

Radiometrische Datierung: Halbwertszeit und Altersbestimmung

Oder: Warum der Kreationismus Ozeane zum Kochen bringt

MARTIN NEUKAMM

Unlängst gab die deutsche Kreationisten-Vereinigung WORT UND WISSEN eine umfangreiche Blattsammlung über die „Gültigkeit und Grenzen“ der geologischen Zeitmessung heraus.¹ Fasst man die Seiten zusammen, lesen sie sich wie der Entwurf für ein „kritisches Lehrbuch der Geologie“. Sie erheben den Anspruch, die Zuverlässigkeit gängiger Datierungsmethoden *wissenschaftlich begründet* infrage zu stellen.



Die weltanschauliche Motivation, die dieses Unternehmen antreibt, ist folgende: Der Kreationismus nimmt den Schöpfungsbericht der Bibel wörtlich und vertritt die Ansicht, Gott habe die Welt in sieben Kalendertagen erschaffen. Gestützt auf Quellen des Alten Testaments wird zudem ein Erdalter von nur etwa 10.000 Jahren vertreten. Folglich setzt man sich dafür ein, dass sich auch die Geologie und Kosmologie an diesem Zeitrahmen orientieren. Eine notwendige Voraussetzung dafür ist, dass es gelingt, die nach Jahrmilliarden bemessenen Zeiträume der kosmischen und irdischen Geschichte als unglaubwürdige „Konstrukte“ zu entlarven. In diesem Bestreben setzt sich KOTULLA (2014/20) vordringlich mit der radiometrischen Datierungsmethode kritisch auseinander. Was hat es damit auf sich?

Grundlagen radiometrischer Datierung und die Kritik des Kreationismus

Die radiometrische Datierung ist eine etablierte Methode der Altersbestimmung, sozusagen der „Goldstandard“ zur Messung archäologischer, erdgeschichtlicher und kosmischer Zeiträume. Sie basiert auf dem Wissen, dass instabile Atomkerne, die sogenannten *Radionuklide*, im Lauf der Zeit zerfallen und sich dabei in andere Atomkerne umwandeln. Der Zeitraum, in dem statistisch 50 Prozent der Kerne einer bestimmten

¹ KOTULLA, M. (2014) Gültigkeit und Grenzen geologischer Zeitbestimmung. Geologie Loseblattsammlung. Stand: 10/2020. <https://www.wort-und-wissen.org/publikationen/geologie-loseblattsammlung/>

Atomsorte (eines bestimmten *Nuklids* bzw. *Isotops*) zerfallen, nennt man *Halbwertszeit*. Die Halbwertszeiten der meisten Radionuklide sind heute sehr genau bekannt.

Das Uranisotop Uran-238 beispielsweise hat eine Halbwertszeit von 4,47 Milliarden Jahren. Das bedeutet, dass sich innerhalb dieses Zeitraums genau die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Stoffmenge an Uran-238 („Mutter-Nuklid“) in das Element Thorium-234 („Tochter-Nuklid“) umwandelt. Dieses ist selbst radioaktiv und wandelt sich innerhalb von 24 Tagen zur Hälfte in das Element Protactinium-234, welches noch rascher zerfällt. Am Ende dieser so genannten Zerfallsreihe steht das stabile Blei-206. Wir können also vereinfacht sagen, dass nach 4,47 Milliarden Jahren die Hälfte der Uran-238-Kerne in Atomkerne des Elements Blei-206 zerfallen ist.

Um nun das Alter einer Gesteinsschicht zu datieren, braucht man nach der konventionellen Methode nur die Menge von Uran-238 sowie die Menge von Blei-206 in den Gesteinsmineralien zu bestimmen. So lässt sich ermitteln, wieviel Prozent der ursprünglich vorhandenen Uran-238-Kerne in Blei-206 zerfallen sind. Nach untenstehender Formel (Abb. 1) lässt sich das Alter des Gesteins bzw. Minerals errechnen.²

$$\text{Alter} = \frac{\text{Halbwertszeit}}{\log_2 \left[1 + \frac{D_{\text{jetzt}}}{P_{\text{jetzt}}} \right]}$$

Abb. 1 Formel zur Berechnung des Alters einer Mineralienprobe. „ P_{jetzt} “ ist die Stoffmengen-Konzentration des radioaktiven Mutter-Nuklids (z. B. Uran-238) und „ D_{jetzt} “ die Stoffmengen-Konzentration des stabilen Tochter-Nuklids (z. B. Blei-206) in der zu datierenden Probe. Hat man die Konzentrationen beider Nuklide chemisch-analytisch bestimmt, lässt sich über die Halbwertszeit das Alter der Probe errechnen.

Da wie erwähnt die meisten radiometrischen Datierungen Zeiträume liefern, die für den Kreationismus nicht mehr infrage kommen, muss er die Zuverlässigkeit dieser etablierten Methode anzweifeln. KOTULLA (2014/20) stellt dazu die zeitliche Konstanz der Halbwertszeiten radikal infrage (er selbst bevorzugt den Begriff „Zerfallskon-

² Die konventionelle Methode hat den Nachteil, dass die anfängliche Konzentration des Zerfallsprodukts im Gestein bekannt und von dem ermittelten Wert abgezogen werden muss. Zudem muss sichergestellt sein, dass das Nuklid-System weder durch Verunreinigungen noch durch Verluste gestört wurde. Daher nutzt man heute meist die so bezeichnete **Isochronen-Methode**. Diese setzt keine Vorannahmen über die anfängliche Konzentration des Zerfallsprodukts voraus, um das Gestein sicher zu datieren. Zudem lassen sich mit ihrer Hilfe Störungen des Nuklid-Systems leicht erkennen und umgehen. Zu den Details dieses sehr leistungsfähigen Instruments siehe STASSEN (1997).

stante“, die ein Maß ist für die Zerfallswahrscheinlichkeit eines Atomkerns und umgekehrt proportional zu seiner Halbwertszeit ist). Es könne „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.“³ In einem Übersichtsblatt resümiert er:

„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.“⁴

Da sich der Kreationismus auch im universitären Umfeld positioniert und dort in nicht unerheblichem Maß Verwirrung stiftet, soll dies hiermit geschehen.⁵ Der vorliegende Beitrag nimmt KOTULLAS Kritik zum Anlass, die Zuverlässigkeit radiometrischer Datierungen zu untersuchen. Dies schließt die Frage ein, ob die von KOTULLA aufs Tapet gebrachte Inkonstanz der Halbwertszeiten physikalisch in Betracht zu ziehen ist.

Variable Halbwertszeiten und bewohnbare Universen

Die Behauptung, die Konstanz der Halbwertszeiten radioaktiver Nuklide sei nicht erwiesen, ist aus verschiedenen Gründen ein sehr schwaches Argument. Was die Kreationisten geflissentlich übergehen: Wären die Halbwertszeiten (bzw. Zerfallskonstanten) früher nennenswert verschieden von den heutigen Werten gewesen, hätten sich auch die Verhältnisse der vier Grundkräfte zueinander fundamental verändert.

Die Halbwertszeit eines „Alpha-Strahlers“ wie Uran-238 beispielsweise hängt vom Verhältnis der starken Kernkraft zur so genannten Coulomb-Wechselwirkung (elektromagnetischen Abstoßung) der Protonen im Kern ab. Eine nennenswerte Verkürzung der Halbwertszeit – ein erforderlicher Schritt, um die geologische Zeitmessung

³ KOTULLA (2014) 4-10 Die Grundfrage radiometr. Altersbestimmung. <https://tinyurl.com/2s3zfkak>.

⁴ KOTULLA (2014) 4-01 Radiometrische Methode – Übersichtsblatt. <https://tinyurl.com/2p8bs245>.

⁵ Eine Übersichtsarbeit, die 20 verbreitete Irrtümer und Einwände gegen die Zuverlässigkeit radiometrischer Datierungen kompetent zerstreut, stammt von dem promovierten Physiker und Geologen Roger WIENS (selbst christlicher Autor): <https://www.schoepfung-durch-evolution.de/altersbestimmungen>

mit den Annahmen des Kreationismus in Einklang zu bringen – würde entweder eine Verringerung der starken Kernkraft oder eine Erhöhung der elektromagnetischen Abstoßung voraussetzen.

Wäre aber die starke Wechselwirkung nur um wenige Prozent schwächer, wäre Wasserstoff das einzige Element im Universum (McGRATH 2001, S. 217). Schwerere Elemente wären instabil, Sterne (typische Fusionsreaktoren) hätten sich nie gebildet. Wäre dagegen die elektromagnetische Kraft nur ein klein wenig stärker, wäre der gesamte Wasserstoff im Universum innerhalb weniger Jahre in Helium umgewandelt worden – langlebige Sterne wie die Sonne könnten nicht existieren.

In den meisten Fällen also würden Schwankungen der Halbwertszeiten um bereits wenige Prozent zu einem instabilen, lebensfeindlichen Kosmos führen; analoge Überlegungen lassen sich auch für andere Formen des radioaktiven Zerfalls wie den „Beta-Zerfall“ anstellen.

Gemessen an elementaren Zusammenhängen der Physik gibt es also keinen Spielraum für eine deutliche Veränderung der Halbwertszeiten radioaktiver Nuklide. Eine „isolierte“ Erhöhung oder Erniedrigung der Zerfallskonstanten ist kaum möglich, ohne das filigrane Netz der Naturgesetze und -Konstanten in fataler Weise aus der Balance zu bringen. Es gibt nur eine Zerfallsart, auf die das nicht zutrifft, nämlich den Zerfall über Elektroneneinfang.

Eine Ausnahme: Der Mechanismus des *electron capture*

Beim Elektroneneinfang wird ein Elektron aus der Atomhülle vom Atomkern aufgenommen, sodass sich ein Proton in ein Neutron und ein Neutrino verwandelt. Diese Halbwertszeit kann sich dramatisch ändern, wenn Elektronen aus der Hülle entfernt werden. Man denke an das extreme Beispiel, dass alle Elektronen aus der Hülle entfernt wurden. In diesem Fall liegt ein „nackter“ Atomkern vor. Dieser kann nicht mehr über Elektroneneinfang zerfallen, da kein Hüllenelektron mehr vorliegt. Die Halbwertszeit wird unendlich und der Kern stabil. Dieses Phänomen wurde experimentell an der GSI 1996 in einem Speicherringexperiment beobachtet (vgl. BOSCH et al.1996).

Diese Zerfallsart ermöglicht sogar eine von anderen radiometrischen Datierungsmethoden unabhängige Altersbestimmung des Universums, womit wir wieder bei der Widerlegung des Dogmas vom 10.000 Jahre alten Kosmos angelangt wären...

Wenn Ozeane verdampfen

Nehmen wir *pro forma* einmal an, dass die Halbwertszeiten radioaktiver Nuklide früher tatsächlich um mehrere Größenordnungen niedriger lagen als heute. Welche Auswirkungen hätte dies auf die Erde gehabt? Man kann sich leicht ausrechnen, um welchen Faktor die bei radioaktiven Zerfällen freiwerdende Energie (Bindungsenergie der Nukleonen) höher sein müsste, um die Ergebnisse der Zeitmessung mit den Aussagen der Bibel zu harmonisieren: Da sich das Erdalter auf rund 4,54 Milliarden Jahre datieren lässt, die Welt nach Ansicht des Kreationismus jedoch nur 10.000 Jahre alt ist, wäre eine Verkürzung der Halbwertszeit um fast sechs Zehnerpotenzen (Faktor eine Million) erforderlich. Auch die Zerfallsleistung (Energie pro Zeit) würde um diesen riesigen Faktor anwachsen.

Knapp die Hälfte der Erdwärme stammt heute aus dem Zerfall radioaktiver Elemente. Die Leistung, die aus dem radioaktiven Zerfall resultiert, beträgt rund $2 \cdot 10^{13}$ Watt, also 20 Terawatt (GANDO et al 2011). Einen Erdradius von 6.370 km zugrunde gelegt, liegt die geothermische Leistungsdichte des radioaktiven Zerfalls bei etwa 0,040 Watt (40 mW) pro Quadratmeter Erdoberfläche. Eine um sechs Größenordnungen höhere Zerfallsleistung entspräche demnach einer Wärmeleistung von 40.000 W (40 kW) pro Quadratmeter Erdoberfläche.

Wenn man sich vergegenwärtigt, dass dieser Wert ziemlich genau der Leistungsdichte einer modernen Ceranfeld- oder Herdplatte entspricht, kann man sich leicht ausmalen, was passieren würde: Die Ozeane würden innerhalb kürzester Zeit zu kochen beginnen und verdampfen. Dann würde sich die Erde bis zur Weißglut erhitzen und lange davor jede Lebensform vernichtet haben. Jeden Wassers beraubt, das die enorme Hitze aus dem Erdinneren aufnehmen könnte, würde die Erde schließlich selbst verdampfen (ROGNSTAD 2005).

Kurzum: Der Versuch, radiometrische Datierungen auf ein „biblisches Alter“ herunter zu korrigieren, liegt weit außerhalb des physikalisch Diskutierbaren.

Mitte des 20. Jahrhunderts gab es ähnliche Überlegungen des Physik-Nobelpreisträgers Paul DIRAC. Er opferte die Konstanz elementarer Naturgesetze, etwa der Gravitationskonstante. Seine Hypothese hatte nicht lange Bestand, denn auch hier zeigten Berechnungen, dass unter seinen Annahmen die Ozeane hätten verkochen müssen (BARROW 2011, S. 106). Unter der Titelzeile „DIRAC lässt Ozeane kochen“ spitzten

diverse Medien das Problem polemisch zu. Danach wurde die Idee verworfen. Sie erinnert an das Bestreben des Kreationismus, an Zerfallskonstanten so lange herum zu manipulieren, bis die Geologie „zur Bibel passt“. „Kreationisten bringen die Meere zum Kochen“ wäre auch hier der passende Slogan.

DIRAC zog die Lehren aus seinem Irrtum, der Kreationismus jedoch hat immer den weltanschaulichen Joker des TERTULLIAN parat: „Credo, quia absurdum est!“ - „Ich glaube, weil es unvernünftig ist!“ Und je absurder eine Annahme, desto fester, so scheint es, glaubt der Kreationismus daran – sofern er sich nur auf die Bibel berufen kann.

So wird, um das Problem der „kochenden Ozeane“ zu lösen, vielfach die willkürliche Behauptung aufgestellt, Gott habe einfach die Zerfallsenergien auf ein Millionstel der heutigen Werte gesenkt oder die enorme Hitze auf wundersame Weise beseitigt (siehe z.B. SNELLING 2005, S. 184). Dies ist zwar physikalischer Unsinn – und jeder dieser Lösungsversuche hat Konsequenzen, die weitere, noch absurdere Hilfsannahmen nach sich ziehen würden. Doch wie will man etwas Übernatürliches widerlegen?

Die Phantasmagorien beweisen alles und nichts, denn was da über des Schöpfers unergründliches Handeln gesagt wird, ist nicht unabhängig vom Schöpfermythos überprüfbar. Willkürliche Annahmen, die nur dazu dienen, ein Weltbild vor Widerlegung zu schützen, sind bestenfalls Zirkelschlüsse, diskursiv also nicht vertretbar.

Naturreaktoren, Meteoriten und Quasare

Was KOTULLA und vielen anderen Kreationisten ebenfalls entgangen zu sein scheint, ist die Tatsache, dass die Frage nach der Konstanz der Halbwertszeiten seit Jahren intensiv erforscht wird. Da bestimmte Formulierungen der String-Theorie innerhalb gewisser Grenzen veränderliche Naturkonstanten nahelegen, wurde nach Möglichkeiten gesucht zu prüfen, ob dem tatsächlich so ist.

Eine Möglichkeit zur Beobachtung bot der Naturreaktor von Oklo (Abb. 2). Dabei handelt es sich um einen natürlich entstandenen Kernreaktor, der in einer frühen Ära der Erdgeschichte aktiv war. Im heutigen Gabun enthielt das Flusswasser des Oklo große Mengen löslicher Uran-Komplexe, die in der schlammigen Uferzone zu unlöslichen Verbindungen reduziert wurden.

Im Mündungsdelta des Flusses lagerten sich so große Mengen Uran ab, dass die kritische Masse, bei der eine Kettenreaktion einsetzen kann, überschritten wurde. In umliegendes Sandgestein eindringendes Wasser bremste die Neutronen auf die für eine Kettenreaktion erforderliche Geschwindigkeit ab und „schaltete“ so den Reaktor an. Das Wasser verdampfte und sickerte anschließend wieder in das trockene Gestein ein. So wurde der Reaktor über mehrere Hunderttausend Jahre hinweg zyklisch an- und wieder abgeschaltet.

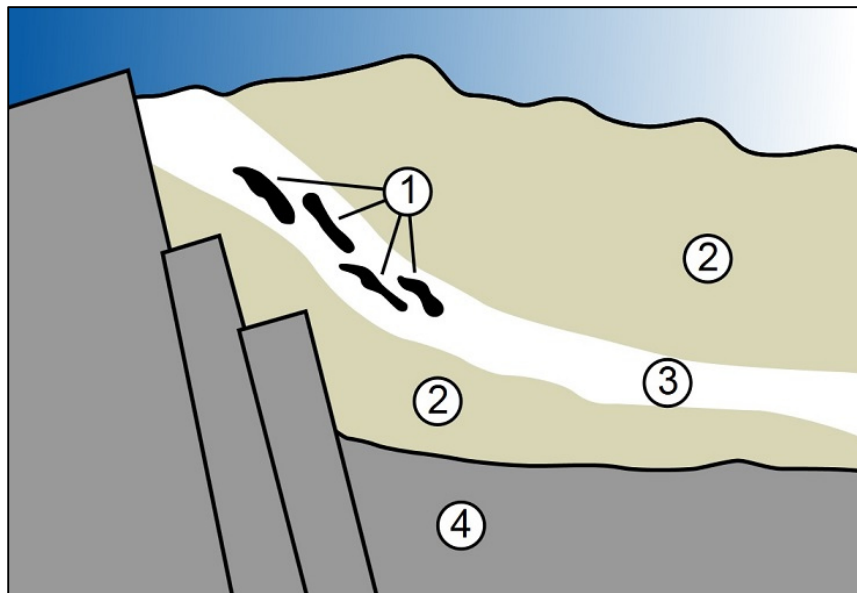


Abb. 2 Geologische Voraussetzungen des Naturreaktors in der Oklo-Mine: (1): Reaktorzonen, (2): Sandstein, (3): Erzflöz, (4): Granitstock. Bildquelle: MesserWoland (via Wikimedia Commons), https://de.wikipedia.org/wiki/Naturreaktor_Oklo. Lizenz: CC BY-SA-3.0, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>

Man entdeckte den Naturreaktor, nachdem festgestellt wurde, dass die Lagerstätte gegenüber den übrigen sich auf der Welt befindlichen Uranlagerstätten einen signifikant niedrigeren Gehalt an Uran-235 aufweist.

Um zu prüfen, ob sich die Halbwertszeiten im Lauf der Erdgeschichte verändert haben, braucht man nur die relativen Konzentrationen der verschiedenen Isotope in Oklo zu bestimmen und mit heutigen Isotopenverhältnismessungen zu vergleichen. Beispielsweise können Kerne des Elements Samarium-149 Neutronen einfangen, die bei der Spaltung von Uran-235 freigesetzt werden, und werden dadurch zum Isotop Samarium-150 (BOWLES 2004). Die Geschwindigkeit des Neutroneneinfangs, der das Verhältnis beider Samarium-Isotope beeinflusst, korreliert mit der Halbwertszeit.

Wären die Halbwertszeiten langlebiger Nuklide früher merklich anders gewesen, hätte man in Oklo-Proben dramatisch andere Isotopenverhältnisse vorfinden müssen als erwartet. Doch dem ist nicht so: Die Reaktionsprodukte längerer Halbwertszeit existieren in genau dem Isotopenverhältnis, das man es von einem Kernreaktor mit verbrauchtem Brennstoff erwarten würde. Zerfallsprodukte mit kurzer Halbwertszeit fehlen im umliegenden Gestein, was dazu passt, dass der Reaktor vor rund 1,7 Milliarden Jahren final „abgeschaltet“ wurde.

Isotopenverhältnismessungen an Meteoriten bestätigen die Konstanz der Halbwertszeiten ebenfalls. Und es gibt weitere Möglichkeiten nachzuweisen, dass die Halbwertszeiten auf einem Niveau von etwa 10^{-16} bis 10^{-18} ihres Werts konstant geblieben sind. Eine elegante Methode beruht auf der Beobachtung der Spektren sehr weit entfernt und somit auch sehr alter Galaxien. Die Absorptionslinien im Spektrum sogenannter *Quasare* (Abb. 3) entsprechen jenen, die wir auch im Labor messen können.



Abb. 3 Illustration eines Quasars. Als *Quasare* (quasi-stellare Objekte) bezeichnet man die Zentren „aktiver Galaxien“, die nicht nur im sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums große Energiemengen abstrahlen. Sie gehören zu den entferntesten Objekten, die man kennt. Die Auswertung der Absorptionslinien in den Spektren erlaubt den Rückschluss, dass sich elementare Naturkonstanten wie die Feinstrukturkonstante, die Lichtgeschwindigkeit usw. auch im Laufe von Jahrtausenden sowie in den entlegensten Winkeln des Universums nicht geändert haben. Bildquelle: © Igor ZHURAVLOV /Depositphotos.com.

Die Übergänge hängen empfindlich vom Wert der so genannten SOMMERFELDSchen Feinstrukturkonstante Alpha ab, welche die Stärke der elektromagnetischen Wechselwirkung angibt. Wie oben besprochen beeinflusst die Stärke der elektromagnetischen Wechselwirkung auch die Halbwertszeiten radioaktiver Nuklide.

Da die Spektren keine nennenswerten Unterschiede zeigen, sind auch die Halbwertszeiten auf hohem Niveau konstant geblieben. Die Invarianz der Feinstrukturkonstante beweist, nebenbei bemerkt, auch die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit.⁶

KOTULLAS Einwand erlaubt kein rational-wissenschaftliches Vorgehen

KOTULLA behauptet, es sei „nicht bekannt, in welcher Beziehung radiometrische Alter zum realen Alter“ stünden.³ Die Annahme, dass radiometrische Uhren reale Zeiträume liefern, bezeichnet er als „gravierende Grenzüberschreitung“. Er ignoriert dabei völlig, dass die Annahme vielfach anhand unabhängiger Verfahren bestätigt wurde (s. unten).

Die von KOTULLA diskutierte Veränderlichkeit der Zerfallskonstanten ist lediglich eine *Ad-hoc*-Annahme, die nur dazu da ist, das biblisch-fundamentalistische Weltbild vor Widerlegung zu schützen. Rational begründet ist sie nicht, im Gegenteil.

Mit KOTULLAS weltanschaulichem „Joker“ ließe sich jede nur denkbare naturwissenschaftliche Erkenntnis im Handstreich entwerten. Er könnte ebenso gut anmerken, dass die Gültigkeit des Energieerhaltungssatzes in prähistorischer Zeit nicht erwiesen sei. Eine ähnlich „gravierende Grenzüberschreitung“ beging NEWTON, als er von der Universalität der Gravitationskonstanten ausging, obwohl weder er noch sonst jemand entsprechende Messungen auf dem Mars, Jupiter oder Sirius durchführten.

Anders gesagt, KOTULLAS Einwand erlaubt kein rational-wissenschaftliches Vorgehen. Denn *alle* Naturwissenschaften orientieren sich an der Grundannahme, dass ein experimentell gefundener Zusammenhang nicht nur im Hier und Jetzt, sondern für die betreffende Objektklasse *universell* gilt, solange weder theoretische Gründe noch

⁶ Kreationisten führen oft eigene Befunde ins Feld, die auf einen beschleunigten radioaktiven Zerfall hindeuten sollen. Einer dieser Befunde ist die Anreicherung von Helium in Zirkon-Kristallen. Zirkone enthalten Uran, das beim Zerfall das Edelgas Helium produziert. Diffusionsmessungen legen nahe, dass das Helium rascher aus dem Mineral entweichen sollte als es produziert wird. Ein beschleunigter Uranzerfall soll die Anomalie der Helium-Anreicherung erklären (VARDIMAN et al. 2005, S. 740). Da aber gerade Diffusionsraten hochgradig variabel sind, ist es nicht nachvollziehbar, dass die Autoren ausgerechnet der „Diffusions-Uhr“ eine höhere Verlässlichkeit bescheinigen als radioaktiven „Uhren“.

VARDIMAN et al. (2005) erwähnen eine Reihe weiterer Befunde, etwa den Nachweis von Kohlenstoff-14 in Diamanten, und deuten diese zugunsten einer „jungen Erde“. ROGNSTAD (2005) macht dagegen deutlich, dass keiner der von den Autoren diskutierten Befunde an der Konstanz der Halbwertszeiten und an einem hohen Erdalter rütteln kann.

empirische Befunde dessen Reichweite einschränken. Aus metaphysischer Sicht ist dies die denkbar sparsamste Annahme (Nullhypothese). Wer sie anzufechten gedenkt, trägt die Begründungslast.

Geradezu lächerlich wirkt da der belehrende Hinweis, „Wissenschaft“ müsse „kritisch sein und bleiben“. Kritik ja, aber bitteschön durch Fakten untermauert! Wo sind KOTULLAs Belege für die Variabilität der Zerfallskonstanten? Es gibt sie überhaupt nicht! Wäre KOTULLA nur annähernd so kritisch wie es die Wissenschaften sind, wäre er kein Kreationist, denn für die Notwendigkeit (oder auch nur Möglichkeit!) einer tiefgreifenden Revision radiometrischer Datierungen spricht, um es zu wiederholen, absolut nichts.

Sind radiometrische Methoden unabhängig verifizierbar?

KOTULLA freilich ist nicht ungeschickt in seinem Bemühen, die Begründungslast auf die Schultern der Naturwissenschaften abzuwälzen, die seine metaphysisch aufwändige Ad-hoc-Annahme nicht teilen. Die „radiometrische Methode“, so KOTULLA, sei angeblich „nicht verifizierbar“, und dies sei „keine Nebensächlichkei“. Mehrere Autoren lässt er zu Wort kommen, die ihm bestätigen, dass „jede andere Methode versage“, wenn es um die absolute Datierung erdgeschichtlicher Zeitabschnitte gehe.⁷

Hängen die Altersangaben der Geochronologie, die unvorstellbare Zeiträume kosmischer Existenz verkünden, also in der Luft? Dass KOTULLA hauptsächlich Autoren aus den 1920er bis 1960er Jahren zitiert, ist bezeichnend, aber keineswegs überraschend. Denn erst in den darauffolgenden Jahrzehnten waren die technischen Möglichkeiten zur Entwicklung physikalischer Präzisions-Messverfahren gegeben, die unabhängig von radiometrischen Uhren die ermittelten Zeiträume der Geologie bestätigten.

Beginnen wir mit ein paar einfachen Beispielen: Seit etwa 1980 ermöglichen interkontinentale Radiointerferometer die direkte Bestimmung der Kontinental-Drift. Dabei fand man Driftgeschwindigkeiten zwischen den Platten von wenigen Zentimetern pro Jahr. Damit sich die Kontinente um Tausende Kilometer verschieben und ganze Gebirge auffalten können, braucht es sehr viel Zeit: Hunderte von Jahrmillionen. Ein Mechanismus, der dies auch im Rahmen weniger Tausend Jahre bewerkstelligen könnte, ist weder bekannt noch geologisch plausibel.

Ein besonders schönes Beispiel ist die Bremsung der Erdrotation durch den Mond. Anhand mancher Sedimente lässt sich nachweisen, dass die Länge eines irdischen

⁷ KOTULLA (2014) 4-22 Radiometrische Methode nicht verifizierbar. <https://tinyurl.com/5awpfc4r>.

Tags früher deutlich kürzer war als heute. Als „Tageszähler“ dienen Kalk ausscheidende Fossilien wie Korallen, Muscheln und Stromatolithen.

Interessant dabei ist, dass die Rate der Kalkfällung bei Korallen täglichen und jährlichen Schwankungen unterliegt. Bei Muscheln erfolgt die Kalkabscheidung nur während der Öffnung; sie variiert sowohl täglich als auch halbmonatlich. Es ergibt sich demnach ein periodisches Muster; die Anzahl der Tagesringe pro Jahr können in fossilen Korallen und Muscheln einfach ausgezählt werden. Zählt man beispielsweise die Tagesringe von Fossilien aus dem Devon, findet man, dass ein Jahr damals noch 400 Tage hatte, ein Tag somit nur 22 Stunden (vgl. dazu Abb. 4; KLÜGEL 2006).

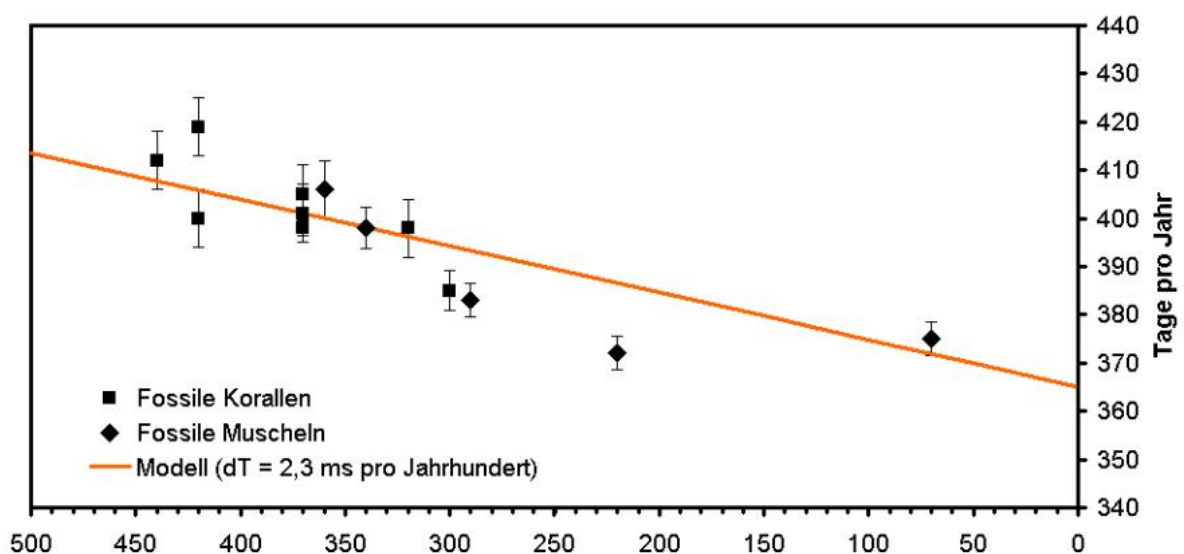


Abb. 4 Anzahl der Tagesringe pro Jahr in fossilen Korallen und Muscheln, aufgetragen gegen ihr Alter (in Jahrmillionen). Bildquelle: © Thomas KLÜGEL (2006), Geodätisches Informationszentrum Wettzel. <https://tinyurl.com/4w5wttrd>.

Wie ermittelt man daraus das Alter der Sedimente? Hochpräzisions-Messungen der Erde-Mond-Distanz mit dem Laser belegen eine jährliche Zunahme der Mondentfernung um 3,8 Zentimeter. Daraus lässt sich berechnen, wie stark die Verzögerung der Erdrotation durch die Gezeitenreibung ist: Im Mittel werden die Tage pro Jahrhundert um etwa 2,3 Millisekunden länger (STEPHENSON 2007, S. 44). Historische Aufzeichnungen über Sonnenfinsternis-Beobachtungen seit den Babyloniern vor 3.000 Jahren zeigen ebenfalls, dass die Länge eines Erdtages alle hundert Jahre um etwa zwei Millisekunden zunimmt (STEPHENSON et al. 2016). Bestimmt man anhand dieses Werts, wieviel Zeit verstrichen ist, seit der Tag nur 22 Stunden hatte, erhält man

ziemlich genau das allgemein akzeptierte Alter des Devons von 350 bis 400 Millionen Jahren. – Was zu beweisen war.⁸

Um die Zuverlässigkeit der Größenordnungen zu beurteilen, die geochronologische Datierungsmethoden durch Nuklidzerfall liefern, kann man sich auch astronomischer und kosmologischer Methoden bedienen. Das Alter von Sternen beispielsweise ermittelt man üblicherweise über ihren thermonuklearen Zyklus, das heißt über die nukleare Energieerzeugung. Die Berechnungen sind kompliziert, man benötigt dafür Massen- und Druckgleichungen, Gleichungen über den Energietransport usw. Anhand physikalischer Modelle lässt sich allerdings klar ermitteln, wie lange es dauert, bis ein Stern (in Abhängigkeit von seiner Masse) seinen Wasserstoffvorrat aufgebraucht hat.

Nach HERTZSPRUNG und RUSSELL besteht für die meisten Sterne eine lineare Beziehung zwischen absoluter Helligkeit und Masse (oder Temperatur): Je massereicher ein Stern ist, desto höher ist seine Oberflächentemperatur. Und je höher seine Temperatur ist, desto höher ist sein Energieumsatz und desto heller leuchtet er. Trägt man in einem Diagramm die absolute Helligkeit gegen die Masse (oder Temperatur) auf, liegen die meisten Sterne entlang einer Geraden, der so genannten „Hauptreihe“. Dort verweilt der Stern die meiste Zeit und fusioniert Wasserstoff in Helium. Anschließend verlässt er die Hauptreihe und entwickelt sich zu einem so genannten „roten Riesen“.

Dieser Sternentyp entsteht, wenn „Normalsterne“ einen bestimmten Teil ihres nuklearen Brennstoffs verbraucht haben und auf das so genannte „Heliumbrennen“ umsteigen. Dieser Punkt wird umso schneller erreicht, je größer die Anfangsmasse des Sterns war. Physikalischen Berechnungen zufolge entwickeln sich Sterne mit der Masse unserer Sonne nach etwa 10 Milliarden Jahren zu einem roten Riesen. Folglich sind Sternhaufen, die masseärmere Sterne dieses Typs enthalten, entsprechend älter.

Durch systematische Untersuchungen von Sternhaufen fand man nun heraus, dass eine Massenuntergrenze existiert, das heißt, man findet keine „roten Riesen“, die eine bestimmte Masse unterschreiten. Die Zeiträume, die man dabei ermittelt, sind für den Kreationismus nicht weniger schwer verdaulich als die radiometrischen Daten. Als Resultat findet man, dass die ältesten Sternhaufen zwischen 10 und 14 Milliarden Jahre

⁸ Zwar ist die Verzögerung der Erdrotation durch die Gezeitenwelle über Jahrmillionen hinweg gewissen Schwankungen unterworfen. Sie ändert sich in Abhängigkeit vom Meeresspiegel, der Geometrie der Ozeanbecken und von der Form des Planeten, die in Eis- und Warmzeiten variiert. Die relativ gleichförmige Abnahme der Tageslängen entlang der geologischen Formationen beweist aber, dass die mittlere Verzögerung der Erdrotation in den letzten 500 Mio. Jahren ungefähr dem heutigen Wert entsprach. Berechnungen zur Erde-Mond-Distanz zeigen ebenfalls, dass die jährliche Mondstanzänderung (und damit der Impulsübertrag von der Erde auf den Mond) in den letzten 500 Mio. Jahren nicht nennenswert vom heutigen Wert abwich (vgl. MEYERS & MALINVERNO 2018, S. 6367, Fig. 3).

alt sind. Bis vor wenigen Jahren lagen die Alter aus Kugelsternhaufen-Bestimmungen zwar deutlich über diesen Werten, doch Verbesserungen in den Sternmodellen und den Methoden zur Altersbestimmung haben diese Diskrepanz aufgehoben.

Die über den thermonuklearen Zyklus gewonnenen Altersdaten decken sich mit den **radiometrischen** Datierungen: Der zweitälteste Stern ist HE 1523-0901 mit einem Alter von 13,2 Mrd. Jahren. Sein Alter wurde über die Zerfallsreihe von Uran und Thorium in Kombination mit Neutroneneinfang bestimmt. Es korrespondiert zudem mit dem Alter des Universums – ein Datum, das man wieder nach einer anderen Methode bestimmte: der Analyse des kosmischen Mikrowellenhintergrundes.

Durch Auswertung der Daten, welche die Raumsonden WMAP und PLANCK geliefert haben, lässt sich das Alter des Kosmos sehr präzise auf $13,80 \pm 0,04$ Milliarden Jahren bestimmen. Dieser Wert ist nur wenig größer als das Alter, das man für die ältesten Sterne ermittelt hat; er bestätigt somit unabhängig von radiometrischen Methoden die frühesten Ereignisse auf kosmischer Zeitskala.

Wie man es auch dreht, KOTULLA und der Kreationismus stehen auf verlorenem Posten. Denn die Datierungsverfahren sind derart konsistent, dass an ihrer Zuverlässigkeit nicht zu rütteln ist. Wo dies bestritten und behauptet wird, Gott habe vor wenigen Jahrtausenden die Sternhaufen erschaffen, verlieren alle empirischen Daten an Bedeutung. In diesem Fall würde sich das gesamte, konsistente Theoriennetz der etablierten Naturwissenschaft – und mit ihm das rationale Begreifen dieser Welt – verflüchtigen. Denn dann wären „die gesamten in sich kohärenten, theoretisch verstehbaren Entwicklungsabläufe im Kosmos ... dieselbe Illusion wie das Alter der Sternhaufen“ (HEMMINGER 1988, S. 26).

Fehlerhafte Datierungen, die gibt es freilich

Wenn wir von „fehlerhaften Datierungen“ sprechen, sind damit nicht Fehler im Rahmen der üblichen Messungenauigkeit gemeint, also zufällig auftretende Schwankungen der Messgrößen um den wahren Wert, die bei allen Messverfahren auftreten. Vielmehr sind dies systematisch auftretende Abweichungen weit jenseits der üblichen Fehlergrenzen, die sich auch nicht bei wiederholter Messung im Mittel aufheben („herausmitteln“). Fehler entstehen beispielsweise durch *Metamorphose* (Erhitzen des Gesteins

über einen langen Zeitraum) oder durch Verunreinigung mit oder Verlust von Nukliden, die für die Altersbestimmung benutzt werden. Es kann auch nie ausgeschlossen werden, dass das Tochter-Nuklid bereits in einer bestimmten Anfangs-Konzentration im zu datierenden Gestein vorlag, die nicht auf radioaktiven Zerfall zurück zu führen ist. In diesem Fall würde die allgemeine Datierung ein zu hohes Alter liefern.

Doch es gibt leistungsfähige Methoden, um solche Fehler zu eliminieren. Etwa mit der **Isochronen-Methode** können die hier erwähnten Probleme der allgemeinen Datierung erkannt und umgangen werden. Systematische Fehler treten zwar auch hier auf, denn es gibt bekannte Vorgänge, die zu falschen Isochron-Altern führen können. Die überwältigende Mehrheit der Isochronen-Daten stimmt jedoch untereinander sowie auch mit den anderweitig erhobenen Daten über Alter und Geschichte der Erde präzise überein.

Wer gezielt nach fehlerhaften Datierungen sucht, wird freilich fündig; denn nicht immer beachten Wissenschaftler die Voraussetzungen einer Datierungsmethode. Zum Beispiel liefert die Datierung junger Gesteine mit der Kalium-Argon-Methode unsinnige Ergebnisse, da wegen der hohen Halbwertszeit nicht das Signal erfasst, sondern das Rauschen gemessen wird. Außerdem besteht die Gefahr des Eintrags von „mutterlosem“ Argon-40 – ein Problem, das heute mit der Argon-Argon-Methode umgangen wird.

Entsprechende Fehldatierungen, die insgesamt selten sind, werden von den Kreationisten selektiv in den Mittelpunkt gerückt. Man kann aber sicher sein, dass Altersbestimmungen fast immer korrekt sind, sofern mehrere Datierungsmethoden angewendet werden und die Probe nicht aufgrund von Metamorphose oder einem zu hohen Anteil von *Xenolithen* zu schwer zu datieren ist (WIENS 2002, S. 25).⁹

Fazit: Die Zuverlässigkeit radiometrischer Bestimmungsmethoden ist nicht wissenschaftlich anfechtbar...

...denn sonst hätten sich längst derart viele Inkonsistenzen ergeben, dass der Versuch, erdgeschichtliche und kosmische Ereignisse auch nur halbwegs einheitlich zu datieren, im Ansatz stecken geblieben wäre.

Die verschiedenen kosmischen und geochronologischen Datierungsmethoden führen unabhängig voneinander mehr oder weniger zu denselben Altersangaben, die wir heute für die Erde, die ältesten Sterne und Sternhaufen sowie den Kosmos – teils bis in den

⁹ *Xenolithe* sind mineralische Fremdeinschlüsse, die älter sind, als das zu datierende Gestein. Geologen können sie meist mit bloßem Auge erkennen.

Promille-Bereich genau – ermittelt haben. Die folgende Auflistung zeigt die Resultate einiger radiometrischer Altersbestimmungen von Meteoritenbestandteilen sowie von Gestein bzw. Mineralien von Erde und Mond (Abb. 5).

Proben	Methode	Ermitteltes Alter [in Millionen Jahren] Mittelwerte \pm Messfehler		
Meteoriten, DALRYMPLE 1991				
Allende	Ar/Ar	4520 \pm 20	4530 \pm 20	4480 \pm 20
Angra dos Reis	Sm/Nd	4550 \pm 40	4560 \pm 60	
Moama	Sm/Nd	4460 \pm 30	4520 \pm 50	
Mundrabilla	K/Ar	4500 \pm 60	4570 \pm 60	4540 \pm 40
Saint Severin	K/Ar	4430 \pm 40	4380 \pm 40	4420 \pm 40
Weekeroo Station	K/Ar	4540 \pm 30		
Meteoriten (Chondren/CAIs), AMELIN et al. 2002, SCOTT 2007		Alter des Sonnensystems		
Acfer 059	Pb/Pb	4564,7 \pm 0,6		
Efremovka	Pb/Pb	4567,2 \pm 0,6		
NWA 1296	Pb/Pb	4566,2 \pm 0,1		
Shallowater	Pb/Pb	4563,3 \pm 0,4		
Mond, KLEINE et al. 2005				
Gestein	Hf/W	4527 \pm 10		
Erde, WILDE et al. 2001		Alter der Erdkruste		
Zirkone	U/Pb	4408 \pm 8		

Abb. 5 Durchschnittliche Alterswerte verschiedener Meteoriten-Bestandteile sowie Mineralien und Gesteinsproben von Erde und Mond. Die „Methode“ gibt an, welche Nuklide für die Altersbestimmung herangezogen wurden (z. B. „K/Ar“ für den radioaktiven Zerfall von Kalium-40 zu Argon-40).

Die Ergebnisse repräsentieren die Entstehungsalter unseres Sonnensystems sowie von Mond und Erde. Wie man sieht, führen die verschiedensten radiometrischen Methoden (Kalium-Argon-Methode, Uran-Blei-Methode, Samarium-Neodym-Methode usw.) auch bei sehr unterschiedlichen Meteoriten- und Gesteinsproben immer wieder zu den allgemein akzeptierten Altern von Erde, Mond und Sonnensystem.

Würden all diese Rekonstruktionen keine realen Ereignisse bzw. Zeiträume widerspiegeln, wäre die Übereinstimmung der ermittelten Altersangaben nicht zu erklären.

Denn warum sollten sich die Zerfallskonstanten der verschiedenen für die Altersdatierung verwendeten Nuklide (Kalium-40, Rubidium-87, Uran-235, Uran-238 usw.) im Laufe der Zeit ausgerechnet immer so verändert haben, dass man voneinander unabhängig immer die gleichen übereinstimmenden Altersdaten für bestimmte Gesteine oder Ereignisse erhält? Vernünftige Erklärungen dafür hat man von KOTULLA und andere Kreationisten jedenfalls noch nicht gehört.

Und wie ist es zu erklären, dass Altersbestimmungen, die nicht auf radiometrischen Datierungen beruhen, wie die Auszählung von Tagesringen pro Jahr bei fossilen Korallen und Muscheln, die Ermittlung der Geschwindigkeit der Kontinentaldrift, die Auswertung des kosmischen Mikrowellenhintergrundes, Warvenanalysen usw. in schöner Regelmäßigkeit die radiometrischen Ergebnisse bestätigen?

Es ist wahr: Jede einzelne dieser Methoden ist fehleranfällig. Aber dass sich die Fehler gerade immer so „herausmitteln“, dass ein einheitliches, in sich stimmiges Bild der Erdgeschichte und kosmischen Entwicklung entsteht, obwohl es sich doch angeblich um illusionäre Zeiträume handelt, ist eines der größten ungelösten Rätsel des Kreationismus.

Der Kreationismus ist nicht nur mit der Evolutionsbiologie, sondern mit praktisch allen naturwissenschaftlichen Erkenntnissen aus Geologie, Relativitätstheorie und Kernphysik unvereinbar. Er ist eine irrationale, wissenschaftsfeindliche Strömung, unter der ein vernünftiges Betreiben von Naturwissenschaft kaum möglich ist. Hätte es dafür noch eines Beweises bedurft, KOTULLA hat ihn geliefert.

Danksagung

Für hilfreiche Sachhinweise danke ich ganz herzlich Prof. Klaus BLAUM vom Max-Planck-Institut für Kernphysik Heidelberg sowie PD Dr. Josef GASSNER von der Ludwig-Maximilians-Universität München. Prof. Andreas BEYER, Dr. Hansjörg HEMMINGER, Wolfgang JÄHNIG sowie Dr. Peter KAISER danke ich für kritisches Gegenlesen sowie für ihre Korrekturvorschläge.

Literatur

- AMELIN, Y. et al. (2002) Lead isotopic ages of chondrules and calcium-aluminum-rich inclusions. *Science* 297, 1678–1683.
- BARROW, J.D. (2011) *Das Buch der Universen*. Campus-Verlag, Frankfurt.
- BOSCH, F. et al. (1996) Observation of bound-state-beta-decay of full ionized Re-187: Re-187 – Os-187 cosmochronometry. *Physical Review Letters* 77, 5190-5193.
- BOWLES, C. (2004) If the speed of light can change. <https://www.eurekalert.org/news-releases/848149>. Letzter Zugr. a. 08.06.2022.
- DALRYMPLE, G.B. (1991) *The age of the earth*. Stanford University Press, Stanford.
- GANDO, A.; Dwyer, D. A.; MCKEOWN, R. D. & ZHANG, C. (2011) Partial radiogenic heat model for Earth revealed by geoneutrino measurements. *Nature Geoscience* 4, 647–651.
- HEMMINGER, H. (1988) *Kreationismus zwischen Schöpfungsglaube und Naturwissenschaft*. EZW Orientierungen und Berichte Nr. 16. Stuttgart.
- KLEINE, T. et al. (2005) Hf-W chronometry of lunar metals and the age and early differentiations of the moon. *Science* 310, 1671–1674.
- MCGRATH, A. (2001) *Naturwissenschaft und Religion*. Freiburg.
- MEYERS, S.R. & MALINVERNO, A. (2018) Proterozoic Milankovitch cycles and the history of the solar system. *PNAS* 115, 6363-6368.
- ROGNSTAD, M. (2005) Creationism and accelerated decay. <https://tinyurl.com/yc5u4aj9>. Letzter Zugr. a. 08.06.2022.
- SCOTT, E.R.D. (2007) Chondrites and the protoplanetary disk. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 35, 577–620.
- SNELLING, A. (2005) Radiohalos in granites: Evidence for accelerated nuclear decay. In: VARDIMAN, A. et al. (Hg.), 101-208.
- STASSEN, C. (1997) Datierung nach der Isochron-Methode. <https://tinyurl.com/hfvd74jp>. Letzter Zugr. a. 08.06.2022.
- STEPHENSON, F.R. (2007) Warum die Tage länger werden. *Spektrum der Wissenschaft* 10, 44.
- STEPHENSON, F.R.; MORRISON, L.V. & HOHENKERK, C.Y. (2016) Measurement of the Earth's rotation: 720 BC to AD 2015. *Proc. R. Soc. A* 472, 20160404.
- VARDIMAN, L.; SNELLING, A. & CHAFFIN, E. (2005) *Radioisotopes and the age of the earth, Volume II*. Institute for Creation Research. El Cajon, California.
- WIENS, R.C. (2002) Radiometric dating. A Christian perspective. <https://www.asa3.org/ASA/resources/wiens.html>. Letzter Zugr. a. 14.06.2022.
- WILDE, S. A. et al. (2001) Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the earth 4.4 Ga ago. *Nature* 409, 175–178.