

2-36 Die Konstruktion von Jahrmillionen

Versuch einer indirekten Verifizierung radiometrischer Altersbestimmung

Der Geologe und seine Aufgabe

„(...) der Geologe [als Erdgeschichtler, M.K.]: In unendlich ferne Vergangenheit muss er zurückgreifen, um die Geschichte unserer Erde zu schreiben. Seine Urkunden sind die Gesteine; aus ihrer Beschaffenheit liest er die Umstände ihrer Entstehung heraus, und mit den Lebewesen, deren Reste er in ihnen vorfindet, bevölkert er in seiner Phantasie Länder und Meere längst vergangener Zeiten. Die Schichten der Erdrinde fasst er zu großen Formationen zusammen. Ihre Aufeinanderlagerung von unten nach oben gibt ihm zugleich die zeitliche Reihenfolge ihrer Entstehung und damit der Geschichte der Erdoberfläche. Nach der Entwicklung des Lebens, die er in den einzelnen Formationen beobachtet, kommt er zur Aufstellung großer Perioden, die als Urzeit, Frühzeit, Altzeit, Mittelzeit und Neuzeit der Erdgeschichte betrachtet werden können. So entstand schließlich die geologische Formationstafel (...), die zugleich eine Geschichtstafel ist.“¹

LOTZE's allgemeinverständlicher Aufsatz *Jahreszahlen der Erdgeschichte* erschien 1922 als Buchbeilage zu den Kosmos-Naturfreudeheften und war an ein breites Publikum gerichtet. Er ist ein für den deutschen Sprachraum – aus wissenschaftshistorischer als auch wissenschaftstheoretischer Perspektive – wichtiger Beitrag zum Verständnis geologischer Zeitvorstellung und geologischer Zeitbestimmung.

Mit großem Engagement wird LOTZE seiner selbstdefinierten Aufgabe gerecht. Mit Argumentationsgeschick führt er den Leser in eine Jahrmillionen-Welt, die sich in Zukunft durch die Methode der radiometrischen Altersbestimmung am sichersten quantifizieren lässt. Im Kontext dieses Beitrages werden ausgewählte Passagen vorgestellt und diskutiert.

Das Zeitmaß, mit dem der Geologe rechnet – Abtragung durch den Neckar

LOTZE's erstes zahlenmäßiges Beispiel (S. 12-15) bezieht sich auf die geologische Arbeit des Neckars unterhalb Heilbronn. Eine quantitative Studie durch SCHÜRMANN ermittelte den Betrag von 1,584 Millionen Tonnen fester Stoffe, die der Fluss während eines Jahres aufnimmt und wegführt. Die Stoffmenge von etwa 600.000 m³ (bei einem spezifischen Gewicht von 2,5) entspricht auf der Basis eines Einzugsgebietes von 12.340 km² einer Abtragsleistung von etwa 0,05 mm pro Jahr. Bei gleichförmiger Rate, *„wenn also der Neckar sein ganzes Flussgebiet gleichmäßig erniedrigen würde (...)“*, würde der Fluss in 20 Jahren eine Schicht von 1 mm Dicke, in 20.000 Jahren eine von 1 m und in 2 Millionen Jahren eine von 100 m abtragen. Demzufolge habe die Abtragung des schwäbischen Stufenlandes von 200-300 m seit der Bildung der vulkanischen Röhren² (Obermiozän) etwa 4-6 Millionen Jahre gedauert. LOTZE stellt fest (S. 14): *„Damit sind wir zum ersten Mal auf das Zeitmaß gekommen, mit dem der Geologe rechnet, und an das sich auch der Leser gewöhnen muss, die Jahrmillionen.“*

Weiter ermittelt LOTZE die jährlichen Abtrags- und Aufschüttungsraten der ganzen Erde und wendet sie auf die Gesamtmenge der im Verlauf der Erdgeschichte gebildeten Sedimente an. Auf diesem Wege wären 245 Millionen Jahre notwendig gewesen, um die Gesamtmenge der Sedimente zu bilden, oder 320 Millionen Jahre für die Gesamtmenge irdischer Kalkschichten. Als Zwischenstand resümiert er: *„Haben wir gleich zu Anfang nachgewiesen, dass geologisch recht junge Ereignisse bereits einige Millionen Jahre zurückliegen müssen, so zeigen uns die Berechnungen über Abtragung und Aufschüttung, dass es sich für die Zeit, in der die Gesamtheit der Schichtgesteine gebildet wurde, jedenfalls schon um mehr als hundert Jahrmillionen handelt“* (S. 19).

¹ LOTZE (1922, 6).

² Mit der obermiozänen „Vulkankatastrophe“, auf welche sich LOTZE bezieht, ist das Gebiet der mittleren schwäbischen Alb um Kirchheim und Urach gemeint; heute sind über 350 Ausbruchsstellen (Diatreme) des Schwäbischen Vulkans bekannt.

Geologische Zeitabschätzungen durch Bildung von Verhältniszahlen und Extrapolation – Hinführung zur radiometrischen Methode (absoluten Altersbestimmung)

Als weitere Schätzmethode zur Beantwortung der Dauer geologischer Zeiträume trägt LOTZE eine mehrstufige Kombination aus Verhältniszahlen und Extrapolationen vor. Sie reicht „von der Eiszeit bis zum Beginn des Kambriums.“

Dauer der Eiszeit. In der Abschätzung der Dauer der Eiszeit folgt LOTZE hauptsächlich PENCK. Ausgehend von dem Maß der geleisteten Aufschüttungsarbeit der Flüsse und der Verwitterung in der Spät- und Nacheiszeit (seit dem Bühlvorstoß; entspricht der Grundeinheit) bildet PENCK Verhältniszahlen: Erstens, für die Zwischeneiszeiten insgesamt das 18-fache der Dauer der Nacheiszeit (Riss-Würm, Dreifaches; Mindel-Riss, Zwölffaches; Günz-Mindel, Dreifaches). Zweitens, für die Eiszeiten das Sechs- bis Achtfache der Dauer der Nacheiszeit. Die verstrichene Zeit nach dem Bühlvorstoß (geschätzte 20.000 Jahre; mal 25 Einheiten) ergibt demnach 500.000 Jahre für die Dauer der Eiszeit (Tab. 1).

Schätzung der Dauer der Eiszeit		Penck			Lotze
Annahmen	Verhältniszahl	Dauer [Tsd. a]			Dauer [Tsd. a]
Eisrückzug Schonen bis Eisscheide, nach Lotze einzige sichere Grundlage für die Berechnung (Anschluss zur Gegenwart und in die geologische Vergangenheit)					5
Basiswert: Zeit nach dem Bühlvorstoß (Nacheiszeit), Schätzung	1	20			
Basis: geologische Arbeit (Dauer aller Zwischeneiszeiten x 18), Dauer der Eiszeiten (x 6-8)	25	500			
Dauer Eiszeit		500			

Tab. 1 Schätzungen für die Dauer der Eiszeit auf Basis von Verhältniszahlen und Extrapolationen. Nach LOTZE (1922), Erklärungen siehe Textteil, Tsd. a = Tausend Jahre.

Dauer des Tertiärs. LOTZE stellt drei Autoren gegenüber. Jeweils im Vergleich zur Dauer der Eiszeit werden Verhältniszahlen für die tertiären Formationen vom Pliozän bis Paläozän ausgewiesen, auf Basis geologischer Arbeit und der Entwicklung der Lebewesen (PENCK, Faktor 27-36), auf Basis der Aussterberate von Muschelarten (LYELL, Faktor 60) und auf Basis der Evolutionsrate der Pferde (MATTHEW, Faktor 100; → 2-35).

Schätzungen der Dauer des Tertiärs		Penck	Lyell	Matthew	Lotze
Annahmen	Verhältniszahl	Dauer [Mio. a]	Dauer [Mio. a]	Dauer [Mio. a]	Dauer [Mio. a]
Basiswert: Dauer der Eiszeit (nach Penck)	1	0,5			
Basis: geologische Arbeit/Entwicklung der Lebewesen	27-36	13,5-18			
Basiswert: Zeit bis zum Beginn der Eiszeit	1		0,5		
Basis: 'Aussterberate' Muschelarten Eozän bis rezent	60		30		
Basiswert: E. scotti → E. caballus = 1 Einheit/Beginn Eiszeit	1			0,5	
Basis: Entwicklungsreihe der Pferde	100			50	
Dauer Tertiär, Mittelwert		15	30	50	30
Dauer Tertiär, Grenzwerte (Basis Eiszeit 0,2 - 1 Mio. a)		5,4-36	12-60	20-100	5,4-100

Tab. 2 Schätzungen für die Dauer des Tertiärs auf Basis von Verhältniszahlen und Extrapolationen. Nach LOTZE (1922), Erklärungen siehe Textteil, Fortsetzung zu Tab. 1.

Für die Dauer der Eiszeit setzt LOTZE für alle drei Autoren den Basiswert von 0,5 Millionen Jahren an (s. o.) und erhält für das Tertiär so die engere Mittelwert-Schwankungsbreite von 15 bis 50 Millionen Jahre (Tab. 2). Als Zwischenergebnis hält LOTZE (S. 45) fest: *„Immerhin können wir mit ziemlich großer Wahrscheinlichkeit sagen, dass die Zeitdauer des Tertiärs jedenfalls schon nach Zehnern von Jahrmillionen zu bemessen ist. Mit 20-40 Millionen Jahren werden wir von der Wahrheit nicht allzu weit entfernt sein.“*

Dauer des Phanerozoikums. Die Dauer der restlichen Formationen des Phanerozoikums entwickelt LOTZE hauptsächlich aus der Dauer des Tertiärs, für das er einen Mittelwert von 30 Millionen Jahre zu Grunde legt, sowie drei unterschiedlichen Verhältnissreihen (Tab. 3).³ Nach DANA dauerten Kreide, Jura und Trias ebenso lang wie das Tertiär, desgleichen Perm und Karbon, das Devon dagegen war zweimal so lang und Silur und Kambrium jeweils viermal so lang wie das Tertiär. Mit diesen insgesamt 16 Tertiär-Einheiten ermittelt LOTZE für das Phanerozoikum rechnerisch eine Dauer von 480 Millionen Jahre. WALCOTT wählte Verhältniszahlen von 1 : 2,5 : 6 für Tertiär zu Mesozoikum zu Paläozoikum. Die sich daraus ergebenden 9,5 Einheiten führen zu LOTZES unterem Wert von 285 Millionen Jahren. Schließlich führt Lotze HÄCKELS Methode auf. HÄCKEL definierte die Zeit seit dem Beginn des Lebens mit 100 Einheiten, wovon 52 auf das Präkambrium entfielen. Die restlichen 48 Einheiten verhielten sich wie 3 : 11 : 34 für Tertiär zu Mesozoikum zu Paläozoikum, wobei der Eiszeit als Grundeinheit 0,1 Einheiten zugewiesen wurden. Die 480 Eiszeit-Einheiten entsprechen somit 480 Millionen Jahren. Nach Abwägung aller Unsicherheiten, so LOTZE, werde die Wahrheit zum Schluss doch ungefähr in der Mitte liegen (S. 46): *„So können wir mit ziemlicher Sicherheit für das Alter des Kambriums einige Hunderte von Jahrmillionen ansetzen. Wir kennen noch nicht die genaue Größe selber, aber doch die Größenordnung der seit dem Kambrium verflossenen Zeit.“*

Schätzungen der Dauer des Phanerozoikums		Dana	Walcott	Häckel	Lotze
Annahmen	Verhältniszahl	Dauer [Mio. a]	Dauer [Mio. a]	Dauer [Mio. a]	Dauer [Mio. a]
Basiswert: Dauer des Tertiärs	1	30			
Basis: Mesozoikum (x3), Paläozoikum (x12)	16	480			
Basiswert: Dauer des Tertiärs	1		30		
Basis: Mesozoikum (x2,5), Paläozoikum (x6)	9,5		285		
Basis 1: Zeit seit dem Beginn des Lebens	100				
Basis 2: Zeit bis zum Beginn des Kambriums	48				
Basiswert: Eiszeit (Dauer 1 Mio. a)	0,1			480	
Dauer Phanerozoikum, Mittelwert		480	285	480	285-480
Wahrscheinlicher Wert nach Lotze					200-600
Dauer des Phanerozoikums, Grenzwerte (Basis Eiszeit 0,2 - 1 Mio. a)					40-1600

Tab. 3 Schätzungen für die Dauer des Phanerozoikums (Kambrium bis heute) auf Basis von Verhältniszahlen und Extrapolationen. Nach LOTZE (1922), Erklärungen siehe Textteil, Fortsetzung zu Tab. 2.

Radiometrische Methode (absolute Altersbestimmung) – Die Größenordnung passt

„Ja, wenn uns die Möglichkeit gegeben wäre, weit draußen in der grauen Ferne geologischer Vergangenheit auch nur einen Punkt fest zu bestimmen und mit absoluter Sicherheit sein Alter anzugeben, dann wären wir über alle Schwierigkeiten der Schätzung und der Extrapolation mit ei-

³ LOTZE (S. 45) erwähnt LYELLS Zahlen (→2-32), zieht diese aber für seine Betrachtung nicht weiter in Erwägung: *„Schon Lyell, der Begründer der modernen Geologie, hat diesen weiteren Schritt gewagt. Er erhielt für das Unterkarbon ein Alter von 160 Millionen Jahren, für das Unterkambrium ein solches von 240 Millionen Jahren.“*

*nem Schläge hinaus. Mit der Bestimmung jenes Punktes wäre uns ein fester Rahmen gegeben, in den wir die gesamte geologische Geschichte einspannen könnten. Und diese Möglichkeit besteht!*⁴

LOTZE erklärt zunächst das Phänomen der Radioaktivität⁵ und schildert die Grundlagen der Altersbestimmung radioaktiver Mineralien⁶. Sodann legt er die methodischen Prüfkriterien fest (S. 64): „Die neue Methode [auf Grund radioaktiver Vorgänge, M.K.] 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):

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

Zur Überprüfung werden insgesamt 20 von HOLMES (1913) und LAWSON (1917) veröffentlichte Altersbestimmungsergebnisse präsentiert: 10 Ergebnisse der Bleimethode⁷ mit Werten zwischen 260 und 1.500 Millionen [radiometrischen]⁸ Jahren, darunter Einzelwerte des Karbon (320 Millionen [radiometrische] Jahre), des Mitteldevon (340 Millionen [radiometrische] Jahre) und Untersilur (400 Millionen [radiometrische] Jahre), sowie 10 Ergebnisse der Heliummethode⁹ mit Werten zwischen 0,1 und 600 Millionen [radiometrischen] Jahren. Bei fünf Mineralen sind sowohl Helium- als auch Blei-Messungen vorgenommen worden; die Helium-Alter sind um den Faktor 2,1-7,3 niedriger („im Allgemeinen nur ungefähr der dritte Teil“). Dies erklärt LOTZE mit einer Entweichung des Heliumgases. Insgesamt zeigen beide Aufstellungen eine Zunahme des Gehaltes der Endprodukte (Blei, Helium), die mit einer Zunahme des relativen geologischen Alters der Muttergesteine korrespondiert. Und 9 Analysen an einem Granitgestein aus Norwegen zeigen nur geringe Schwankungen des Bleigehaltes zwischen 12 und 14%. LOTZE (S. 67) fasst sodann zusammen: „So erfüllt tatsächlich die neue Methode alle Anforderungen, die an ihre Ergebnisse gestellt werden müssen.“ Im Grunde genommen wiederholt LOTZE nur bereits in diesem Sinne (bezogen auf die methodischen Prüfkriterien) veröffentlichte Ergebnisse; seine Darstellung und Aufarbeitung der Materie wirkt allerdings so überzeugend, als hätte er eine eigene unabhängige Überprüfung vorgenommen.

Schließlich folgert LOTZE, dass durch die physikalisch-chemische Messung die sichere zeitliche Festlegung mehrerer Punkte in früher geologischer Zeit erreicht sei (siehe Eingangszitat) und nunmehr vom Extrapolieren (s. o.) zum Interpolieren übergegangen werden könne. Als zuverlässige Ankerpunkte nennt er Alter für das Karbon (320 Millionen [radiometrische] Jahre), das Untersilur (400 Millionen [radiometrische] Jahre) sowie das Mittel-Präkambrium (1000 bis 1300 Millionen [radiometrische] Jahre); in diesem Rahmen gelte es, die übrigen

⁴ S. 47.

⁵ Zur Konstanz der Zerfallsgeschwindigkeit (S. 54): „Der Zerfall geht mit einer solchen inneren Notwendigkeit vor sich, dass seine Geschwindigkeit durch keinerlei äußere Einwirkungen auch nur im geringsten verändert werden kann. Man hat strahlende Substanzen einem Druck von 24400 Atmosphären ausgesetzt, den Einfluss von Temperaturen von -240° bis zu 2500° untersucht, die stärksten elektrischen und magnetischen Felder auf sie wirken lassen, ohne dass sich die Zerfallsgeschwindigkeit auch nur im mindesten verringert oder vermehrt hätte.“

⁶ Zur Bildung der Uranmineralien (S. 62): „Die bekannten Uranmineralien kommen in der Hauptsache in ehemals feuerflüssigen Gesteinen vor. Als ein solches Gestein einst als glutflüssiger Brei aus dem Erdinneren hervorbrach, enthielt es noch keine einzelnen Mineralien; alle Stoffe waren vielmehr gleichmäßig verteilt in dem Gesteinsbrei enthalten. Als das Gestein dann allmählich erkaltete, da fingen die verschiedenen Stoffe an, sich zusammenzufinden und auszukristallisieren. (...) Es kann als so gut wie sicher angenommen werden, dass das Uran bei der Ausscheidung aus dem feuerflüssigen Gesteinsbrei in chemisch reiner Form, also ohne Zerfallsprodukte, in den Aufbau des Minerals eingetreten ist.“

⁷ Sog. „Uran-Blei-Datierung“ auf Basis der Uran-Zerfallsreihe(n).

⁸ [radiometrisch] ist eine Einfügung durch den Verfasser.

⁹ Gleiche Zerfallsreihe wie Fußnote 7.

Ereignisse der Erdgeschichte schätzungsweise einzufügen. Das ergibt für einen der wichtigsten Punkte, dem Beginn des Kambriums, als wahrscheinliche Zahl 500 Millionen [radiometrische] Jahre.¹⁰

Diskussion

LOTZES geologische Methoden zur Berechnung der Dauer der geologischen Perioden liegt das uniformitaristische Prinzip zu Grunde, das als einzige Erfahrungsquelle nur die durch menschliche Beobachtung gegenwärtigen, geologisch langsam wirkenden und niedrig-energetischen Prozesse zulässt (vgl. BAKER 2002, S. 2379). Diese substantielle Annahme, die wirksame kataklysmische¹¹ Ereignisse ablehnt, ist aber der Logik der Naturwissenschaft zuwider (BAKER 2009, S. 6-4).

Dies zeigt sich bereits am Beispiel der Abtragungsleistung des Neckars. Ein aktueller Jahreswert wird – dem regulativen Prinzip folgend – in die Vergangenheit extrapoliert.¹² So wird „das Zeitmaß, mit dem der Geologe rechnet“, Jahrmillionen, offenkundig, vielmehr noch, es ist damit nachgewiesen (!) worden, „(...) dass geologisch recht junge Ereignisse bereits einige Millionen Jahre zurückliegen müssen (...)“.

LOTZE hat zwar richtig gerechnet, hierfür teilt er zum Zwecke der Nachvollziehbarkeit alle notwendigen Zahlen und Rechenschritte mit, worauf er aber seine Annahme begründet („Wenn also der Neckar sein ganzes Flussgebiet gleichmäßig erniedrigen würde (...)“), schreibt er nicht. Sie ist wie eine Tatsache selbstverständlich in den Text eingebunden. Fünf Seiten weiter wird das Ergebnis der Rechnung erneut aufgegriffen und die Größenordnung von Millionen Jahren einfach als „nachgewiesen“ deklariert.

Nach Abschluss der Jahrmillionen-Konstruktionen stellt LOTZE (S. 46) zu recht selbst fest: „Ein gewisses Unbehagen können wir aber trotz allem bei der nunmehr bis zum Ende durchgeführten Methode der Extrapolation nicht los werden. Die einzige ganz sichere Grundlage für die Berechnung sind eben allein die 5000 Jahre, die das Eis zu seinem Zurückweichen von Schonen¹³ bis zur Eisscheide brauchte. Von dieser Zahl aus mussten wir nach der einen Seite den nicht unmittelbar gegebenen Anschluss an die Gegenwart finden, nach der anderen Seite hin zurück in die geologische Vergangenheit schließen.“ Diese Überleitung zur radiometrischen Methode enthält essentielle, methodische Aussagen, insbesondere über ein willkürliches (unzulässiges) Maß an Extrapolationen. Selbst diese „einzige ganz sichere Grundlage“ von 5.000 „Jahren“, die LOTZE (S. 31) von DE GEERS „Warvenchronologie“ übernimmt, war nicht gegeben, denn DE GEER hatte für die laminierten Sedimente (Bändertone) in Schweden den Nachweis einer Warvierung (jahreszeitlichen Prägung) in Wirklichkeit nie erbracht (→ 3-10).

Die von LOTZE selektierten und teils modifizierten Methoden zur Berechnung der Dauer der geologischen Perioden sind spekulativ und können keiner realen Prüfung unterzogen werden. Sie können deshalb auch nicht auf Größenordnungen hindeuten, die im Bereich von Zehner und Hunderte Millionen Jahre liegen.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

LOTZE stellt die wahrscheinlichsten Ergebnisse für den Zeitraum bis zum Beginn des Kambriums gegenüber:

- a) Bildungsdauer der Sedimentgesteine (Sedimentationsuhr): min. 200 Millionen Jahre
- b) Geologische Vorgänge der Nacheiszeit; Entwicklung von Verhältniszahlen und Extrapolation in die Vergangenheit: 200 – 600 Millionen Jahre
- c) Radioaktive (radiometrische) Methode (Uranuhr): ca. 500 Millionen [radiometrische] Jahre

Es ist offensichtlich keine Frage der Größenordnung (→ 4-10), sondern vielmehr eine der Harmonisierung („Wie lassen sich nun all diese Ergebnisse vereinigen?“, S. 72). Nach LOTZE widersprechen sich die Ergebnisse von (a) und (b) nicht, des Weiteren auch nicht die von (c) und (b). Dagegen sieht er „tatsächlich“ einen Wider-

¹⁰ Die radiometrische Methode bestätigt die geologischen Schätzmethoden (S. 67): „Auf diesen Zeitraum verteilen sich die zehn Formationen des Geologen, deren jede etwa 40-80 Millionen Jahre zu ihrer Bildung beansprucht haben mag. Für das Tertiär wird ein Wert in der Nähe der unteren Grenze anzusetzen sein, ein Ergebnis, das unsere frühere Schätzung aufs Schönste bestätigt.“

¹¹ hoch-energetisch, katastrophisch.

¹² Denn (S. 21): „Die Erde befindet sich durchaus nicht in einer Periode besonderer Ruhe; wesentlich stärker können in der Vorzeit die geologischen Kräfte nicht gewirkt haben, als sie es auch heute noch tun.“ Aber schwächer, siehe Zusammenfassung.

¹³ Schonen: historische Provinz in Südschweden.

spruch zwischen (a) und (c). Diesen löst er dahingehend auf, dass er die Sedimentationsuhr heute um das Zweifache bis Dreifache rascher ablaufen lässt als in der Vorzeit.¹⁴

Zu Aussagen des Alters der Erde aufgrund radiometrischer Alterswerte aber rät LOTZE zur Vorsicht, so (S. 71): „Wir tun am besten, mit unseren Versuchen absoluter Altersbestimmungen nicht weiter zurückzugehen als bis zu einem Zeitpunkt, den wir noch mit erprobten Methoden erfassen können.“ Das heißt, dass für den Zeitraum bis zur Basis des Kambriums¹⁵ „erprobte Methoden“ vorliegen – hier können nur (a) und (b) gemeint sein –, die die radiometrischen Alterswerte verifizieren (unabhängig bestätigen). Der offensichtliche Harmonisierungsversuch, dass (a), (b) und (c) nicht im Widerspruch stehen, kulminiert letztendlich in dem indirekten Versuch, einen Nachweis für die Gültigkeit der radiometrischen Methode erbracht zu haben.

LOTZES *Jahreszahlen der Erdgeschichte* ist ein rhetorisches Meisterwerk, eine wort-, zahlen- und bildgewaltige Komposition. Werden aber den geologischen Methoden (a) und (b) ihre spekulativen Annahmen entzogen, steht die radiometrische Methode (c) ohne Unterstützung da.

Literatur

BAKER VR (2002) The Study of Superfloods. *Science* 295, 2379-2380.

BAKER VR (2009) The Channeled Scabland – a retrospective. *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences* 37, 6.1–6.19.

DE GEER G (1912) Geochronologie der letzten 12000 Jahre. *Geologische Rundschau* 3, 457-471.

HOLMES A (1913) *The Age of the Earth*. London.

LAWSON RW (1917) Über absolute Zeitmessung in der Geologie auf Grund der radioaktiven Erscheinungen. *Naturwissenschaften*, 5. Jahrg.

LOTZE R (1922) *Jahreszahlen der Erdgeschichte*. Stuttgart.

PENCK A & BRÜCKNER E (1901-09) *Die Alpen im Eiszeitalter*. 3 Bände, Leipzig.

Anmerkung: Zu den Autoren J. D. DANA, E. HÄCKEL, W. D. MATTHEW, C. LYELL, C. D. WALCOTT, SCHÜRRMANN und C. F. WRIGHT werden von LOTZE keine Referenzen aufgeführt. Es könnte sich u.a. handeln um:

LYELL C (1867-68) *Principles of Geology*. 2 vols., 10th ed., London.

MATTHEW WD (1914) Time ratios in the evolution of mammalian phyla. *Science* 40, 232-235.

¹⁴ Denn (S. 73): „Die Annahme, dass der Zerfall früher schneller vor sich gegangen sei, kann in keiner Weise begründet oder auch nur wahrscheinlich gemacht werden; sie würde bedeuten, dass Naturgesetze nicht unveränderlich wären, sondern sich im Verlauf geologischer Zeiträume ändern könnten.“ (→ 4-10)

¹⁵ Nach LOTZE auch für das Präkambrium.