

## 4-01 Radiometrische Methode – Übersichtsblatt

(langlebige radioaktive Isotope)

### Sinngleiche und verwandte Begriffe

Radiometrische Datierung, radiometrische Altersbestimmung, Langzeitdatierung.

### Ziel

Versuch, den radioaktiven Zerfall ausgewählter Radioisotope zur Altersbestimmung geologischer Objekte zu nutzen; z. B. Bestimmung der verfloßenen Zeit seit Bildung eines Minerals.

### Grundlagen

Verständnis des Phänomens Radioaktivität; Messbarkeit der beteiligten Größen.

### Vorgehensweise

Ermittlung der für das jeweilige Verfahren maßgeblichen Isotopenmengen und Isotopenverhältnisse sowie Auswertung. Mit Kenntnis der mittleren (aktuellen) Zerfallsrate bezogen auf die jeweilige Ausgangsmenge (Zerfallskonstante, Halbwertszeit) Berechnung des jeweiligen Isotopenalters.

Die für die *Geologic Time Scale 2012* (GTS2012, GRADSTEIN et al. 2012; → 2-03) anerkannten Methoden sind das U-Pb-, das  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ - und das Re-Os-Verfahren (Tab. 1).

### Basisannahme(n)

1. Unveränderlichkeit der Zerfallskonstante während der gesamten Vergangenheit und in jeder Umgebung.
2. Kenntnis der Ausgangsbedingungen, u. a. der initialen Isotopenmengen und Isotopenverhältnisse (bei der Bildung eines Minerals).
3. Vorliegen eines geschlossenen Systems; keine Veränderung der Isotopenmengen als durch den spezifischen radioaktiven Zerfall selbst.

### Historie

Entdeckung der Radioaktivität (BECQUEREL 1896); erste publizierte radiometrische Datierungen (BOLTWOOD 1907); Begründer und Protagonist der geologischen Zeitskala (HOLMES 1913 ff).

### Anwendung

Geologie. Zeitliche Eichung der Internationalen Chronostratigraphischen Tabelle anhand ausgewählter radiogener Isotopenalter; Konstruktion der geologischen Zeitskala (GTS).

### Angabe/Größenordnung der Ergebnisse

Die ermittelten Isotopenalter für die GTS2012 liegen vorwiegend in einem Bereich von Millionen oder Milliarden Isotopenjahren. Beispiel: Perm/Trias-Grenze (Meishan, China); Zirkone von zwei vulkanischen Aschenlagen unmittelbar über und unter der Grenze (BURGESS et al. 2014):

- Gewichtete mittlere  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -Alter von  $251,941 \pm 0,037$  sowie  $251,880 \pm 0,031$  Millionen [Isotopen-] Jahre (untere bzw. obere Lage).

### Altersbestimmungsverfahren

Anspruch: Unabhängig und absolut.

### Gültigkeit (der Ergebnisse)

a) Absolute Altersbestimmung

Nicht bekannt. Es ist nicht bekannt, in welchem Verhältnis die radiometrischen Alter zum realen Alter stehen.

Der Nachweis der Basisannahme (1) konnte bisher nicht erbracht werden.<sup>1</sup> Die Unkenntnis der Ausgangsbedingungen wird umgangen durch Annahme von Bildungskonditionen (u. a. visualisiert im Isochronen-Diagramm), diese Konstruktion allerdings kann Basisannahme (2) nicht ersetzen bzw. erfüllen. Auch Basisannahme (3) kann abschließend nicht überprüft werden; für die unterschiedlichen Fallkonstellationen haben sich zahlreiche Interpretationsmuster etabliert.

Des Weiteren kann die radiometrische Methode nicht durch ein anderes unabhängiges Altersbestimmungsverfahren verifiziert (bestätigt) werden. Punktuell kann aufgezeigt werden, dass die radiometrisch begründete Bildungsdauer von Sedimentgesteinsfolgen um 6-7 Größenordnungen höher ist als die geologisch-sedimentologisch begründete Bildungsdauer (KOTULLA 2020).<sup>2</sup>

b) Relative Altersbestimmung

Eingeschränkt gegeben.

Unter strenger Beachtung der Probenentnahme und ihrer stratigraphischen Stellung scheint eine Relation Zunahme des relativen Alters zu Zunahme des Isotopenalters gegeben.

---

<sup>1</sup> Beobachtungen und Stress-Untersuchungen haben bisher keine signifikanten Veränderungen der rezenten Zerfallskonstanten gezeigt.

<sup>2</sup> Geologisch-sedimentologische Indikation nach Interpretation des Verfassers. Unter der Voraussetzung, dass z. B. U-Pb-Alter „absolute Zeit“ (SCHMITZ 2012), d. h. Real-Zeit in Kalenderjahren repräsentieren.

Radioisotop	Zerfalls- konstante $\lambda$	$\pm$ Unsicher- heit*	Referenz	$\pm$ Unsicher- heit	Halbwerts- zeit** $T_{1/2}$	$\pm$ Unsicher- heit*
	[Ga <sup>-1</sup> ]	[Ga <sup>-1</sup> ]		[in Prozent]	[Ga]	[Ga]
<sup>238</sup> U	0,155125	0,00016		0,1031	4,468314	0,004609
<sup>235</sup> U	0,98571	0,00012	Mattinson (2010) Schoene et al. (2006)	0,0122	0,703196	0,000086
<sup>235</sup> U (nicht mehr benutzt)	0,98485	0,00134	Jaffey et al. (1971)	0,1361	0,703810	0,000958
<sup>40</sup> K (total)	0,5463	0,0107		1,9586	1,268803	0,024851
<sup>187</sup> Re	0,016689	0,000031		0,1858	41,533176	0,077148

**Tab. 1** Angewendete (aktuelle) Zerfallskonstanten in GTS2012 zur Berechnung radiometrischer Alter (nach GRADSTEIN et al. 2012, Table 6.2, und ergänzt). Ga = Gigajahre = 10<sup>9</sup> Jahre; \* 2-sigma (95 % Konfidenz); \*\* Umrechnung nach  $T_{1/2} = \ln 2/\lambda$ .

### Kritik und Handlungsbedarf

Die Isotopenalter werden von der geowissenschaftlichen Gemeinschaft inzwischen fast ausnahmslos als reale Alter bzw. reale Zeitrahmen dargestellt und kommuniziert; dies ist in Anbetracht der unsicheren Erkenntnisse (s. o.) eine gravierende Grenzüberschreitung. 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 Altersbestimmungen aufzuklären.

### 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.
- BURGESS SD, BOWRING S & SHEN S (2014) High-precision timeline for Earth's most severe extinction. PNAS 111, 3316-3321.
- GRADSTEIN FM, OGG JG, SCHMITZ MD & OGG GM (2012) The Geologic Time Scale 2012. Volume 1/2, Oxford Amsterdam.
- HOLMES A (1913) The Age of the Earth. London.
- HOLMES A (1927) The Age of the Earth. London.
- HOLMES A (1937) The Age of the Earth. Enlarged and rewritten, second ed., London.
- JAFFEY AH, FLYNN KF, GLENDENIN LE, BENTLEY WC & ESSLING AM (1971) Precision measurement of half-lives and specific activities of <sup>235</sup>U and <sup>238</sup>U. Physical Review C 4, 1889-1906.
- KOTULLA M (2020) Bentonit-Horizonte in paläozoischen Sedimentfolgen: Tephrostratigraphie und

U-Pb-Altersbestimmungen mit magmatogenen Zirkonen. W+W Special Paper G-20-1, Baiersbrunn.

[https://www.wort-und-wissen.org/wp-content/uploads/Bentonit-Horizonte\\_G-20-1.pdf](https://www.wort-und-wissen.org/wp-content/uploads/Bentonit-Horizonte_G-20-1.pdf)

MATTINSON JM (2010) Analysis of the relative decay constant of <sup>235</sup>U and <sup>238</sup>U by multi-step CA-TIMS measurements of closed-system natural zircon samples. Chemical Geology 275, 186-198.

SCHMITZ MD (2012) Radiogenic Isotopic Geochronology. In: GRADSTEIN FM, OGG JG, SCHMITZ MD & OGG GM (Eds.) (2012) The Geologic Time Scale 2012. Volume 1/2, Oxford Amsterdam, 115-126.

SCHOENE B, CROWLEY J, CONDON D, SCHMITZ M & BOWRING S (2006) Reassessing the uranium decay constants for geochronology using ID-TIMS U-Pb data. Geochimica et Cosmochimica Acta 70, 426-445.

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

Zur Ergänzung → 4-03, 4-09, 4-10, 4-21, 4-22.