

4-21 Radiometrische Methode quasi amtlich

Unterkommission des US-amerikanischen Nationalen Forschungsrats löst das Problem des Alters der Erde mit der radiometrischen Altersbestimmungsmethode

Der Vorstoß

Mitte der 1920er-Jahre, hauptsächlich mit der Entwicklung geophysikalischer Methoden in der Prospektion von Erdöl und Mineralien, wurde es in den USA als notwendig erachtet, insbesondere der auffallend interdisziplinär agierenden Instanz¹ „Geophysik“ mehr Aufmerksamkeit zu schenken. Der Bereich „Physikalische Wissenschaften“ des Nationalen Forschungsrats legte deshalb 1926 ein Programm auf, um den Wissenschaftlern des Landes den aktuellen Stand des neuen geophysikalischen Wissens in Form autoritativer Abhandlungen zu vermitteln. Es wurden neun Themenbereiche ausgegliedert und jeweils einer Unterkommission übertragen. Neben Themenkommissionen u. a. für „Seismologie“, „Meteorologie“, „Ozeanographie“, „Vulkanologie“ und „Terrestrischem Magnetismus“ wurde eine Unterkommission für „Das Alter der Erde“ eingerichtet.

Dieser Unterkommission gehörten folgende Personen an:

- E. W. BROWN (Astronomie²);
- A. HOLMES (Radioaktivität und geologische Zeit);
- A. F. KOVARIK (Radioaktivität und Altersbestimmung von Mineralien);
- A. C. LANE³;
- C. SCHUCHERT (Geochronologie, auf der Grundlage von Sedimenten und des Lebens) und
- A. KNOPF (Ozeanalter), Vorsitzender.

Die Ergebnisse wurden im Rahmen der Serie *Die Physik der Erde* im *Bulletin of the National Research Council* (Number 80) 1931 veröffentlicht (Abb. 1). Den Hauptteil des 466 Seiten umfassenden Berichts nimmt die radiometrische Methode (Part III und IV) mit insgesamt 386 Seiten ein.

¹ Die „Instanz“ entwickelte sich zu einer eigenständigen Fachrichtung.

² In Klammer das jeweils verantwortete Thema.

Das Problem des Alters der Erde

Das Problem des Alters der Erde gilt als gelöst, so das Verständnis, wenn eine sichere Bestimmung des Alters möglich ist. Doch was ist sicher?

KNOPF (1931a, 3) leitet seine Zusammenfassung damit ein, dass man sich zu Beginn des 20. Jahrhunderts für die Bestimmung des Alters der Erde das Erfordernis dreier unabhängiger Schätzungen vorstellte, die in ihrer Größenordnung übereinstimmen (Tab. 1). Die Entdeckung der Radioaktivität allerdings zerstörte die Grundlagen, auf welche sich die bisherigen, hauptsächlich physikalischen Methoden zur Schätzung der geologischen Zeit gestützt hatten.

Autor	Altersschätzung	Hypothese
G. H. Darwin	57 Mio. Jahre	Trennung des Mondes von der Erde
Lord Kelvin	20-40 Mio. Jahre	Langsame Abkühlung der Erde
J. Joly	80-90 Mio. Jahre	Natrium-Akkumulationsrate in den Weltmeeren

Tab. 1 Das Alter der Erde zu Beginn des 20. Jahrhunderts. In der Größenordnung übereinstimmende, hypothetische Schätzungen. Nach KNOPF (1931a).

Altersbestimmung über die Mächtigkeit der Sedimentgesteine nicht möglich

Diese „Altersbestimmungsmethode“ gilt als die älteste Methode: Die Bestimmung der Dauer der geologischen Zeit über die Mächtigkeit (Dicke) von Gesteinsfolgen. Die Umrechnung der akkumulierten Maximaldicken der Sedimente in Zeit (Jahre), so seinerzeit KNOPF (1931a, 4), „ist nach wie vor, auch annäherungsweise, ein ungelöstes Problem“, insbesondere weil die Sedimentdicken durch den fortschreitenden Erkenntnisgewinn ständig nach oben korrigiert werden müssen.

³ Prof. A. C. LANE war (gleichzeitig) Vorsitzender der Kommission für „Bestimmung der geologischen Zeit mittels atomaren Zerfalls“ des Bereiches Geologie und Geographie.

Deshalb ist es auch nicht möglich, die durch den radioaktiven Zerfall vorgenommenen Zeitbestimmungen durch die Sedimentüberlieferung zu verifizieren. So akzeptiert SCHUCHERT (1931) die Schätzung von 500 Millionen [radiometrischen] Jahren als beste Schätzung für die Zeitdauer vom Beginn des Kambriums bis heute (Phanerozoikum), die hauptsächlich, aber nicht ausschließlich auf dem radiometrischen Zeugnis beruht. Auch kann SCHUCHERT aufzeigen, dass das Zeugnis der Schichtgesteine mit den Altersergebnissen harmonisiert werden kann.

Hierbei geht SCHUCHERT (S. 16-49) äußerst systematisch vor. Zunächst gibt er einen historischen Abriss. Er zeigt auf, dass bisherige Schätzungen, hauptsächlich über die Maximaldicken, eine hohe Variationsbreite von 3 bis 1584 Millionen Jahre ergaben, die meisten Schätzungen sich jedoch in einem Bereich von bislang „generell akzeptierten“ max. 100 Millionen Jahren bewegten (Tab. 2). Sodann fährt er mit den geologischen Zeugnissen („evidence“) fort. Dabei weist er die jeweils ermittelten Maximalmächtigkeiten der Sedimentfolgen des Phanerozoikums aus, unter Schätzung ihrer Anteile an Sand(steinen), Ton(steinen) und Kalk(steinen). So betrage die aktuellste Maximalmächtigkeit für Nordamerika etwa 80 km (seine Tabelle S. 32, 260.000 Fuß).

Im folgenden Abschnitt stellt er die Eingangsfrage, was getan werden kann, um die ermittelten Maximalmächtigkeiten der Sedimentfolgen in geologische Zeit, ausgewiesen in Jahren, zu übersetzen. Er stellt zunächst fest, dass diese Ergebnisse am Ende nur ungenau und bestenfalls nur relativ zu verstehen sind. Als Zwischenergebnis formuliert er (S. 36): „Die vorangehenden Aussagen zeigen, dass bislang keine Sedimentationsdurchschnittsraten bekannt sind, auch keine für Sandsteine, Tonsteine oder Kalksteine. Weiterhin erscheint es dem Autor, dass ein Durchschnitt, der auf alle Schichtfolgen an alle Orten anwendbar ist, niemals herausgefunden werden kann; das, was allenfalls erwartet werden kann, ist ein Durchschnitt für jedes einzelne Sedimentbecken.“

Mit Aufzeigen dieser Unzulänglichkeiten und ausdrücklich in Anerkennung der radiometrischen Methode und ihrer Ergebnisse führt er seine Überbrückungsrechnungen zum Ziel: „Was wären die offenkundigen Sedimentationsdurchschnittsraten, wenn diese Dicke [80 km, MK] durch die Zeitspanne der Jahre auf Grundlage des radioaktiven Zerfalls dividiert [500 Millionen [radiometrische] Jahre, MK] würden?“ Unter Zugrundelegung der sechs radiometrischen

Ankerpunkte („tie-points“, siehe Tab. 3) erhält er Verhältniszahlen der Zeitdauer von Känozoikum zu Mesozoikum zu Paläozoikum wie 1 : 2 : 5, rechnerisch 59 zu 111 zu 347 Millionen [radiometrische] Jahre (seine Tabelle S. 47). Diese Verhältnisse erfordern, dass durchschnittlich ein Meter Sandstein in etwa 1500 Jahren, ein Meter Tonstein in 3000 Jahren und ein Meter Kalkstein in 7500 Jahren abgelagert werden. Diese Raten sind wesentlich höher als die, die bisher zur Anwendung gelangt sind.

Autor	Jahr	Maximaldicke [m]	Sedimentationsrate [in Jahren für 1 m]	Zeit [Mio. Jahre]
Phillips	1860	22000	4364	96
Huxley	1869	30000	3333	100
Haughton	1871	54000	28259	1526
Winchell	1883			3
Croll	1889	3600	20000*	72
De Lapparent	1890	46000	1957	90
Wallace	1892	54000	519	28
Geikie	1892	30000	2433-22667	73-680
McGee	1893	80000	19800	1584
Upham	1893	80000	1250	100
Walcott	1893			45-70
Reade	1893	10000	9500*	95
Sollas	1895	50000	340	17
Sederholm	1897			35-40
Geikie	1899			100
Sollas	1900	81000	327	26,5
Joly	1908	81000	988	80
Sollas	1909	102000	784	80
Woodward	1926	69000		
Holmes	1927	161000		

Tab. 2 Das Alter der Erde errechnet anhand theoretischer Maximaldicken der Sedimentgesteine. Die meisten Werte harmonisieren mit den damals „generell akzeptierten“ max. 100 Millionen Jahre, KELVINS ursprünglicher Schätzung. Nach SCHUCHERT (1931, seine Tabelle S. 18).

Verifizierung der Bestimmungen der geologischen Zeit auf Grundlage des radioaktiven Zerfalls. Nach KNOPF (1931a, 4f) kann eine Verifizierung über Warven erfolgen, insofern echte Warven vorliegen. Als Beispiel nennt er die Green River Formation. Dort habe BRADLEY (1929) abgeschätzt, dass die Bildungszeit der Sedimentfolge 5-8 Millionen Jahre betragen habe. Da die Formation etwa ein Drittel des Eozäns ausmache, lässt sich so die Gesamtdauer des

Eozäns abschätzen, die gut mit den Alterswerten der radiometrischen Methode harmoniere.⁴ Als weiteres Beispiel führt er die Warven der Bannisdale Slates an. MARR (1928) habe für die rund 1.500 m mächtige Folge eine Bildungszeit von 700.000 Jahren und eine Sedimentationsrate von umgerechnet 1 m in 460 Jahren errechnet. Diesen Wert übertrug MARR auf ordovizische und silurische Sedimentfolgen und ermittelte so eine rechnerische Gesamtdauer von 13 Millionen Jahren für beide Perioden. KNOPF stimmt mit MARR überein, dass diese Methodik zu einer Annäherung an die Größenordnung der Dauer geologischer Perioden führe.⁵

Radiometrische Ankerpunkte	Radiometrische Altersbestimmungen
Unteres Oligozän	31+ Mio. Jahre
Unterstes Känozoikum	60 Mio. Jahre
Unterstes Perm	207(?) Mio. Jahre
Mittleres Devon	290 Mio. Jahre
Oberstes Ordovizium (?)	380 Mio. Jahre
Top von Ozarkium* oder Kambrium	450 Mio. Jahre

Tab. 3 Die radiometrischen Ankerpunkte, die SCHUCHERT (1931, seine Tabelle S. 49) zur Eichung der Sedimentationsraten über Maximalmächtigkeiten verwendet. *: oberstes Kambrium und tiefstes Ordovizium zusammengefasst (nach einer alten nordamerikanischen Gliederung).

Biologie kann nichts zum Alter der Erde beitragen

Nach SCHUCHERT (1931, 59) zeigt die Historische Geologie keine bekannte konstante Geschwindigkeit in der Evolutionsrate. Damit kann die Biologie nichts zum Alter der Erde beitragen. Mit „no way“ bringt es KNOPF (1931a, 5) in seiner Zusammenfassung auf den Punkt.

SCHUCHERT zeigt aber interessante Zusammenhänge auf. Die Paläontologen sind nicht die Macher der Zeit, sondern die Nutzer.⁶ Und:

⁴ Zu einer Diskussion siehe KOTULLA (2015), insbesondere Abschnitt 5.2.

⁵ Bei den aufgeführten „Warven“-Beispielen ist kein Nachweis darüber erbracht worden, dass es sich tatsächlich um Warven handelt.

⁶ Hierbei zitiert er CLARKE (1922, 275): „(...) [paleontologists] are not the makers, but the users of time.“ CLARKE weiter (in Übersetzung): „Wir danken ihnen [Interpreten der Radiochemie, MK], uns das gegeben zu haben, was wir ohnehin schon hatten. Da ist genügend Zeit. In

Zoologen sind hinsichtlich einer Schätzung der Zeit auf die Geologen angewiesen. Allerdings in einer engen Wechselwirkung, denn die Zoologen können aufgrund der organischen Evolution Schlüsse darüber ziehen, ob die Zeit für eine Periode ausreichend ist.⁷

Er diskutiert des Weiteren die Aufstellung von MATTHEW (1914; → 2-35), ein Versuch, die Geschwindigkeit der Evolution der Pferde während des Känozoikums zu bestimmen. Auf Grundlage dieser Aufstellung harmonisiert SCHUCHERT die Gesamtdauer des Phanerozoikums durch Anpassungen und Extrapolationen zu 480 Millionen Jahren (S. 62).

Ozeanalter nicht bestimmbar

1899 schlug JOLY vor, das Alter der Erde aus dem Natriumgehalt der Ozeane zu bestimmen. Die Basisannahmen waren: a) Der Urozean enthielt kein Natrium, b) das in die Meere eingebrachte Natrium reicherte sich an und verbrauchte sich nicht und c) die jährliche heute messbare Rate war während der gesamten geologischen Zeit konstant gewesen. Mit dieser Methode errechnete JOLY ein Ozeanalter von 80-100 Millionen Jahre.

Auf wenigen Seiten handelt KNOPF (1931b, 65-72) alle wesentlichen Annahmen ab, indem er die über zwei Jahrzehnte bekannt gewordenen Einwände gegen diese „klassisch-gradualistische“ Methode zusammenträgt und schlussfolgert: Zwei der Annahmen sind falsch („untrue“) und die Methode hat zu viele unbekannte Faktoren. Deshalb kann sie nicht zur Verifikation anderer Methoden herangezogen werden. Die 100 Millionen Jahre seien möglicherweise ein Minimum.

Durchbruch für die radiometrische Methode

Die Methoden der Altersbestimmung auf der Grundlage des radioaktiven Zerfalls werden von KOVARIK (1931) und HOLMES (1931) ausführlich

der Tat so viel, dass, um [nur] einen notwendigen Anteil davon in die Philosophie der Evolution des Lebens zu absorbieren, es sogar eine Revision unserer Konzeptionen erfordert.“

⁷ SCHUCHERT zitiert in diesem Zusammenhang POULTON (1896, 815): „Zoologists rely on geologists for an estimate of the time occupied by the deposition of the stratified rocks, while they rely on us for a conclusion as to how far this period is sufficient for the whole of organic evolution.“

dargelegt. Nach KNOPF (1931a, 5) erfordern sie die geringste Anzahl von Annahmen. Zur Konstruktion einer geologischen Zeitskala (in Jahren) sollten nachfolgende Bedingungen gelten.

„1. Das Mineral darf keine Veränderung erfahren haben; (...) 2. Die Gehalte von U, Th und Pb müssen bestimmbar sein. (...) 3. Das Atomgewicht von Blei sollte ermittelt werden, (...) 4. Das geologische Alter des Minerals sollte bekannt sein.“

Diese (neuen Standard-) Anforderungen werden bislang, so KNOPF weiter, von sieben Altersbestimmungen eingehalten. Hierzu zählen Bestimmungen an uranreichen Alaunschiefern (Kolm) in Schweden (höchstes Kambrium, 450 Millionen [radiometrische]⁸ Jahre) und an Uranit⁹-Mineralen in Russland (Lokalität Sinyaya, Präkambrium, 1852 Millionen [radiometrische] Jahre). KNOPF erachtet die Altersbestimmung des Kolms mit Abstand als die wichtigste überhaupt. Denn nur diese Lokalität ist aufgrund ihrer Fossilien präzise geologisch datiert. Der Uranit von Sinyaya aus Pegmatit-Gängen gilt als bislang ältestes Mineral. Da es sich um eine Intrusion in älteres Gestein handelt, folgert KNOPF mit HOLMES, dass das Alter der Erde mindestens 2000 Millionen [radiometrische] Jahre betragen muss. Es sind diese zwei Ankerpunkte, die das primäre Gerüst der geologischen Zeitskala (Phanerozoikum, Präkambrium) bilden.

Eine Verifikation der radiometrischen Methode ist allerdings nicht möglich. Denn, so HOLMES, es wurde aufgezeigt, dass Bestimmungen der geologischen Zeit sowohl über eine Thermohistorie der Erde (thermische Zyklentheorie) als auch über Methoden der Abtragung und Sedimentation (mit Ausnahme kurzer Perioden) unzuverlässig sind. Das einzige Zeugnis („evidence“) für lange Perioden sei das auf der Grundlage des radioaktiven Zerfalls (→ 4-22).¹⁰

⁸ [radiometrische] = Einfügungen des Verfassers zur Klarstellung.

⁹ Auch Uraninit (Pechblende).

¹⁰ „It has been shown in the preceding sections that estimates of geological time can no longer be based on the Earth's thermal history, whatever hypothesis be adopted as best representing the cooling process. Every attempt so far made has been unsound in principle. The methods based on denudation and sedimentation are also unreliable except as applied to relatively short intervals. The only evidence for long periods given by the materials of the Earth itself is that

Astronomie muss passen

BROWN (1931, S. 460-466) diskutiert das Alter der Erde aus Sicht des Astronomen. Allerdings, so seine erste Aussage, gibt es bislang keine bekannten Methoden auf der Grundlage astronomischer Daten alleine, das Alter der Erde abzuschätzen. KNOPF (1931a, 9) ist dennoch optimistisch: „Die Schätzung auf Grundlage des atomaren Zerfalls (2×10^9 Jahre) stimmt aber mit den astronomischen Wahrscheinlichkeiten überein.“ Diese wiederum, erklärt BROWN zu Beginn seines Beitrages, beruhen auf Spekulationen. Denn ist die Erde 2×10^9 Jahre alt, muss das Alter des Sonnensystems zwischen 10^9 und 10^{10} Jahren liegen, und an einigen Hypothesen (u. a. Entstehung der Kometen, Bildung des Sonnensystems) zeigt BROWN, können die Annahmen so gewählt werden, dass diese Größenordnungen erreicht oder überschritten werden. Zum Beispiel (S. 462): „Es ist daher unwahrscheinlich, dass mit der Hypothese, dass zahlreiche solcher Exzentrizitäten oder Inklinationen [Planetenstabilität im Sonnensystem, MK] ursprünglich groß waren, das Alter des Systems geringer als 10^{10} Jahre ist: Es ist möglicherweise um wenigstens ein oder zwei Zehnerpotenzen älter. Das lässt genug Zeit für die hohe Schätzung des geologischen Alters der Erde von 2×10^9 Jahren, und dieses Alter macht nur einen kleinen Bruchteil des Alters des Sonnensystems aus.“

Relevanz und Schlussbemerkungen

Mit Quasi-Feststellungen beendete die Kommission das Problem des Alters der Erde: „In Kürze, das radioaktive Zeugnis zeigt an, dass die postkambrische Zeit, d. h. vom Ordovizium aufwärts, 450 Millionen Jahre umfasst (...) und dass das Alter der Erde mindestens 2.000 Millionen Jahre beträgt (...).“¹¹ Das war jedoch kein überraschendes Ergebnis, wenn die Zusammensetzung und das

based on radioactive disintegration. Like Hutton we can still find 'no trace of a beginning', for the oldest rocks have everywhere been made from preexisting and therefore still older materials, of which no other relics now survive" (HOLMES 1931, 454).

¹¹ „In short, the radioactive evidence indicates that post-Cambrian time, i. e., from Ordovician onward, is 450 million years, a span that is easily reconcilable with the geologic evidence, and that the age of the Earth is at least 2,000 million years, an estimate which, although not incompatible with the geologic evidence, is less readily reconcilable" (KNOPF 1931a, 3).

Ziel der Unterkommission betrachtet werden, deren vornehmliche Aufgabe ein Zusammentragen und Bewerten war.^{12,13} Aber, es war nunmehr quasi amtlich: Die einzig gültige Methode zur Bestimmung geologischer Zeit war (und ist) die radiometrische Methode.¹⁴

Weitere bemerkenswerte Ergebnisse und Folgerungen sind:

1. Die geologische Zeitskala wurde um das 10- bis 20-Fache ausgedehnt.
2. Die klassisch-gradualistische Methode, die Zeitabschätzung über Sedimentationsraten und Sedimentmächtigkeiten, die Jahrzehnte in Gebrauch war, wurde entwertet. Sie hatte ihre Gültigkeit als „unabhängige Methode“ verloren. Sedimentationsraten waren nunmehr radiometrisch neu geeicht worden. Weiterhin zeigte die Diskussion deutlich, dass das Theoretisieren über durchschnittliche Sedimentationsraten nichts gemein hat mit dem eigentlichen Phänomen der Sedimentation und den Sedimentationsprozessen selbst.
3. Die geologische Zeitskala auf Grundlage radiometrischer Altersbestimmungen kann nicht verifiziert werden (→ 4-22). Es gibt keine andere Methode („Uhr“), die die radiometrisch geeichte stratigraphische Tabelle bestätigen könnte. Eine Abstimmung (vermeintlich gemeint als weichere Form der Verifizierung) der 450 Millionen [radiometrische] Jahre mit dem geologischen Zeugnis („easily reconcilable with geologic evidence“, Fußnote 11) ist ein Trugschluss; allenfalls kann gemeint sein, dass die Größenordnung, mit der bislang schon operiert wurde, passt.
4. KNOPF (1931b, 65) scheint im doppelten Sinne Recht zu haben, wenn er sagt: „Das Problem ist tatsächlich verknüpft mit unseren Ideen über die Entstehung des Planeten.“¹⁵ Damit räumt er ein, dass in einem anderen „Ideen-Klima“ wahrscheinlich andere Wege eingeschlagen und andere Schlussfolgerungen gezogen worden wären.¹⁶

¹² Vgl. BURCHFIELD (1990, 202).

¹³ Damit war auch HOLMES am Ziel, Hauptprotagonist der Methode und Begründer der geologischen Zeitskala.

¹⁴ Siehe auch YOCHELSON & LEWIS (2001): „The bulletin is significant, for the publication had the authority of the NCR [National Research Council] behind it“ (S. 150). Und: „From the geologist’s point of view, in both Britain and America, the issue of the age of the Earth

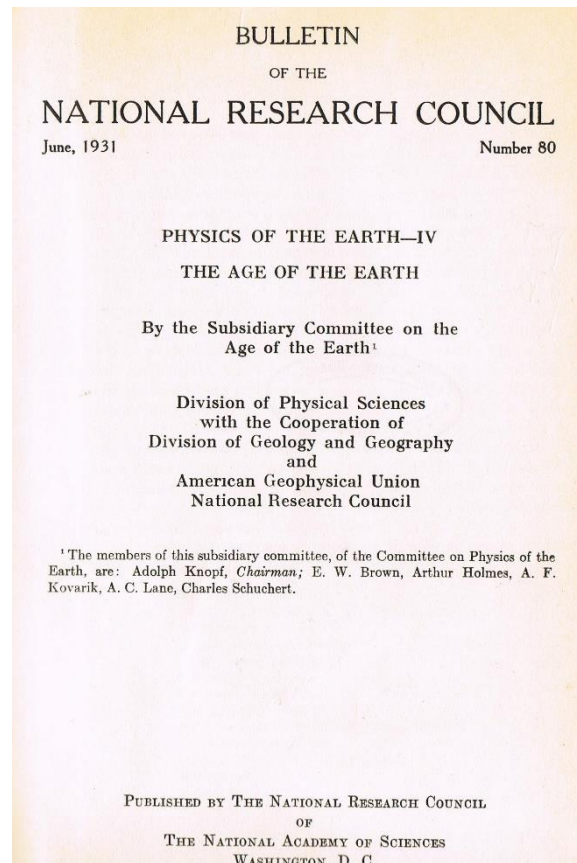


Abb. 1 Der Kommissionsbericht.

Literatur

- BRADLEY WH (1929) The varves and climate of the Green River Epoch. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 168-E, 87-104.
- BROWN RW (1931) The Age from the Earth from Astronomical Data. In: Physics of the Earth IV. The Age of the Earth. Bulletin of the National Research Council 80, 460-466.
- BURCHFIELD JD (1990) Lord Kelvin and the Age of the Earth. Chicago London.
- CLARKE JM (1922) The age of the Earth from the paleontological viewpoint. Proc. Am. Phil. Soc. 61, 272-282.
- HOLMES A (1931) Radioactivity and Geological Time. In: Physics of the Earth IV. The Age of the Earth. Bulletin of the National Research Council 80, 124-459.

was essentially resolved by 1931, for once radioactivity was finally accepted as a dating technique, all subsequent efforts were elaborations on the original theme“ (S. 152).

¹⁵ „In fact, the problem is linked with our ideas on the origin of the planet“ (KNOPF 1931b, 3).

¹⁶ Nach Erscheinen des Kommissionsberichts wurde die Unterkommission aufgelöst (YOCHELSON & LEWIS 2001, 150).

- JOLY J (1899) An estimate of the geological age of the Earth. *Sci. Tans. Roy. Dublin Soc.* 7, 23-66.
- KNOPF A (1931a) The Age of the Earth. Summary of Principal Results. In: *Physics of the Earth IV. The Age of the Earth. Bulletin of the National Research Council* 80, 3-9.
- KNOPF A (1931b) Age of the Ocean. In: *Physics of the Earth IV. The Age of the Earth. Bulletin of the National Research Council* 80, 65-72.
- KOTULLA M (2015) Sedimentfolgen und ihre Interpretation: Zyklusstratigraphie und das Milankovitch-Zyklus-Syndrom. *W+W Special Paper G-15-1*, Baiersbronn.
https://www.wort-und-wissen.org/wp-content/uploads/g-15-1_zyklusstratigraphie_und_milankovitch-zyklen.pdf
- KOVARIK AF (1931) Calculating the Age of Minerals from Radioactivity Data and Principles. In: *Physics of the Earth IV. The Age of the Earth. Bulletin of the National Research Council* 80, 73-123.
- MARR JE (1928) A possible chronometric scale for the graptolite-bearing strata. *Palaeobiologica* 1, 161.
- MATTHEW WD (1914) Time ratios in the evolution of mammalian phyla. *Science* 40, 232-235.
- POULTON EB (1896) A naturalist's contribution to the discussion upon the age of the Earth. *Rept. British Assoc. Adv. Sci.* 66, 808-828.
- SCHUCHERT C (1931) Geochronology, or the Age of the Earth on the Basis of Sediments and Life. In: *Physics of the Earth IV. The Age of the Earth. Bulletin of the National Research Council* 80, 10-64.
- YOCHELSON EL & LEWIS CLE (2001) The age of the Earth in the United States (1891-1931): from the geological viewpoint. In: LEWIS CLE & KNELL SJ (eds.) *The age of the Earth: from 4004 BC to AD 2002*. Geological Society, London, Special Publications, 190, 139-155.

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

Zur Ergänzung → 4-01, 4-03, 4-09.