prof. für Geologie und Mineralogie am Trinity College, Dublin.

II) LOTZE

LOTZE befasst sich 1922 in *Jahreszahlen der Erdgeschichte* mit der „Zeitrechnung in Geschichte und Geologie“, zu einem Zeitpunkt, wo die neue (radiometrische) Methode noch nicht allgemein hin akzeptiert war (→ 2-36). Auch lagen zu diesem Zeitpunkt nur wenige radiometrische Altersbestimmungsergebnisse vor. LOTZE vergleicht die bisherigen (Schätz-)Methoden geologischer Zeitmessung, (a) Bildungsdauer der Sedimentgesteine und (b) Abschätzung geologischer Vorgänge am Ende der Eiszeit (unter Entwicklung von Verhältniszahlen) und Extrapolation in die Vergangenheit, mit (c), der Zeitmessung auf Grund radioaktiver Vorgänge. Hierbei konstatiert er (S. 64): „Die neue Methode [auf Grund radioaktiver Vorgänge, MK] muss zeigen, dass sie auch vor einer strengen Kritik bestehen kann. Ihre unmittelbare Nachprüfung, die sich auf Millionen von Jahren erstrecken müsste, ist nun allerdings nicht möglich, und so muss sie in erster Linie durch die innere Folgerichtigkeit und Widerspruchslosigkeit ihrer Ergebnisse für sich sprechen.“ Für Letzteres nennt er drei Bedingungen (S. 64):

- 1) „Wir müssen zuerst von den zu erhaltenen Alterszahlen verlangen, dass sie sich dem Altersrahmen, den wir aus den früher besprochenen geologischen Methoden gewonnen haben, ohne Zwang einfügen.“
- 2) „Weiter muss von den radioaktiven Methoden der Altersbestimmung verlangt werden, dass ihre Ergebnisse mit dem sicher festgelegten, relativen Alter der Gesteine übereinstimmen.“
- 3) „Schließlich muss sich bei Altersbestimmungen von verschiedenen Mineralien aus ein und demselben Gestein, also etwa aus einem einheitlichen Granitblock, für alle dasselbe Alter ergeben (...).“

III) FAURE

In *Principles of Isotope Geology* führt FAURE (1986)

aus, dass die Anwendung radiometrischer Altersbestimmung die Annahme impliziere, dass die Zerfallskonstante in den vergangenen 4,6 Milliarden [radiometrischen] Jahren unverändert geblieben sei. Diese Annahme sei gerechtfertigt, weil (a) radioaktiver Zerfall eine Eigenschaft des Kernes ist und (b) es keinen Anhaltspunkt gäbe, dass sich Zerfallskonstanten als eine Funktion der Zeit während der Geschichte des Solarsystems geändert hätten. Er schildert in diesem Zusammenhang Ausnahmetatbestände bei äußerst hohen Drücken, 100 kbar und mehr, die bei einem Beispiel eine Erhöhung der Zerfallsrate um 0,59 % bewirkten. Diese Beobachtung habe jedoch in der Praxis bei den angewendeten Altersbestimmungsmethoden keinen Effekt. Sein Fazit: „Folglich gibt es keinen Grund zu bezweifeln, dass die Zerfallskonstanten der natürlich vorkommenden langlebigen radioaktiven Isotope, die für die Datierung genutzt werden, invariant oder unabhängig von physikalischen oder chemischen Konditionen sind, denen sie seit der Nukleosynthese unterlegen haben mögen“ (S. 41).^{5,6}

... und was zu entgegen ist

Nachfolgend werden die wesentlichen Aussagen zusammengefasst, des Weiteren werden die vorgebrachten Argumente typologisiert und deren Bedeutung aufgezeigt:

- 1) Ein Nachweis darüber, dass die Zerfallskonstante während der gesamten Erdgeschichte und in jedem Milieu gleichgeblieben ist, kann nicht erbracht werden.⁷ HOLMES als auch LOTZE bezeugen dies. LOTZE: Eine Nachprüfung der Methode, „die sich auf Millionen von Jahren erstreckt“, ist nicht möglich. HOLMES: „Im Falle des Urans kann diese Annahme für Perioden von gleichem Ausmaße wie die Halbwertszeit nicht überprüft werden.“
- 2) Die neue (radiometrische) Methode hätte wohl keine Akzeptanz gefunden, wenn ihre Ergebnisse nicht mit dem zu diesem

⁵ Die gleiche Formulierung findet sich in der Neuauflage (FAURE & MENSING 2005, 58).

⁶ Es wird eingeworfen, dass die wissenschaftlichen Begründungen von FAURE (1986, 41), warum die Annahmen gerechtfertigt seien, hier nicht vollumfänglich dargelegt werden. So könnte beim uneingeweihten Leser der Eindruck entstehen, dass die Annahmen frei aus der Luft gegriffen seien. – Im Vergleich werden die

Annahmen und Begründungen von HOLMES (1913) und LOTZE (1992) ebenfalls nur kurz und punktuell präsentiert. Der Verfasser empfiehlt in jedem Fall, die zitierte Literatur zu lesen.

⁷ Das gilt auch heute; ein Nachweis konnte bisher nicht erbracht werden. Eine Vergleichszeitkala, an der die Annahme überprüft werden könnte, existiert nicht.

Zeitpunkt mit anderen (Schätz-)Methoden konstruierten und weitgehend anerkannten Altersrahmen übereingestimmt hätte (LOTZE). Erwähnt sei in diesem Zusammenhang beispielsweise auch SCHINDEWOLF (1970), der von einer willkommenen Größenordnung spricht: „(...) sie [die Verfahren radiometrischer Altersbestimmung, MK] sind für die Geologie von größter Bedeutung insofern, als sie willkommene Größenordnungen für die Zeitbestimmung gewisser geologischer Ereignisse und für die Zeitdauer erdgeschichtlicher Vorgänge liefern.“

- 3) Ein Analogieschluss in Verbindung mit einer Extrapolation und einer „ist wahrscheinlich, dass“-Formulierung (HOLMES: kurzlebige Radioisotope, Messung im Kambrium) ist eine Suggestiv-Konstruktion; sie soll hilfsweise den fehlenden Nachweis (Punkt 1) ersetzen, kann es aber nicht.
- 4) „Es gibt keinen Grund zu bezweifeln“ (HOLMES, FAURE) oder ähnliche Formulierungen sind suggestiv und fehlleitend. Wissenschaft muss kritisch sein und bleiben. Grundfragen dürfen nicht ausgeblendet, fundamentale Annahmen nicht ignoriert werden.
- 5) „Es gibt keinen Anhaltspunkt“ (FAURE), der dagegen spricht, ist kein Für-wahr-halten-Müssen. Dieser argumentative Ansatz mündet in eine Beweislastumkehr: „Gib einen Anhaltspunkt, dass ...“. Der Urheber bzw. Anwender aber hat nachzuweisen.
- 6) Das Argument der „Konstanz der Physik“ (HOLMES, FAURE), eingesetzt als finales „Über“-Argument, hat, wie die „Konstanz der Zerfallskonstante“ eine historische Komponente; die „Konstanz der Physik“ kann aber wie die „Konstanz der Zerfallskonstante“ nicht nachgewiesen werden.

Quo vadis?

Wissenschaftlich korrekt ist, diese entscheidende Grundfrage zu stellen und sie als solche stehen

und gelten zu lassen. Für die Geowissenschaft, insbesondere die Historische Geologie, die in hohem Maße das Schließverfahren der Abduktion anwendet, ist dies eine geübte Praxis. Sie unterscheidet sich dadurch von den experimentellen Wissenschaften wie Physik und Chemie, in denen Induktion und Deduktion die vorherrschenden Verfahren sind. So galt es lange in der Physik als unwissenschaftlich und „unerlaubt“, „historische Elemente“ zuzulassen und die „Konstanz der Physik“ in Frage stellen zu „dürfen“.

Das *Geologische Wörterbuch* stellt die Grundfrage explizit heraus. Dort heißt es unter dem Begriff Altersbestimmung im Unterpunkt 2c: „Mit physikalischen Mitteln (**radiometrische** Altersbestimmungen) bei Kenntnis der konstanten Zerfallsdauer radioaktiver Substanzen (Halbwertszeit) und der Voraussetzung, dass diese Konstante während der gesamten Erdgeschichte und in jedem Milieu gleichgeblieben ist (...)“ (MURAWSKI & MEYER 2010, 6).

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Es kann nicht nachgewiesen werden, dass die Zerfallskonstanten während der gesamten Erdgeschichte und in jeder Umgebung gleichgeblieben sind. Demzufolge kann über die Validität der Ergebnisse radiometrischer Datierungen im Sinne einer Angabe über die reale Zeit keine Aussage getroffen werden.⁸ Es ist ein Nicht-Wissen. Es können auch keine Wahrscheinlichkeitsaussagen gemacht werden. Im Grunde genommen ist nicht bekannt, in welcher Beziehung radiometrische Alter zum realen Alter stehen.

Bei der Kommunikation der Alterswerte gegenüber dem Bildungswesen und der breiten Öffentlichkeit ist auf wissenschaftlich korrekte Darstellung zu achten, insbesondere sind Angaben zu den konkreten Datierungsmethoden, Einheiten, Bedingungen, Annahmen, Schlüssen etc. vorzunehmen. Wegen den weitreichenden Auswirkungen auf das gesellschaftliche Leben sind Entscheidungsträger und Öffentlichkeit aktiv und vollumfänglich über die Gültigkeit der Ergebnisse radiometrischer Datierungen aufzuklären.

⁸ Es wird eingeworfen, dass diese Aussage eine unzulässige Pauschalierung sei; insbesondere, weil lediglich geringfügige Veränderungen der Zerfallskonstante beobachtet werden (max. $\pm 1\%$) und somit die Größenordnung der Ergebnisse als sicher zu betrachten sei. Selbst eine wohlwollende Erhöhung des Fehlerbereichs um eine Größenordnung ($\pm 10\%$) könne an der

Größenordnung der Ergebnisse (Beispiel: Perm/Trias-Grenze (Meishan, China); untere vulkanische Aschenlage: gewichtetes mittleres $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -Alter von 251,941 ± 25 [10% „Toleranz“, MK] Millionen [Isotopen-] Jahre; $\rightarrow 4\text{-}01$) nichts ändern. – Genau dies sind aber auch die Beobachtungen und Argumente beispielsweise von FAURE, die in diesem Beitrag diskutiert werden.

Literatur

- BECQUEREL AH (1896) Émission de radiation nouvelles par l'uranium métallique. Comptes Rendus de l'Académie des sciences 122, 1086-1088.
- BOLTWOOD B (1907) The Ultimate Disintegration Products of the Radio-active Elements. Part II. The disintegration products of uranium. American Journal of Science 134, 77–88.
- GRADSTEIN FM, OGG JG, SCHMITZ MD & OGG GM (2012) The Geologic Time Scale 2012. Volume 1/2, Oxford Amsterdam.
- FAURE G (1986) Principles of Isotope Geology. 2nd edition, New York.
- FAURE G & MENSING TM (2005) Isotopes. Principles and Applications. 3rd edition, Hoboken.
- HOLMES A (1913) The Age of the Earth. London.
- LOTZE R (1922) Jahreszahlen der Erdgeschichte. Stuttgart.
- MURAWSKI H & MEYER W (2010) Geologisches Wörterbuch. 12. Auflage, Heidelberg.
- RUTHERFORD E & SODDY F (1902) The Cause and Nature of Radioactivity I, II. Philosophical Magazine IV, 370-96, 569-85.
- SCHINDEWOLF OH (1970) Stratigraphie und Stratotypus. Abhandlungen der mathematisch naturwissenschaftlichen Klasse, Nr. 2, Mainz.

→ und Blattnummer: Verweis auf andere Beiträge der Online-Loseblattsammlung.

Zur Ergänzung → 4-01, 4-03, 4-09, 4-21, 4-22.