

# Entgegnung auf Roger Wiens Artikel „Radiometrische Altersbestimmungen – Eine christliche Sicht“ und „Wie alt ist nun das Gestein?“

*Michael Kotulla*

Roger WIENS versucht in seinen Arbeiten darzulegen, dass radiometrische und andere (nicht-radiometrische) Altersbestimmungsmethoden, die sich auf geologische Objekte beziehen, verlässliche Alter liefern: je nach Methode und Anwendungsbereich Alter von „< 100.000 Jahre“ bis zu „4,5–4,6 Milliarden Jahre“.

Der Verfasser dieser Entgegnung zeigt demgegenüber auf, dass es zur Beurteilung der Validität einer Altersbestimmungsmethode bzw. der ermittelten Alterswerte einer umfangreichen Analyse bedarf, die u. a. Ziel, historische Entwicklung, Basisannahmen, Einschränkungen und Probleme, Kalibrierung und Verifizierung evaluiert. Diese Analyseschritte vollzieht WIENS (2002b, 2016) nicht.

*Bona fide* präsentiert WIENS (2002b, 2016) die „hervorragende Übereinstimmung“ der Altersergebnisse radiometrischer und nicht-radiometrischer Altersbestimmungsmethoden oder eine vermeintlich korrekte radiometrische Altersbestimmung des Ausbruchs des Vesuv (79 n. Chr.).

Der Verfasser entgegnet WIENS (2002b, 2016), dass a) zahlreiche Altersbestimmungsmethoden aufeinander abgestimmt sind – also deshalb übereinstimmende Ergebnisse liefern – und b) führende Altersbestimmungsmethoden nicht verifiziert werden können – also nicht bekannt ist, wie sich deren Alterswerte zu realem Alter verhalten. Zu (a) gehört beispielsweise der Komplex Warven – Eisbohrkerne – Baumringe – Radiokarbon<sup>1</sup>, zu (b) gehören beispielsweise die Uran-Blei-Methode oder die Radiokarbonmethode (> 5000 <sup>14</sup>C-Jahre).

## Vorgehensweise und Gliederung

[1] Dieser Diskussionsbeitrag behandelt zwei Arbeiten von Dr. Roger C. WIENS: Der Artikel *Radiometrische Altersbestimmungen – Eine*

*christliche Sicht* (2002b) wird auf der Website *schoepfung-durch-evolution.de* angeboten. Das englische Original *Radiometric Dating – A Christian Perspective* (2002a) wird über die Website der *American Scientific Affiliation (ASA)*<sup>2</sup> ausgegeben.<sup>3</sup> Der Artikel *Wie alt ist nun das Gestein?* (2016), Original: *So Just How Old Is That Rock?*,<sup>4</sup> ist das 9. Kapitel des Buches *The Grand Canyon – Monument to an Ancient Earth*.<sup>5</sup>

[2] Die Entgegnung fokussiert in der Hauptsache auf einen – oder den – wesentlichen Fragenkomplex: Wie können wir wissen, dass geologische Altersbestimmungsmethoden gültige (valide) Ergebnisse liefern? Hierzu werden die Darlegungen und Argumente von WIENS präsentiert und diskutiert.

[3] Zur Gliederung: Im Hauptteil wird zuerst auf die neuere, dann auf die ältere Publikation eingegangen.<sup>6</sup> Schließlich werden die Ergebnisse zusammengefasst und unter „Abschließende Bemerkung“ eine Empfehlung ausgesprochen.

## Zu Wiens (2016)

[4] WIENS (2016) behandelt folgende Themen: Funktionsweise der radiometrischen Altersdatierung; Radiokarbon-Datierung; Verlässlichkeit der radiometrischen Datierung; Datierung magmatischer Gesteine des Grand Canyon. Unter der Zwischenüberschrift „Wie verlässlich ist radiometrische Datierung?“ nennt WIENS (2016, 93f) drei Hauptpunkte, die hier unter [5] bis [7] diskutiert werden.

[5] **Phänomen des radioaktiven Zerfalls, gemessene Halbwertszeiten und heutige Nutzung radioaktiver Isotope.** Zu Beginn des Abschnitts heißt es: „Radioaktive Materialien haben viele verschiedene Anwender, insbeson-

<sup>1</sup> Als Methoden ausgedrückt: warvenchronologische Methode, eiskernchronologische Methode, Dendrochronologie, Radiokarbonmethode.

<sup>2</sup> Eine christliche Organisation, gegründet 1941; siehe <https://network.asa3.org/>.

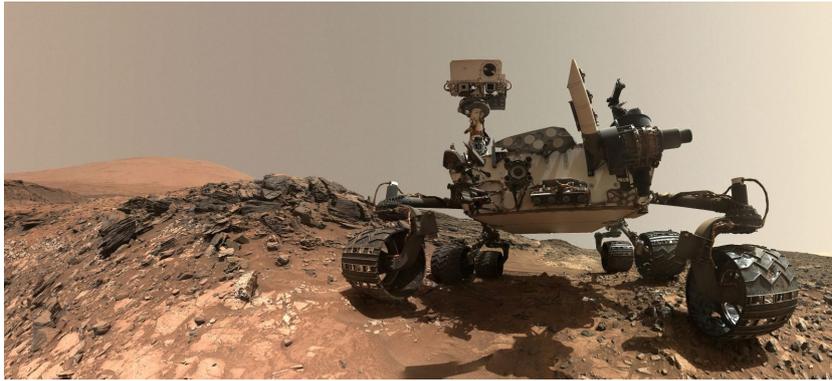
<sup>3</sup> Auch zur ASA in Beziehung stehende Organisationen oder Personen bieten den Artikel über ihre Websites an; darüber hinaus gibt es zahlreiche Verlinkungen zum Artikel der

ASA-Website.

<sup>4</sup> Zitierte Passagen sind vom Verfasser übersetzt worden.

<sup>5</sup> Da hier nur einzelne Passagen aus WIENS (2002b, 2016) zitiert werden, empfiehlt der Verfasser, diese Artikel vollumfänglich zu lesen.

<sup>6</sup> Der häufige Mangel an konkreten Quellenangaben hat die Bearbeitung deutlich erschwert oder in Teilen nicht möglich gemacht.



**Abb. 1** Mars-Rover *Curiosity*, „Selfie“ vom 5. August 2015. Die Energieversorgung erfolgt mit einer Radionuklidbatterie (43 kg). Sie enthält 4,8 kg Plutoniumdioxid; durch den  $\alpha$ -Zerfall des Plutoniumisotops  $^{238}\text{Pu}$  (Halbwertszeit 87,7 Jahre) wurde anfänglich eine Wärmeleistung von 2000 W erzeugt (U.S. Department of Energy 2006). Zur Größe: Radbreite etwa 40 cm. Foto / Credit: NASA/JPL-Caltech/MSSS.

dere in der Medizin und bei der Stromerzeugung. Die Halbwertszeiten sind konstant geblieben und haben sich in diesen Industrien über einen langen Zeitraum als vertrauenswürdig erwiesen. Der Mars-Rover, an dem ich arbeite und der jetzt durch die Marslandschaft zieht, wird von einem Plutonium-Isotop angetrieben, das eine Halbwertszeit von 88 Jahren hat (Abb. 9-8). Wenn wir das Glück haben, den Rover noch so lange in Betrieb zu haben, können wir sicher sein, dass er die Hälfte der Wärmeenergie haben wird, die er jetzt hat. Die Vertrautheit mit radiometrischen Halbwertszeiten in verschiedenen Industrien gibt uns das Vertrauen, sie zur Bestimmung des Alters von Gesteinen zu verwenden.“<sup>7</sup>

Historisch betrachtet werden radiometrische Alter seit 1913 verwendet, um geologische Zeitskalen zu erstellen (HOLMES 1913). Das erste kommerzielle Kernkraftwerk ging 1954 ans Netz (Obninsk, damalige Sowjetunion). Die Nuklearmedizin etablierte sich in den 1950er-Jahren (vgl. z. B. LOTTES & SCHÖBER 2000). Insofern hat der von WIENS (2016, 93) dargestellte Zusammenhang „Vertrautheit schafft Vertrauen“ (letzter Satz der zitierten Passage) nicht bestanden; er ist konstruiert. Denn lange vor der „Vertrautheit mit radiometrischen Halbwertszeiten in verschiedenen Industrien“ war die radiometrische Methode bereits etabliert.

Es ist offensichtlich, dass Kerntechnik oder Nukleartechnologie – wie der Betrieb des Mars-Rover (Abb. 1) – nur funktionieren kann, wenn die Halbwertszeiten, die wir heute messen, stabil (konstant) und damit vorhersagbar sind. Die Grundfrage nach der Konstanz des radioaktiven Zerfalls ist so alt wie die ersten radiometrischen Altersbestimmungen. 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).

Der Verfasser stellt zu dieser Frage fest: Es kann nicht nachgewiesen werden, dass die Zerfallskonstanten während der gesamten Erdgeschichte und in jeder Umgebung gleichgeblieben sind. Demzufolge kann über die Gültigkeit (Validität) der Ergebnisse radiometrischer Datierungen im Sinne einer Angabe über die reale Zeit keine Aussage getroffen werden. 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.<sup>8</sup>

#### [6] Radiometrische Datierung historischer Ereignisse: Vesuv-Eruption (79 n. Chr.).

WIENS (2016, 93) fährt fort: „Es besteht auch Übereinstimmung zwischen den Daten, die für antike historische Ereignisse aufgezeichnet wurden, und den radiometrischen Altern, die für Gesteine oder andere Objekte von diesen Ereignissen gemessen wurden. Das wohl bekannteste Beispiel ist der Ausbruch des Vesuv in Italien vor fast 2000 Jahren, der 79 n. Chr. die Städte Pompeji und Herculaneum zerstörte (Abb. 9-9). Die durch diesen Ausbruch entstandenen Gesteine wurden mit der Argon-Argon-Methode bis auf wenige Jahre zu dem Ereignis korrekt datiert.“

<sup>7</sup> R. WIENS gehört zur MSL (Mars Science Laboratory) Project Science Group und verantwortet als PI-Mitglied das ChemCam-Instrument des Mars-Rover *Curiosity* (GROTZINGER et al. 2012). ChemCam, Laser-Induced Remote

Sensing for Chemistry and Micro-imaging (Laserinduzierte Fernerkundung für Chemie und Mikrobildgebung); siehe WIENS et al. (2012).

<sup>8</sup> Siehe KOTULLA (2020b, Blatt 4-10).



**Abb. 2** Gartenansicht der ausgegrabenen Villa von Oplontis (auch Villa Poppaea genannt), heutiges Torre Annunziata, westlich des antiken Pompeji. Mitte und vorne rechts sind die meterhohen Tephra-Ablagerungen der Vesuv-Eruption von 79 n. Chr. noch erhalten. Foto: Miguel HERMOSO CUESTA, 2013 (Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0).

WIENS (2016) bezieht sich auf einen *Science*-Artikel von RENNE et al. (1997). Danach lieferte die Datierung von Sanidin-Phänokristen<sup>9</sup> einer Bims-Probe von der durch den Ausbruch im Jahre 79 n. Chr. verschütteten Villa von Oplontis (Abb. 2) ein übereinstimmendes Ergebnis: Ein  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Alter von  $1925 \pm 94$  Jahren vor heute im Vergleich zu kalendarisch 1918 Jahren vor heute (jeweils bezogen auf 1997). Dieses prominent ausgewiesene  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Alter aber war zuvor korrigiert worden, nämlich um einen überschüssigen Argon-Anteil, der sich aus dem bekannten (wirklichen) Alter der Probe ermitteln ließ. Ohne diese Korrektur hätte das  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Verhältnis einem Alter von  $3300 \pm 500$  Jahren entsprochen (siehe KOTULLA 2016).

Die  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Methode ist eine relative Datierungsmethode (JOURDAN et al. 2014, 2). Die Alter werden auf einen Mineral-Standard „bekanntes“ Alters zurück referenziert (z. B. Fish Canyon Tuff, ca. 28 Millionen radiometrische Jahre). Des Weiteren erfolgen bei der Interpretation der Daten gegebenenfalls Korrekturen wie im Falle der Datierung der Vesuv-Eruption. Mit der Argon-Argon-Methode ist also eigenständig (d. h. ohne Kalibrierung) – so wies es WIENS (2016) darstellt – *kein* valides Ergebnis produziert worden. Weitere Beispiele einer mutmaßlichen „Übereinstimmung“ liefert WIENS (2016) nicht.

## [7] Plattentektonik und Spreizungsraten.

<sup>9</sup> Sanidin: ein Silikat mit der chemischen Zusammensetzung  $(\text{K,Na})[(\text{Si,Al})_4\text{O}_8]$ ; Phänokristen: Einsprenglinge, makroskopisch sichtbare Kristalle, die aus der gleichen Schmelze auskristallisiert sind wie die (sehr) feinkörnige Grundmasse.

<sup>10</sup> Zuvor werden von WIENS (2016, 94) als Annahmen aufgeführt: Keine Veränderung der radioaktiven Zerfallsrate im Laufe der Zeit; die Systeme bleiben geschlossen; die Gestei-

ne werden nicht zu stark erhitzt; die Proben sind nicht kontaminiert worden. Zu den Basisannahmen der radiometrischen Methode siehe auch KOTULLA (2020b), Blätter 4-01 und 4-03.

WIENS (2016, 94) schreibt: „(...) Wenn wir unsere Annahmen wirklich nicht testen könnten, könnte unser Vertrauen in die Zuverlässigkeit der Ergebnisse wirklich verdächtig sein. Die Behauptung, dass diese Annahmen<sup>10</sup> nicht überprüfbar sind, ist jedoch völlig falsch. [Absatz] Eine einfache Methode zum Testen von Annahmen und zur Verifizierung der Genauigkeit der radioaktiven Datierung nutzt unser Wissen über die Plattentektonik – die Bewegung von Platten, aus denen die äußere Erdkruste besteht. (...) Wenn wir die Entfernung zwischen Kontinenten messen, können wir die Entfernung und das maximale Alter verwenden, um die durchschnittliche Trennungsrates zu ermitteln. Entlang des Pfeils der Karte<sup>11</sup> (5600 Kilometer über 180 Millionen Jahre [Distanz Nordamerika zu Nordafrika, MK]) ergibt dies eine durchschnittliche Rate von 3,1 Zentimeter pro Jahr.“ Über die Zeit hätten die Raten nur leicht variiert, zwischen 2,8 und 4,3 Zentimeter pro [radiometrisches] Jahr.

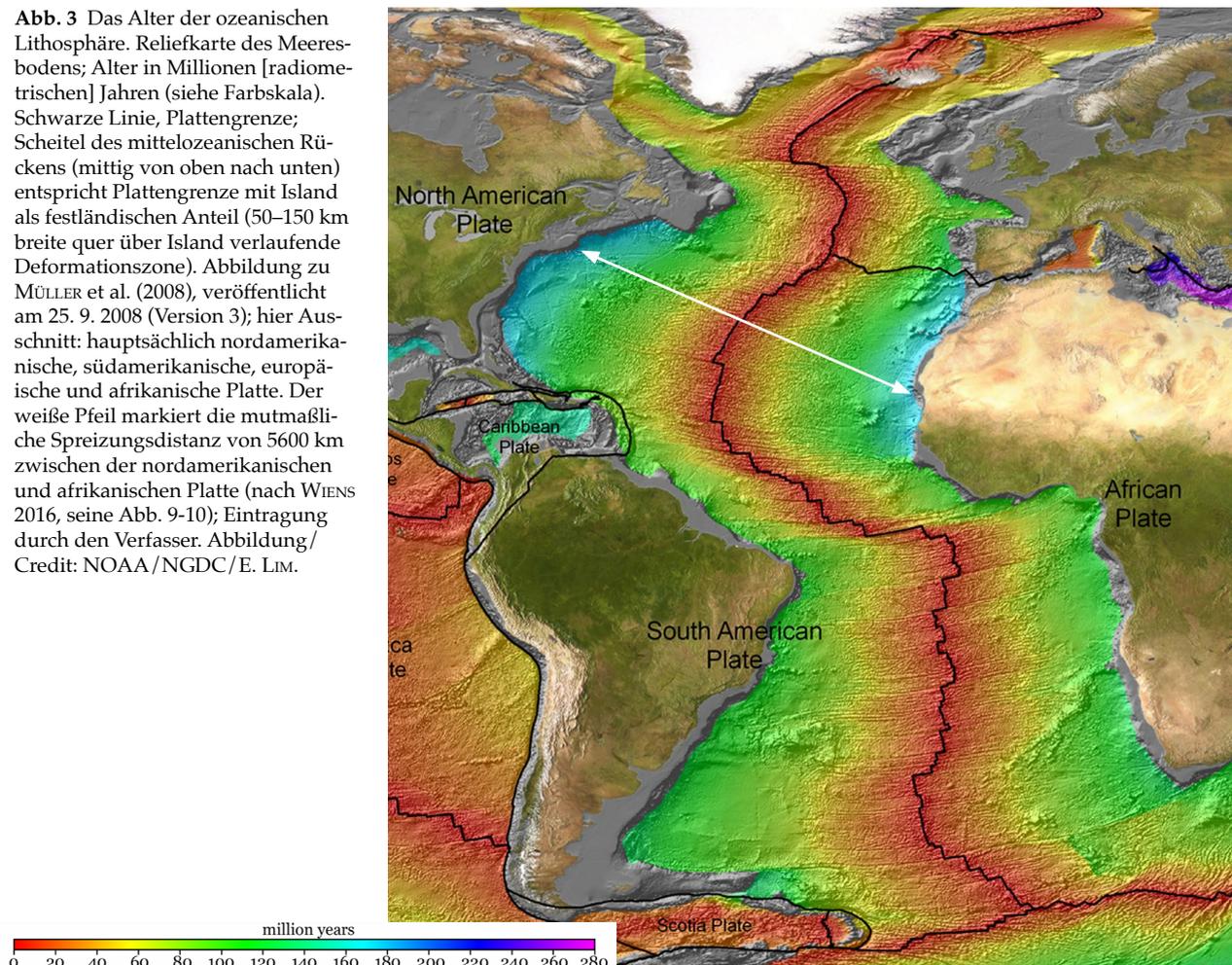
WIENS (2016, 94) weiter: „Nun der Test. Satellitenstationen auf verschiedenen Kontinenten ermöglichen präzise Entfernungsmessungen bis zu einer Größenordnung von Zentimetern oder weniger. Langzeitmessungen der relativen Positionen von Nordamerika und Nordafrika dokumentieren eine aktuelle Spreizungsrate von ungefähr 2,5 Zentimeter pro Jahr, ein Wert, der in bemerkenswerter Übereinstimmung mit den radiometrisch bestimmten Raten ist.“<sup>12</sup>

ne werden nicht zu stark erhitzt; die Proben sind nicht kontaminiert worden. Zu den Basisannahmen der radiometrischen Methode siehe auch KOTULLA (2020b), Blätter 4-01 und 4-03.

<sup>11</sup> Seine Abb. 9-10.

<sup>12</sup> Die Spreizungsraten (? und auch das Beispiel) sind wohl DAVIDSON (2009) entnommen, Seiten 116–119 (siehe HILL et al. 2016, 217).

**Abb. 3** Das Alter der ozeanischen Lithosphäre. Reliefkarte des Meeresbodens; Alter in Millionen [radiometrischen] Jahren (siehe Farbskala). Schwarze Linie, Plattengrenze; Scheitel des mittelozeanischen Rückens (mittig von oben nach unten) entspricht Plattengrenze mit Island als festländischen Anteil (50–150 km breite quer über Island verlaufende Deformationszone). Abbildung zu MÜLLER et al. (2008), veröffentlicht am 25. 9. 2008 (Version 3); hier Ausschnitt: hauptsächlich nordamerikanische, südamerikanische, europäische und afrikanische Platte. Der weiße Pfeil markiert die mutmaßliche Spreizungsdistanz von 5600 km zwischen der nordamerikanischen und afrikanischen Platte (nach WIENS 2016, seine Abb. 9-10); Eintragung durch den Verfasser. Abbildung/ Credit: NOAA/NGDC/E. LIM.

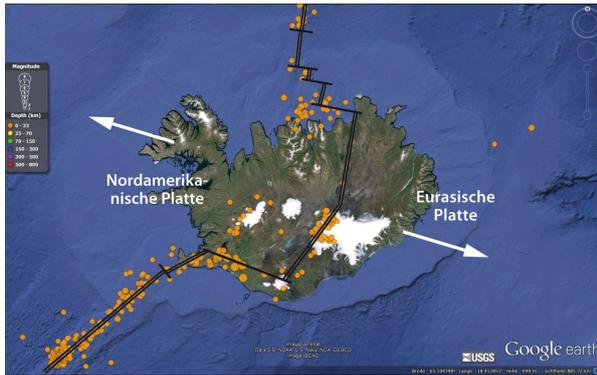


Nach dem plattentektonischen Konzept bewirkt auf- bzw. nachströmendes Mantelmaterial einer langgestreckten Aufrisszone (hier Mittelatlantischer Rücken) das Auseinanderdriften und Anwachsen von Lithosphärenplatten.<sup>13</sup> Aus der mutmaßlichen Drift-Distanz (gesamt 5600 km, s. o.; Abb. 3) und dem Beginn des Auseinanderdriftens (vor 180 Millionen radiometrischen Jahren; oberstes Unterjura) kann rechnerisch eine durchschnittliche Spreizungsrate von 3,1 cm pro radiometrisches Jahr ermittelt werden. Die heutige Spreizungsrate von ungefähr 2,5 Zentimeter pro Jahr ist mit der rechnerisch ermittelten Spreizungsrate in „bemerkenswerter Übereinstimmung“ (s. o.); daher ist es vielleicht naheliegend – wie es WIENS (2016) macht – im Weiteren zu folgern, dass mit dieser Übereinstimmung radiometrische Alterswerte bzw. „radioaktive Datierung“ genau und implizit valide sind. Allerdings ist der Vergleich ungenügend; er bezieht die jeweilige geologische Intensität nicht mit ein wie nachfolgende Fallbeispiele zeigen.

<sup>13</sup> Lithosphäre: Erdkruste und äußerster (oberster) Teil des Erdmantels.

a) Island und Flutbasalte. Island bildet den einzigen größeren, festländischen Anteil des Mittelatlantischen Rückens (Abb. 4); aufgrund dieser Ausnahmesituation können die magmatischen Gesteine und der Aufbau der Insel gut untersucht werden (vgl. KOTULLA 2014). Die für Island errechnete durchschnittliche Spreizungsrate von etwa 3,4 cm pro radiometrischem Jahr (Basis: 480 km Breite, ältesten Gesteine im Nordwesten und Osten der Insel mit 14 Millionen radiometrischen Jahren) ist nominal zwar höher als die aktuell gemessene Spreizungsrate von 2,0 cm pro Jahr (HJARTARSON & ISOR 2003), aber immer noch in derselben Größenordnung. Insofern ist die Situation vergleichbar mit dem Beispiel von WIENS (2016).

Wird der rezente Vulkanismus in Island jedoch mit dem älteren, neogenen Vulkanismus verglichen, zeigen sich deutliche Unterschiede in der Ausbildung und insbesondere in der Intensität. An der Ostküste beispielsweise können zur Inselmitte einfallende (4–7°) miozäne Lavastapel (Abb. 5) bis zu einer Mächtigkeit von > 3 km (KRISTJANSSON et al. 1995) zusammengesetzt werden.



**Abb. 4** Definition der nordamerikanisch-eurasischen Plattengrenze. Die Karte weist alle Erdbeben der Magnitude 4 und größer für den Zeitraum 1984-2013 aus. Die mittelatlantische Plattengrenze wird durch den „linienhaften“ Verlauf der Epizentren der Erdbeben definiert. Der USGS legt (schematisch) eine enge Grenzzone über Island, der Grenzbereich hat allerdings eine Ausdehnung von bis zu 150 km (vgl. KOTULLA 2014). Der Scheitelgraben des mittelatlantischen Rückens hat in Island über eine Ausdehnung von etwa 350 km seinen einzigen festländischen Anteil. Es schließen im SW der Reykjanes-Rücken, im N der Kolbeinsey-Rücken, an. Bild: Google Earth, Bildbreite etwa 1.050 km; Daten und Grenzziehung: USGS (earthquake.usgs.gov), geologischer Dienst der USA; Einfügungen durch den Verfasser (einfache Linie: Transformstörung; doppelte Linie: divergierende Plattengrenze).

Die kürzlich von ÓSKARSSON & RIISHUUS (2013) untersuchten Basalt-Einheiten im Osten erstrecken sich in Nord-Süd-Richtung über > 80 bzw. > 50 km und umfassen im Durchschnitt etwa 20 bzw. 40 Lavaströme mit Dicken von < 2 bis > 30 m bei einer Gesamtmächtigkeit von jeweils bis zu 250 m. Einzelne Ströme erreichen eine Länge von bis zu 20 km. Es dominieren spalteninduzierte basaltische Lavaergüsse (Flutbasalte), die sich durch hohe Effusionsraten, geringe Viskosität und extrem rasche Ausbreitung über Zehner und Hunderte Kilometer auszeichnen; ihre Ergüsse sind Ereignisse von sehr kurzer Dauer. Die reine Bildungszeit der ca. 60 Lavaströme mit einem Gesamtvolumen von etwa 200 km<sup>3</sup> schätzen ÓSKARSSON & RIISHUUS (2013) unter Annahme einer (moderaten) Effusionsrate von 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/s auf etwa 7 Jahre (ihre Tabelle 5).

Die Zeitperiode zwischen den Eruptionen allerdings errechnen sie zunächst aus der radiometrisch vorgegebenen Zeitspanne von 220.000 ± 190.000 [radiometrischen] Jahren und ermitteln auf Basis von insgesamt 72 Lavaströmen (deren Bildungszeit vernachlässigend) eine durchschnittliche Eruptionspause von gerundet

400 bis 5700 bzw. 3100 ± 2600 [radiometrischen] Jahren.<sup>14</sup> Aus der Vollständigkeit der internen Struktur der Lavaströme am Top, dem Fehlen einer Verwitterung und der hohen direkten Kontakttrate von Lavaström zu Lavaström schließen ÓSKARSSON & RIISHUUS (2013) aber auf eine kurze Zeitperiode zwischen den Eruptionen.

Diese semi-quantitative Analyse zeigt eine im Vergleich zu heute um Größenordnungen (Zehnerpotenzen) höhere vulkanische Intensität an; folglich ist auch von einer um Größenordnungen höheren Spreizungsrate während der Bildungszeit der o. g. Basalt-Einheiten auszugehen (siehe KOTULLA 2015b).

b) Plattentektonik: Subduktion, Kollision, Stillstand. Die aktuelle globalgeologische Situation wird mit Stillstand oder Quasi-Stillstand beschrieben, so zum Beispiel von MARTHALER (2005): „Aus der Luft ist dieses fast zum Stillstand gekommene Abtauchen der europäischen Platte unter die Alpen noch sichtbar (...)“. Für die Kollision von Platten (Schollen) im Konzept der Plattentektonik gebraucht FRANKE (2002, 35) für die europäischen Kontinentalschollen das Bild einer Auto-Karambolage: „Die euro-



**Abb. 5** Abfolge miozäner Flutbasalte im äußersten Osten Islands, Höhe 500–700 m; Küstenabschnitt nördlich Djúpivogur. Die Deckenergüsse mit Dicken im Meter- und Zehnermeter-Bereich halten hier über mehrere Kilometer aus und haben vermessene Reichweiten von > 80 km. Foto: M. KOTULLA.

<sup>14</sup> Gleichmaßen hatten KRISTJANSSON et al. (1995) zuvor aus einer vorgegebenen Zeitspanne von etwa 3 Millionen [radiometrischen] Jahren, ebenfalls unter Zugrundelegung einer Vernachlässigung der Bildungszeit der Laven, Eruptionspausen in der Größenordnung von 10.000 [radiometrischen] Jahren ermittelt. Ihre zusammengesetzten, > 3 km mächtigen Profile aus der Umgebung der Fjorde

Mjofifjörður und Seyðisfjörður bestehen aus bis zu 240 Ergüsseinheiten mit teilweise zwischenliegendem „rötlichem äolischem Sediment“; innerhalb der Abfolgen werden mindestens 19 geomagnetische Polaritätswechsel gemessen und einem konkreten Abschnitt der Polaritätszeitskala (Chronen C5ABn bis C5n.2n) zugewiesen (aktuelle Skala siehe GRADSTEIN et al. 2020, Table 5.3). – Siehe KOTULLA (2015b).

päischen Kontinentalschollen sind bei ihrem Zusammenstoß wie Autos bei einer Massenkarambolage zusammengestaucht worden, die damit einhergehenden Veränderungen machen es schwer die ehemaligen Schollen zu rekonstruieren. Zudem haben sie sich teilweise auch um 700 km übereinander geschoben.“

Nicht umsonst wird FRANKE dieses eindrückliche Bild gewählt haben. Eine Auto-Karambolage (im übertragenen Sinne) dieses Ausmaßes erfordert mindestens eine Geschwindigkeit von 80 km/h oder mehr. Bei einer Geschwindigkeit von 0,8 km/h wäre es zwar zu einem Zusammenstoß, aber nicht zu einer nennenswerten Stauchung gekommen. Bei einer angenommenen Kollisionsgeschwindigkeit von Schollen von 2 cm/Jahr (= 0,00023 cm/h) ist ein Zusammenstauchen höchst unwahrscheinlich. Es bedurfte vermutlich zeitweise um etliche Größenordnungen höhere Geschwindigkeiten.

Bei der „bemerkenswerten Übereinstimmung“ – „aktuelle Spreizungsrate“ und „radiometrisch bestimmte Raten“ – scheint es sich hinsichtlich der nominalen Werte um eine zufällige Koinzidenz zu handeln. Die „bemerkenswerte Übereinstimmung“ taugt aber nicht – wie diskutiert – für eine Verifizierung radiometrischer Alter bzw. der „radioaktiven Datierung“.<sup>15</sup>

## Zu Wiens (2002b)

[8] WIENS (2002b) behandelt zusammengefasst folgende Themen: Phänomen des radioaktiven Zerfalls und Radionuklide; Funktionsweise der radiometrischen Altersbestimmung, verschiedene radiometrische Methoden und Beispiele; das Alter der Erde; kosmogene Radionuklide und Radiokarbon-Datierung; andere (nicht-radiometrische) Altersbestimmungsmethoden wie Eiskerndatierung, Warven- oder Baumringchronologien; Glaubwürdigkeit der radiometrischen Datierung; verbreitete Missverständnisse zu radiometrischen Datierungstechniken.

[9] Unter der Zwischenüberschrift „Können wir den Datierungstechniken wirklich trau-

en?“ schreibt WIENS (2002b, 25f): „Die Übereinstimmung vieler verschiedener sowohl radiometrischer als auch nicht-radiometrischer Datierungsmethoden bei mehreren hunderttausend Proben ist ein äußerst überzeugender Hinweis auf die Vertrauenswürdigkeit der Altersbestimmungen.“ In diesem Zusammenhang und zur Frage der „Glaubwürdigkeit“<sup>16</sup> gibt er Folgendes zu bedenken (verkürzte Wiedergabe).

a) Der Gebrauch von über 40 radiometrischen Datierungsmethoden und weiterer nicht-radiometrischen.

b) Die Übereinstimmung der verschiedenen Datierungsmethoden bzw. der ermittelten Alterswerte.

c) Die Unmenge von Daten (radiometrische Datierungen), die von mehreren Hundert Laboren weltweit produziert werden: Hunderttausende, publizierte Altersbestimmungen der letzten 50 Jahre; „nahezu alle deuten auf eine ‚alte‘ Erde hin“.

d) Die Beobachtung der Konstanz der Zerfallsraten seit ihren erstmaligen Bestimmungen (umfasst teilweise einen Zeitraum von bis zu 100 Jahren).

e) Die Überprüfung von Langzeit- und Kurzzeit-Datierungsmethoden anhand der Datierung von Laven historisch bekannten Alters.

f) Einfache mathematische Beziehungen zur Ermittlung der [radiometrischen] Alter aus den Beobachtungsdaten.

Die einzelnen Punkte werden zur Weiterbearbeitung gegliedert oder kurz kommentiert.

Zu a) Dieser Sachverhalt trägt zur Frage der Validität nicht bei. WIENS (2002b, 14) teilt nicht mit, ob alle der „über 40 radiometrischen Datierungsmethoden“ auch in der Praxis systematisch angewendet werden. Diese Situation liegt wohl auch nicht vor; vielmehr ist eine Konzentration auf wenige Methoden zu beobachten, z. B.: Zur Erstellung des Altersmodells für die Geologische Zeitskala 2020 sind 81 % U-Pb- und 18 % Ar-Ar-Alterswerte (im Vergleich 2004: 54 % und 45 %) verwendet worden (siehe SCHMITZ 2020, Appendix 2). WIENS (2002, 14) zufolge hat sich das Uran-Blei-System

Warum glauben Sie, dass Abraham Lincoln überhaupt gelebt hat? Weil man doch wohl einen äußerst ausgeklügelten Plan bräuchte, um seine Existenz zu erfinden, einschließlich gefälschter Berichte, gefälschter Fotos und diverser anderer Dinge. Außerdem gibt es keinen triftigen Grund, ihn einfach zu erfinden. Die Situation bei der Datierung von Gesteinen ist sehr ähnlich, nur dass wir dabei ‚Gesteinsdokumente‘ anstatt historischer Dokumente haben. (...)“

<sup>15</sup> Es ist des Weiteren anzumerken, dass die seit Beginn der 1990er-Jahre begonnenen Messreihen mit Hochpräzisions-GPS viel zu kurz sind, um Langzeit-Trends zu evaluieren.

<sup>16</sup> WIENS (2002b, 25) schreibt vor seiner Aufzählung: „Dennoch fragen einige Christen, ob so weit in die Vergangenheit zurück reichende Aussagen glaubwürdig sein können. Meiner Ansicht nach verhält es sich aber ähnlich wie mit der Glaubwürdigkeit anderer Ereignisse der Vergangenheit. Der Unterschied ist meines Erachtens nur graduell.“

„als weniger zuverlässig erwiesen als viele der anderen Datierungssysteme.“<sup>17</sup> Diese Aussage steht – mit Blick auf die Konstruktion der geologischen Zeitskala – im Widerspruch zur Praxis.

Zu b) Siehe hierzu nachfolgende Diskussionen: Eiskerne, eiskernchronologische Methode – [10] bis [13]; Warven, warvenchronologische Methode – [14]; Baumringe, Dendrochronologie – [15]; Kohlenstoff-14, Radiokarbon-Methode – [16]; Fallbeispiel zur Synchronisation von Datierungsergebnissen – [17]; Radiometrische Datierung, Kalibration bzw. Verifizierung – [18].

Zu c) Dieser Sachverhalt trägt zur Frage der Validität nicht bei; siehe auch Diskussion unter [5] oben.

Zu d) Zur Grundfrage der Konstanz des radioaktiven Zerfalls siehe Diskussion unter [5] oben.

Zu e) Hierzu wird von WIENS (2002b) lediglich ein Fall angeführt, nämlich die Datierung von Tephra des Vesuv-Ausbruchs (79 n. Chr.). Die Datierung erfolgte mit der Argon-Argon-Methode („Langzeit-Datierungsmethode“, seine S. 20) – siehe Diskussion unter [6] oben – sowie der Jahresschichtenzählung mit Eisbohrkernen („Kurzzeit-Datierungsmethode“, seine S. 23) – siehe Diskussion unter [10] bis [13] unten.

Zu f) Dieser Sachverhalt trägt zur Frage der Validität nicht bei; „einfache mathematische Beziehungen“ erleichtern allerdings eine Nachvollziehbarkeit der Rechenoperationen.

**[10] Eisbohrkerne und Eiskerndatierung: Abzählung von „Jahresschichten“.** WIENS (2002b, 23) trägt vor: „Eine kontinuierliche Schichtenzählung konnte bis 160.000 Jahre zurück in die Vergangenheit erreicht werden“ (siehe auch seine Tabelle 3). Und zwei Sätze weiter: „Wenn man im Eisbohrkern weiter nach unten kommt, ist das Eis stärker verdichtet als nahe der Oberfläche und die einzelnen Jahresschichten sind

etwas schwieriger zu bestimmen. Aus diesem Grund besteht eine gewisse Unsicherheit, wenn man sich 100.000 Jahren nähert. Bei Altern von 40.000 Jahren oder weniger werden die Unsicherheiten bzw. Abweichungen auf höchstens 2 % geschätzt. Alter von 60.000 Jahren können um bis zu 10 % abweichen und bei Altern von 110.000 Jahren, die auf eine direkte Zählung der Schichten basieren, steigt die Unsicherheit auf 20 % (D. Meese et al., *J. Geophys. Res.* 102. (1997). S. 26,411).“

Die „160.000 Jahre“ kontinuierliche Schichtenzählung entnimmt WIENS (2002b, 23) ebenfalls der Arbeit von MEESE et al. (1997), dort ihre Tabelle 2 (S. 26413) oder am Schluss (S. 26422)<sup>18</sup>.

Auf Basis ihrer „Jahresschichtenzählung“ datierten MEESE et al. (1994)<sup>19</sup> den GISP2-Eiskern<sup>20</sup> bis in eine Tiefe von 2800 m auf 85.000 [Eiskern-] Jahre. SOWERS et al. (1993) allerdings erhielten für das Alter des Eises in 2800 m Tiefe „110.000 Jahre“ – durch Einphasung (Einpassung) der  $\delta^{18}\text{O}$ -GISP2-Daten<sup>21</sup> in die marine SPECMAP-Zeitskala<sup>22</sup> (radiometrisch geeicht). Die offensichtliche Diskrepanz führte durch MEESE und GOW zu einer Nachprüfung des Abschnitts zwischen 2300 und 2800 m und einer Nachmessung mit einer höheren LLS-Auflösung<sup>23</sup> (1 mm anstelle 8 mm); sie wiesen dann – passend zu SOWERS et al. (1993) – zusätzliche 25.000 „Jahre“ aus (MEESE et al. 1997).<sup>24</sup> RAM & KÖNIG (1997, 26647) konnten sogar noch nachlegen: Für die tiefsten rund 200 GISP2-Eiskernmeter interpretieren sie die Staubpartikel-Signale je nach Auflösung der Apparatur (1 mm vs. 0,5 mm) als 66.000 „Jahresschichten“ oder über 120.000 „Jahresschichten“.

Es zeigt sich zweierlei (siehe KOTULLA 2019b): Die gewünschte Anzahl von Signalen (Ausschlägen) kann über die Auflösung (bzw. Kontrasteinstellung bzw. -verstärkung) der Apparatur eingestellt werden. Erst durch eine

<sup>17</sup> „Das Uran-Blei-System in seiner einfachen Form, das U-238, U-235 und Th-232 nutzt, hat sich als weniger zuverlässig erwiesen als viele der anderen Datierungssysteme“ (WIENS 2002b, 14).

<sup>18</sup> „Schichtenauszählungen über 300/m wurden im tiefsten Eis gemessen und ein geschätztes Alter von 161.000 Jahren BP wurde bei 3030 m gewonnen, mit einem unbekanntem Fehler“ (MEESE et al. 1997, 26422); in Übersetzung.

<sup>19</sup> Werte (ungerundet) gemäß Bericht: „83736 yr BP – 2800 m (...) 85055 yr BP – 2810 m“ (MEESE et al. 1994, 66).

<sup>20</sup> GISP2: Greenland Ice Sheet Project 2.

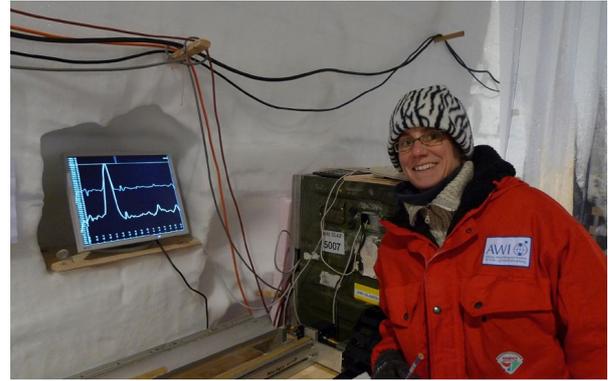
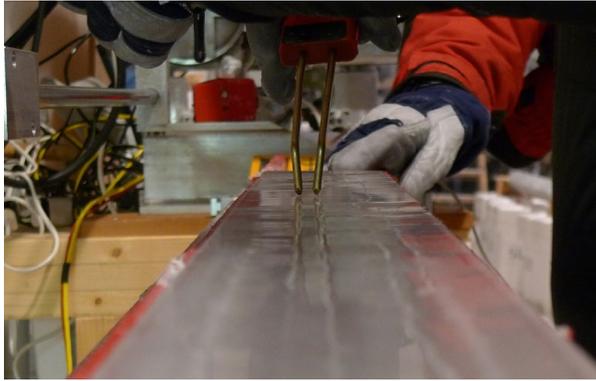
<sup>21</sup>  $\delta^{18}\text{O}$ : Sauerstoffisotopenverhältnis; Verhältnis von schweren zu leichten Isotopen in Relation zu einem internationalen Standard,  $\delta^{18}\text{O} = \left( \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{Probe}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{Standard}}} - 1 \right) \times 1000 \text{ ‰}$ . Die Isotopen-Konzentrationen werden am Eiskernmaterial systematisch bestimmt.

<sup>22</sup> SPECMAP: Spectral Mapping (Projekt), in den 1980er-

Jahren entwickelte Standardchronologie/-zeitskala für den Sauerstoffisotopenbericht mariner Sedimente. Die Kompositkurve ist radiometrisch geeicht, geglättet, gefiltert und auf astronomische Zyklen getuned (eingephasst). – Zu astronomischen Zyklen siehe KOTULLA (2015a).

<sup>23</sup> LLS, Laser Light Scattering; Verfahren zur Messung der Staubkonzentration. RAM & KÖNIG (1997) erstellten für den GISP2-Eiskern das Staubpartikel-Profil für den Tiefenabschnitt > 1678 m (Prä-Holozän).

<sup>24</sup> „(...) below 2500 m the number of LLS layers was consistently higher than the number identified by visible stratigraphy, based on the peaking characteristics of the LLS record.“ Und: „This average was then compared to the Sowers-Bender correlated timescale and showed a maximum difference of 1.1% with an age of approximately 111,000 years B.P.“ (MEESE et al. 1997, 26419).



**Abb. 6** Messung der elektrischen Leitfähigkeit (ECM). Links: Messung direkt am Eiskern. Rechts: Grafische Datenpräsentation; der ECM-Ausschlag auf dem Bildschirm wird als vulkanisches Signal (volcanic spike) gedeutet, einem Säure-Niederschlag (acid-fall) einer explosiven Vulkaneruption. Fotos: Sepp KIPFSTUHL, 2010; NEEM ice core drilling project, <http://www.neem.ku.dk>.

zeitliche Rahmenvorgabe, eine zeitliche (hier: radiometrisch begründete) Eichung, wird die Apparatur passgenau eingestellt; sodann werden die Signale mit „Jahresschichten/Jahren“ assoziiert bzw. als solche interpretiert. In diesem Fall handelt es sich um radiometrische Jahre.

Die „gewisse Unsicherheit“ bei der Bestimmung der „einzelnen Jahresschichten“, die WIENS (2002b, 23) darlegt – mit der Tiefe zunehmend: erst 2, dann 10 und schließlich 20 % –, soll wohl Vertrauen in die Datierungsmethode wecken. Aber, so isoliert dargestellt, wird der Kern nicht erfasst; die Signale werden so lange interpretiert, bis sie zahlenmäßig – dann als Jahresschichten interpretiert – in einen bestehenden radiometrischen Altersrahmen eingepasst werden können (siehe oben und [13]).

**[11] Eisbohrkerne und Eiskerndatierung: vulkanische Referenzhorizonte.** WIENS (2002b, 23) zufolge dient „eine Reihe historisch bekannter Eruptionen bis zurück zum Ausbruch des Vesuvs vor fast 2000 Jahren (...) als Bezugspunkte, mit denen die Genauigkeit der gezählten Schichten bis zu einer Tiefe von rund 500 Metern bestimmt werden kann.“ Er bezieht sich wahrscheinlich weiterhin auf Publikationen zum über 3 km langen GISP2-Eisbohrkern (wie [10]), der von 1989–1993 vom grönländischen Eisschild gewonnen wurde (MEESE et al. 1997, ALLEY et al. 1997, ZIELINSKI et al. 1994).

Die vulkanischen Referenzhorizonte werden in Tabelle 1 von MEESE et al. (1997) gelistet (Eruptionsdatum in Klammern, jeweils n. Chr.):<sup>25</sup> Katmai (1912), Laki (1783), Huaynapu-

tina (1600), Öraefajökull (1362), 1259-Ereignis (1259), Hekla (1104), Eldgja (934) und Vesuv (79). Nach VINTHER (2006) befindet sich der Vesuv-Referenzhorizont im GISP2-Eiskern in 453,42 m Tiefe (siehe Tabelle 5).

Stand damals waren nur die Eruptionen von Laki, Öraefajökull und Eldgja durch den analytischen Vergleich von Tephrapartikeln<sup>26</sup> nachgewiesen (ZIELINSKI et al. 1997, 26630). Die anderen Eruptionen sind prominenten Aziditätsspitzen (sehr hohe  $\text{SO}_4^{2-}$ -Konzentrationen bzw. ECM-Ausschlägen<sup>27</sup>, Abb. 6) – interpretiert als vulkanische Säureniederschläge – zugewiesen worden, auf Basis eines „best guess“. Das heißt, dass die Eruption des Vesuv in grönländischen Eiskernen nicht nachgewiesen war. Die Verwendung dieser mutmaßlich durch den Vesuv-Ausbruch verursachten Aziditätsspitze als historisch genauen Bezugspunkt ist wissenschaftlich-methodisch mehr als fraglich. Es hinterlässt zumindest oberflächlich den Eindruck – siehe WIENS (2002b) –, dass die Vesuv-Eruption von 79 n. Chr. wirklich nachgewiesen sei. WIENS (2002b), der damit die Validität der Zählung der Eiskern-„Jahresschichten“ für die letzten 2000 Jahre demonstrieren will, ist dieser „Ungenauigkeit“ aufgesessen.

Stand heute sind durch den analytischen Vergleich von Tephrapartikeln in grönländischen Eiskernen folgende historische Eruptionen nachgewiesen: Novarupta-Katmai (Alaska, 1912; COULTER et al. 2012), Öraefajökull (Island, 1362; COULTER et al. 2012), Samalas (Indonesien, ? 1257; LAVIGNE et al. 2013) und Changbaishan (China/Nordkorea, ? ca. 940–950; SUN et al.

<sup>25</sup> Die Tabelle ist wie folgt überschrieben: „List of Volcanoes as Tie Points to Verify the Dating of the GISP2 Core Throughout Recorded History.“

<sup>26</sup> Tephra: Pyroklastika; Auswurfprodukte einer explosiven vulkanischen Eruption; Komponenten nach zunehmender

Korngröße: Asche (< 2mm), Lapilli (2-64 mm) sowie Blöcke und Bomben (> 64 mm). Hier sehr kleine Aschenpartikel.

<sup>27</sup> ECM: Electrical Conductivity Measurement, Messung der elektrischen Leitfähigkeit.

2014). Für den Abschnitt vor ca. 940 n. Chr. ist bislang kein historisch bekannter Vulkanausbruch nachgewiesen; dies betrifft insbesondere die Eruptionen von Vesuv (79 n. Chr.) und Thera (? 1500–1650 v. Chr.). Demzufolge kann die Grönland-Eiskernchronologie, die 2005 etabliert worden ist (VINTHER et al. 2006), bislang nur bis in das 10. nachchristliche Jahrhundert verifiziert und bestätigt werden (siehe KOTULLA 2019b).

[12] **Eisbohrkerne und Eiskerndatierung: kosmogene Radionuklide  $^{36}\text{Cl}$  und  $^{10}\text{Be}$ .** WIENS (2002b, 23) führt weiter aus: „An mindestens einem Ort wurden mit Hilfe der kosmogenen Radionuklide Chlor-36 und Beryllium-10 absolute Alter von 75.000 Jahren bestimmt (G. Wagner et al., *Earth Planet. Sci. Lett.* 193. (2001). S. 515). Diese stimmen mit Eisgangmodellen<sup>28</sup> und den Jahresschichtenzählungen überein.“

WAGNER et al. (2001) haben versucht, mit den kosmogenen Radionukliden  $^{36}\text{Cl}$  und  $^{10}\text{Be}$  die originale Akkumulationsrate (Eis-Äquivalent) in Zentral-Grönland für die letzten „75.000 Jahre“ zu rekonstruieren. Dabei sind sie wie folgt vorgegangen: a) Synchronisation der modifizierten Kurve der magnetischen Feldintensität der letzten „75.000 Jahre“ – gewonnen aus Tiefseebohrkernen des Nordatlantiks (NAPIS-75<sup>29</sup>, LAY et al. 2000) – mit der Sauerstoffisotopen-Kurve des GRIP-Eiskerns<sup>30</sup> der letzten „75.000 Jahre“. b) Zusammenstellung einer Radionuklid-Kurve aus 600  $^{36}\text{Cl}$ -Konzentrationsmessungen (GRIP-Eiskern: Tiefe 1850–2600 m, etwa 17.500–75.000 Eiskernjahre BP<sup>31</sup>) und  $^{10}\text{Be}$ -Konzentrationsmessungen (GISP2-Eiskern, etwa 3200–38.000 Eiskernjahre BP) und Berechnung der relativen Akkumulationsrate aus dem mutmaßlichen Eintrag von  $^{36}\text{Cl}$  und  $^{10}\text{Be}$  (abgeleitet von der modifizierten Kurve der magnetischen Feldintensität) und der jeweiligen Konzentration von  $^{36}\text{Cl}$  und  $^{10}\text{Be}$ . Als Ergebnis erhalten sie eine Kurve der Akkumulationsrate, die mit der Kurve von JOHNSON et al. (1995) für die letzten „60.000 Jahre“ im Wesentlichen übereinstimmt, für den Skalenbereich „60.000–75.000 Jahre BP“ Werte, die bis doppelt so hoch sind. Insgesamt liegt die Akkumulationsrate in einem Schwankungsbereich zwischen 8 cm und 32 cm Eis pro Eiskernjahr.

WAGNER et al. (2001) haben – entgegen der Aussage von WIENS (2002b) – mit den kosmogenen Radionukliden  $^{36}\text{Cl}$  und  $^{10}\text{Be}$  kein *absolutes* Alter von „75.000 Jahren“ bestimmt. Sie haben in dem durch radiometrische Alter vorgegebenen Rahmen von 75.000 radiometrischen Jahren operiert. Insofern werden auch die Eisflussmodelle und mutmaßlichen Jahresschichtenzählungen nicht durch ein *absolutes* Alter oder Altersmodell, das mit den kosmogenen Radionukliden  $^{36}\text{Cl}$  und  $^{10}\text{Be}$  gewonnen wurde, verifiziert. Zur Eiskerndatierung siehe [13].

[13] **Eisbohrkerne und Eiskerndatierung: Praxis der Eiskerndatierung (grönländischer Eisschild).** Es folgt zur Klarheit eine Zusammenfassung darüber, wie Eiskerndatierung in der Praxis durchgeführt wird (aus KOTULLA 2019b).

Eisbohrkerne des grönländischen Inlandeises erlauben über geochemische Indikatoren (Chemo-, Isotopenstratigraphie) und vulkanische Aschenlagen (Tephrostratigraphie) eine Einbindung in die Quartärstratigraphie (oberstes Pleistozän, Holozän). Die Datierung von Eiskernen erfolgt hierarchisch, in drei Schritten.

a) Klimatostratigraphische Korrelation und Verankerung in die Quartärstratigraphie.

b) Übernahme von zwei radiometrisch geeichten Altersfixpunkten der quartärgeologischen Zeitskala und Übertragung auf konkrete Ereignispunkte der Eissäule, Konstruktion (Approximation) einer meter- bzw. „jahrgenaue“ Tiefen-Alters-Beziehung durch Kalkulation unter Anwendung eines physikalischen Eisflussmodells.

c) „Jahresschichtenzählung“: Die Anzahl auszuweisender Einzel-„Jahre“ ist durch die radiometrische Eichung im Wesentlichen vorbestimmt. Durch Fixierung der notwendigen Skalen- bzw. „Jahre“einheiten über entsprechende Auflösungen stratigraphischer und/oder physikochemischer Signale wird eine „jahrgenaue“ Zeitskala konstruiert (Eiskernchronologie). Ohne den Nachweis in der Hauptsache erbracht zu haben, werden die Signale mit „Jahren“ und „Jahresschichten“ assoziiert bzw. als solche interpretiert.

Bei den Altersangaben zu den ältesten Abschnitten der gewonnenen Eiskerne, ca. 90.000

<sup>28</sup> Gemeint sind Eisflussmodelle; eine Unschärfe in der Übersetzung. Im Original: „ice flow models“ (WIENS 2002a, 17).

<sup>29</sup> NAPIS-75: North Atlantic palaeointensity stack; Kompilierte, nordatlantische Paläointensität für die letzten „75.000

Jahre“.

<sup>30</sup> GRIP, Greenland Ice Core Project; die Bohrlokalität liegt 28 km östlich GISP2.

<sup>31</sup> BP: before present, Bezugsjahr ist 1950.

bis 250.000 Jahre, handelt es sich nicht um Kalenderjahre, sondern um radiometrische bzw. radiometrisch geeichte „Jahre“. Dasselbe gilt für das Datum der Pleistozän/Holozän-Grenze, das am GRIP-Eiskern formal definiert ist; die 11.700 [Eiskern-] Jahre sind <sup>14</sup>C-begründet. Es ist nicht bekannt, in welcher Beziehung <sup>14</sup>C-Alter und andere radiometrische Alter dieser Größenordnung zum realen Alter stehen (zur Dendrokalibration der <sup>14</sup>C-Alter siehe KOTULLA 2019a).

Davon differenziert zu betrachten sind die Sauerstoffisotopen-Feinoszillationen, die sich vom Top des Eisschildes je nach Lokalität bis einige Hundert Meter Tiefe erhalten haben. Hier ist eine echte jahreszeitliche Prägung wahrscheinlich. Eine unabhängige Verifizierung – z. B. durch die Identifizierung von vulkanischen Aschenlagen historisch bekannten Alters – hat bislang eine punktuelle Bestätigung der Validität der Grönland-Eiskernchronologie-2005 zurück bis in das 10. nachchristliche Jahrhundert ergeben. Für den restlichen Teil dieses oberen Abschnitts steht eine Verifizierung jedoch noch aus.

Die Eiskerndatierung in ihrer Gesamtheit ist folglich weder ein unabhängiges noch ein absolutes Datierungsverfahren. Eine absolute Datierung durch Zählung von nachweislich echten Jahresschichten ist nicht gegeben.

[14] **Warven und warvenchronologische Methode.** WIENS (2002b) führt aus: Mit dieser „Datierungstechnik“ wurden „Warvenabfolgen bis auf etwa 35.000 Jahre zurück gemessen“ (S. 24); des Weiteren „kann die Kohlenstoff-14-Methode über die Warvenzählung kalibriert werden“ (S. 19). WIENS (2002b) nennt in diesem Zusammenhang keine Referenzen; möglicherweise bezieht er sich direkt oder indirekt – weil er mehrmals „40.000 Jahre“ erwähnt<sup>32</sup> – auf den *Radiocarbon*-Artikel von KITAGAWA & VAN DER PLICHT (1998), in Übersetzung: *Eine Warvenchronologie der letzten 40.000 Jahre vom Suigetsu-See, Japan: Ausweitung der <sup>14</sup>C-Kalibrationskurve*.

Die Aussage von WIENS (2002) ist also, dass an feingeschichteten Sedimentfolgen – sofern eine Warvierung<sup>33</sup> vorliegt – von der Gegenwart

beginnend von oben nach unten kontinuierlich Jahresschichten abgezählt werden können, die aufaddiert 35.000 oder gar 40.000 [Warven-] Jahre ergeben.

Der Verfasser hat mehrere dieser Unternehmungen der Etablierung von langen Warvenchronologien analysiert (KOTULLA 2020b; in der Folge mit Angabe der jeweiligen Blatt-Nummer):<sup>34</sup> Totes Meer (MIGOWSKI 2001; Blatt 3-20), Suigetsu-See (KITAGAWA & VAN DER PLICHT 1998, BRONK RAMSEY et al. 2012; Blatt 3-21) sowie Holzmaar und Meerfelder Maar in der Eifel (ZOLITSCHKA 1988, 1990; KOTULLA 2016). In allen Fällen war festzustellen, dass ein Nachweis einer jahreszeitlichen Prägung (Warvierung) der feingeschichteten Sedimente – entgegen der Behauptung der Autoren – nicht erbracht worden ist. Des Weiteren war festzustellen, dass die konstruierten „Warven“ chronologien nicht unabhängig (d. h. eigenständig) entwickelt worden waren; sie wurden in den <sup>14</sup>C-Altersrahmen eingepasst. Im Falle des Suigetsu-Sees – nunmehr erweiterte Chronologie bis „50.000 Jahre“ zurück (BRONK RAMSEY et al. 2012) – basieren die „50.000 Jahre“ nicht auf einer Abzählung von (echten) Jahresschichten bzw. einer jahreszeitlichen Auflösung. Die „50.000 Jahre“ werden von den <sup>14</sup>C-Jahren abgeleitet und mit Kalenderjahren gleichgesetzt; siehe auch [17]. Bei dem von WIENS (2002b) „konkret“ dargelegten Fall einer „Warvenabfolge“, an welcher 35.000 Jahre oder 40.000 Jahre abgezählt werden können, handelt es sich um eine nicht verifizierte Konstruktion. Wie viele Jahre die feingeschichtete Sedimentfolge des Suigetsu-Sees repräsentiert, ist nicht bekannt. Zu Gültigkeit und Grenzen der warvenchronologischen Methode siehe KOTULLA (2020b), Blatt 3-01.

[15] **Baumringe und Dendrochronologie.** WIENS (2002b) führt aus, dass die Kohlenstoff-14-Methode durch eine kontinuierliche Baumringchronologie „bis auf 11.800 Jahre zurück in die Vergangenheit“ kalibriert ist (S. 18). Weiter heißt es, dass die „Methusalem[s] der Bäume“, die Grannenkiefern<sup>35</sup>, „bis zu 6.000 Jahre lang

<sup>32</sup> Zum Beispiel: „Die Kalibrierkurven für die Abschnitte, die sich bis zu 40.000 Jahre hin erstrecken, sind relativ neu, sollten aber inzwischen ebenfalls weithin angenommen worden sein“ (WIENS 2002b, 20).

<sup>33</sup> Jahreszeitliche Prägung der Sedimentation; z. B. Hell-/Dunkel-Lagencouplets, die Bildungen eines Jahres repräsentieren. Eine jeweilige jahreszeitliche Prägung ist nachzuweisen.

<sup>34</sup> Weitere Analysen liegen vor für Süd- und Mittelschweden (DE GEER 1912; Blatt 3-10) und – hinsichtlich einer Warveninterpretation eozäner Seesedimente – für das Eckfelder

Maar in der Eifel (MINGRAM 1994; Blatt 3-40) und für den Messelsee (GOTH 1990; KOTULLA 2015c), heutige Grube Messel bei Darmstadt und UNESCO-Weltnaturerbe.

<sup>35</sup> Die Langlebige Kiefer (*Pinus longaeva*) wurde vor 1971 als Varietät der Grannen-Kiefer (*Pinus aristata*) angesehen, danach als eigene Art. Erstere ist in Utah, Nevada und Ostkalifornien verbreitet, dort als „Great Basin bristlecone pine“ bezeichnet. Um diese Art handelt es sich hier. Letztere ist in Colorado, New Mexico und Arizona verbreitet, dort als „Rocky Mountain bristlecone pine“ bezeichnet.



**Abb. 7** Borstenkiefern (*P. longaeva*) im „Ancient Bristlecone Pine Forest“ in den White Mountains, Kalifornien. In diesen Baumgruppen sollen die ältesten Bäume wachsen, mit Altern bis zu etwa 4900 Jahren (siehe Textteil). Beachte bei dem Individuum im Vordergrund die komplexe Wuchsform und die Borke, die nur noch teilweise vorhanden ist. Höhe über 3300 m NN; Foto: Janine SPROUT, 2017 (Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0).

leben“. WIENS (2002) nennt in diesem Zusammenhang keine Referenzen; möglicherweise bezieht er sich auf den Hauptartikel in der Fachzeitschrift *Radiocarbon* zu der damals aktuellen Radiokarbon-Kalibrationskurve IntCal98<sup>36</sup> (STUIVER et al. 1998). In der gleichen Ausgabe wird in einem Artikel von SPURK et al. (1998) für den Hohenheimer Jahrringkalender als Startjahr 11.871 [Dendro-] Jahre BP (vor 1950) angegeben.<sup>37</sup>

WIENS (2002) legt also dar, dass ein Abzählen von Jahren über Baumjahrringe – sofern eine lückenlose, zusammengesetzte Baumringchronologie vorliegt – bis 11.800 [Dendro-] Jahre vor heute möglich ist.<sup>38</sup> Diese Alter seien „mit absoluter Sicherheit“ bestimmt. Da diese Hölzer <sup>14</sup>C enthielten, seien <sup>14</sup>C-Bestimmungen möglich – mit Bezug auf die Kalibrierung der Radiokarbon-Zeitskala.

<sup>36</sup> IntCal, international calibration; hier die atmosphärische Kurve für die nördliche Hemisphäre. Die Ziffer bezieht sich auf den Zeitpunkt der Herausgabe; 98 = 1998.

<sup>37</sup> Offensichtlich hat sich danach die gerundete Zahl „11.800“ eingepreßt, so z. B. LANPHERE (2002): „The amount of offset between <sup>14</sup>C ages and calendar ages has been calibrated for the past 11,800 years by measuring <sup>14</sup>C ages on wood for trees for which true ages could be determined by counting yearly growth rings.“

<sup>38</sup> Aktuell bis etwa 12.380 [Dendro-] Jahre vor heute (REINIG et al. 2018).

<sup>39</sup> WP, Wheeler Peak (3982 m); der Standort war nahe der Baumgrenze südlich der Gipfelregion.

<sup>40</sup> Alter aus BROWNS aktueller Liste („OLDLIST“): <http://www.rmtr.org/oldlist.htm> (Zugriff Feb. 2021; letzte Aktualisierung 2019?).

<sup>41</sup> Siehe hierzu z. B. KOTULLA (2020b), Blatt 5-13.

<sup>42</sup> Siehe hierzu beispielsweise SCHULMAN (1958), Abbildung auf S. 363 sowie Begleittext.

<sup>43</sup> CURREY (1965), der Original-Bearbeiter von WPN-114, schreibt: „The tree-ring series contains both distinctively

BROWN (1996) listet als älteste Bäume zwei Borstenkiefern (*P. longaeva*) mit einem Alter über 4000 Jahre: WPN-114<sup>39</sup> (Prometheus), 4900 Jahre (gefällt 1964), von Nevada und Methusela(h), 4850 Jahre (noch lebend), in den White Mountains (Kalifornien).<sup>40</sup> Das jeweilige Alter wurde mit der Methode der Kreuzdatierung ermittelt.<sup>41</sup> Kiefern, „die bis zu 6.000 Jahre lang leben“ – wie es WIENS (2002, 18) darstellt – sind nicht publiziert worden. Aber auch das Alter von nahezu 5000 Jahren ist fraglich und möglicherweise zu hoch; denn ob a) die komplizierten Wuchsformen dieser zwei Borstenkiefern richtig entschlüsselt wurden<sup>42</sup> (vgl. Abb. 7) und b) die folglich durchgeführten Kreuzkorrelationen valide sind, ist unklar und nach Kenntnis des Verfassers bisher nicht reproduziert bzw. verifiziert worden.<sup>43,44</sup>

Der Verfasser hat die relevanten Unternehmungen der Erstellung von langen Baumjahrringchronologien analysiert (KOTULLA 2019a; Tab. 1): Kalifornische Borstenkiefernchronologie (FERGUSON 1969); Belfast-Eichenchronologie (PILCHER et al. 1984, BROWN et al. 1986); Hohenheimer Jahrringkalender (FRIEDRICH 2004). Zusammenfassend ist u. a. festzustellen: Die Konstruktion der langen Abschnitte der Baumringchronologien erfolgte ausnahmslos direkt oder indirekt mit <sup>14</sup>C-Vordatierungen von Baumring-Proben. Das heißt die Konstruktion erfolgte nicht ausschließlich – unabhängig – mit der dendrochronologischen Methode („Prinzip der Kreuzdatierung“).

WIENS (2002b, 18) allerdings legt eine ausschließliche, unabhängige Entwicklung der Chronologien mit dem „Prinzip der Kreuzdatierung“ dar: „Diese Bäume wuchsen in einer sehr trockenen Region nahe der Grenze zwischen

thin (microscopic) rings and difficult-to-count incomplete (locally absent) rings. The two parts of the section overlapped and were readily matched using a long ring sequence common to both. The derived radius measures 2,280 mm to the pith, 100 inches above the original base, and encompasses 4,844 counted rings. Mean ring width is 0.47 mm.“ – Dem Verfasser ist nicht bekannt, dass diese Interpretation reproduziert und verifiziert worden ist. Des Weiteren sind die Jahrringbreiten-Rohdaten und alle notwendigen Informationen und Daten zur Konstruktion der Einzel-Baumringchronologie (4844 gezählte Jahrringe) nicht veröffentlicht. Auch C. H. BAISIN hat seine Schätzung nicht publiziert; siehe *Keepers of Prometheus: The world's oldest tree* (Herbst 2014): <https://arizonaalumni.com/article/keepers-prometheus-world%E2%80%99s-oldest-tree/>; oder: <https://eu.azcentral.com/story/news/local/best-reads/2015/10/04/worlds-oldest-tree-tucson-warehouse-possibility-prometheus-tree/73211730/>

<sup>44</sup> Als Referenz gibt BROWN keine Facharbeit an, lediglich die Namen Ed SCHULMAN und Tom HARLAN.

**Tab. 1** Lange Baumringchronologien, die Proben- und Datensätze für die Dendrokalibration der Radiokarbon-Zeitskala liefern oder in der Vergangenheit geliefert haben. Wegen des Bezugsdatums BP (before present, vor heute: = 1950) sind die damaligen „Ende“-Daten mitunter rechnerisch

Baumringchronologie	Dendro-Zeitskala [Dendrojähre BP]		Länge [Dendrojähre]	Referenz
	Start	Ende		
Kalifornische Borstenkiefernchronologie	7092	-12	7104	FERGUSON (1969)
Belfast-Eichenchronologie	7238	-34	7272	BROWN et al. (1986)
Hohenheimer Jahrringkalender	11871	0	11871	SPURK et al. (1998)
	12325	-52	12378	FRIEDRICH et al. (2004); REINIG et al. (2018)

negativ; z. B.: -34 entspricht AD 1984. Die Dendro-Zeitskala kann im langen Teil nicht einfach mit der „Real-Zeitskala“ gleichgesetzt werden; deshalb wird zur Differenzierung eine Dendro-Zeitskala ausgewiesen.

Kalifornien und Nevada. In diesem trockenen Klima brauchen abgestorbene Bäume viele Tausende von Jahren bis sie verwesen. Bestimmte Muster bei den Jahresringen, die sich aufgrund von mal nassen und mal trockenen Jahren ergeben, können zwischen noch lebenden und bereits lange toten Bäumen korreliert werden, wodurch die kontinuierliche Ringzählung bis auf 11.800 Jahre zurück in die Vergangenheit verlängert werden konnte.“<sup>45</sup> WIENS (2002b, 18) implizite Aussage ist, dass es eine unabhängige, absolute Methode gibt, mit welcher wenigstens 11.800 echter Kalenderjahre Vergangenheit – von der Gegenwart in die Vergangenheit lückenlos abzählbar – nachgewiesen werden kann. Das ist nicht korrekt, und es ist irreführend. Denn es handelt sich um eine Interpretation bzw. Einpassung auf Grundlage der Radiokarbon-Zeitskala; siehe [16].

[16] **Kohlenstoff-14, Radiokarbon-Methode, Radiokarbon-Zeitskala und ihre Kalibrierung.** WIENS (2002b, 18f) trägt vor, dass die Radiokarbon-Zeitskala<sup>46</sup> geeicht (kalibriert) wird: Bis „11.800 Jahre zurück in die Vergangenheit“ über die Zählung von Baumringen (Dendrochronologie) und bis „50.000 Jahre zurück in die Vergangenheit“ „über die Warvenzählung“ (warvenchronologische Methode). Damit legt WIENS (2002b) also dar, dass die Eichung (Kalibration) der Radiokarbon-Zeitskala mit absoluten, jahrgenauen Chronologien zu ebenso verlässlichen Altersangaben führt.

Kürzlich ist eine neue Radiokarbon-Alterskalibrationskurve veröffentlicht worden, IntCal20 (REIMER et al. 2020). Im Vergleich zu 2002 hat sich die grundlegende Zusammenstellung der Datensätze kaum verändert; die Datenbasis bil-

den (KOTULLA 2020b, Blatt 6-41): Skalenbereich von ca. 13.900 bis 0 kalibrierte <sup>14</sup>C-Jahre BP: Baumringe; Skalenbereich von ca. 55.000 bis ca. 13.900 kalibrierte <sup>14</sup>C-Jahre BP: Makrofossilien des Suigetsu-Sees (Japan), Foraminiferen von marinen Sedimenten, Baumringe sowie Speläotheme (Höhlenminerale) und Korallen.

Mit Bezug auf die bereits in [15] genannten Analyse kann festgehalten werden (KOTULLA 2019a):

a) Es liegt – insbesondere vor dem ersten vorchristlichen Jahrtausend – eine wechselseitige und abhängige Beziehung zwischen Radiokarbon-Alter und Dendro-Alter vor (u. a. <sup>14</sup>C-Vordatierungen). Mit einer Prädeterminierung von Dendro-Alter durch Radiokarbon-Alter ist eine unabhängige Dendro-Zeitskala nicht gegeben, mit welcher wiederum die Radiokarbon-Zeitskala kalibriert werden soll (methodisch-wissenschaftlich fragwürdig).

b) Die Konstrukteure der hier vorgestellten langen Chronologien haben die Gültigkeit und Unabhängigkeit ihrer Chronologien weder aufgezeigt noch belegt; die Beweislast aber liegt auf ihrer Seite.

c) Es ist gegenwärtig nicht bekannt, wie sich Radiokarbon-Alter und Realjahre vor dem ersten vorchristlichen Jahrtausend zueinander verhalten. Die Dendro-Zeitskala vor dem ersten vorchristlichen Jahrtausend ist nicht nachweislich valide. Deshalb ist eine Gleichsetzung von Dendrojähre (Jahrringkalenderjahr) und Realjahr nicht gegeben, folglich ist auch eine Gleichsetzung von kalibriertem <sup>14</sup>C-Jahr und Realjahr nicht gegeben.

d) Ähnlich – mit Bezug auf c) – verhält es sich mit dem Warven-kalibrierten Teil der Radiokarbon-Zeitskala (siehe [14]).

<sup>45</sup> Hier liegt seitens WIENS (2002b) wohl ein Missverständnis vor: Die Borstenkiefernchronologie der White Mountains (Kalifornien) reicht „nur“ bis 7092 [Dendro-] Jahre BP zurück. Es handelt sich um den Hohenheimer Jahrringkalender (Material aus Deutschland und untergeordnet der Schweiz), der nach dem Stand von SPURK et al. (1998) bis

11.871 [Dendro-] Jahre BP zurückreicht (siehe Tab. 1).

<sup>46</sup> WIENS (2002b): „Die Kalibrierung der Kohlenstoff-14-Methode bis fast 50.000 Jahre zurück in die Vergangenheit erfolgte auf verschiedene andere Weisen“ (S. 18). Und: „So kann die Kohlenstoff-14-Methode über die Warvenzählung kalibriert werden“ (S. 19).



**Abb. 8** Das Becken des Laacher Sees. Das Loch entstand durch ein explosives vulkanisches Eruptionseignis; die Hauptphase dauerte vermutlich nur wenige Tage. Der See ist etwa 2 km lang und 51 m tief. Mehrere ältere Schlackenkegel sind am Aufbau des bewaldeten Beckenrandes beteiligt; sie verstärken die kesselartige Struktur des Beckens. Foto: © Thilo PÖRLING, [www.poerling-immobilien.de](http://www.poerling-immobilien.de) (freundl. Zurverfügungstellung).

[17] Fallbeispiel zur Synchronisation von Datierungsergebnissen: Radiokarbon-Methode, Argon-Argon-Methode und Warvenzählung – Bestimmung des Ausbruchsdats des Laacher-See-Vulkans (aus KOTULLA 2016). Der Ausbruch des Laacher-See-Vulkans (Abb. 8) soll vor 12.900 Jahren geschehen sein.<sup>47</sup> Dieses Datum ist in der Fachwelt allgemein anerkannt.<sup>48</sup> Es gilt als gesichert, da es auf drei (vermeintlich) unabhängige Altersbestimmungsmethoden gründet, die übereinstimmende Ergebnisse geliefert haben.

a) Ergebnisse unter Anwendung der Radiokarbonmethode ( $^{14}\text{C}$ ). Stellvertretend für die seit den 1950er-Jahren zahlreich durchgeführten  $^{14}\text{C}$ -Analysen werden die häufig zitierten Ergebnisse von BAALES et al. (1999, 2002) vorgestellt. Die Proben stammten von im Bims aufrechtstehenden, verkohlten Bäumen (in situ) bei Krufft, wenige Kilometer östlich des Laacher Sees. Ihr mittleres Alter von  $11.065 \pm 20$   $^{14}\text{C}$ -Jahren BP wurde unter Anwendung einer Eich- bzw. Kalibrierungskurve zunächst zu 13.050–13.190 kalibrierten  $^{14}\text{C}$ -Jahren BP umgerechnet (BAALES et al. 1999). In der Folge kalibrierten die Autoren mit einem eigenen Ansatz das nunmehr gewichtete Mittel von  $11.062 \pm 11$   $^{14}\text{C}$ -Jahren BP zu 12.916 kalibrierten  $^{14}\text{C}$ -Jahren BP (BAALES et al. 2002) – gerundet und mit Kalenderjahren gleichgesetzt 12.900 Jahre vor heute.

Bevor die  $^{14}\text{C}$ -Alter kalibriert wurden, wurde das (konventionelle)  $^{14}\text{C}$ -Alter mit Kalenderjahren gleichgesetzt. So galt bis etwa Mitte der 1990er-Jahre als Ausbruchzeitpunkt ca. 11.000 [ $^{14}\text{C}$ -] Jahre vor heute. Je nach Kalibrierungsansatz und -methode erfolgte bis 1999 eine phasenweise Erhöhung bis zu ca. 13.000 [kalibrierten  $^{14}\text{C}$ -] Jahren BP.

b) Ergebnisse unter Anwendung der warvenchronologischen Methode. Ende der 1980er-Jahre sind für die laminierten Sedimente des Holzmaars und des Meerfelder Maars<sup>49</sup> Warvenchronologien erstellt worden (ZOLITSCHKA 1988, 1990). Dass es sich bei der Laminierung der Seesedimente um eine jährliche Prägung (Warvierung) handele, habe mit Bezug auf die Laacher-See-Tephra<sup>50</sup> durch die gute Übereinstimmung der ermittelten Warvenjahre (11.200) mit ihrem bekannten Alter (11.000 Jahre vor heute, s. o.) Bestätigung gefunden: Die „Jahresschichten-Natur wird durch die korrekte Datierung der gut bekannten Isochrone der Laacher-See-Tephra bestätigt (...)“ (ZOLITSCHKA 1991, 59). In den Folgejahren allerdings wurde das warvenchronologische („absolute“) Alter der Laacher-See-Tephra in der Holzmaar-Langchronologie von den Bearbeitern nach und nach erhöht, von 11.200, auf 12.398, 12.560 und zuletzt 12.880 Warvenjahre BP. Das gleiche geschah mit der Meerfelder-Maar-Chronologie. Die Anpassungen erfolgten durch Einpassung in den jeweils gültigen (kalibrierten)  $^{14}\text{C}$ -Altersrahmen.

Schon diese An- und Einpassungen zeigen, dass die warvenchronologische Methode keine absolute und keine unabhängige Altersbestimmungsmethode ist. ZOLITSCHKA hat weder gesamthaft noch im Einzelfall den Nachweis einer Jahresschichtung (Warvierung) der Seesedimente erbracht.

c) Ergebnisse unter Anwendung der Kalium/Argon- (K/Ar) bzw. Argon/Argon-Methode (Ar/Ar): VAN DEN BOGAARD (1995) führte 40  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Analysen an Sanidin-Kristallen der oberen Laacher-See-Tephra durch. Seine ermittelten, sogenannten scheinbaren Alter der

<sup>47</sup> Der Vulkan befindet sich 40 km südlich Bonn.

<sup>48</sup> Z. B. SCHMINCKE et al. (1999, 65): „An age of ca. 12,900 a BP is now accepted by most workers.“

<sup>49</sup> Beide Maare befinden sich in der Eifel.

<sup>50</sup> Auswurfprodukte der Laacher-See-Eruption (Bimse und Aschen): Laacher-See-Tephra im Holzmaar in 9,7 m Tiefe (Mächtigkeit etwa 80 mm).

Altersbestimmung Methode	Einheit „Jahre“	„Jahre“ vor heute	Gültigkeit und Grenzen (z. T. nach KOTULLA 2020b)
Radiokarbon-Methode (radiometrisch)	<sup>14</sup> C-Jahre; (kalibriert)	12.916	relativ, nicht verifiziert (Langchronologien)
Argon/Argon-Methode (radiometrisch)	<sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar-Jahre	12.900	relativ, nicht unabhängig
Warvenzählung (warvenchronologisch)	Warvenjahre	12.880	l. d. R. in <sup>14</sup> C-Altersrahmen eingepasst: nicht unabhängig, nicht absolut (Langchronologien)

**Tab. 2** Angewandte Altersbestimmungsmethoden zur „Datierung“ der Laacher-See-Eruption. Die übereinstimmenden Ergebnisse – etwa 12.900 Jahre vor heute – (hier ohne Fehlergrenzen) vermitteln eine gesicherte Bestimmung. Dies ist aber – mit Blick auf die Gültigkeit der jeweiligen Methode und der Abhängigkeit der Ergebnisse – nicht der Fall (siehe Textteil).

Einzelproben umfassen eine Spanne, die von  $6,4 \pm 3,8$  bis  $127 \pm 2$  Tausend <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar-Jahren reicht. Durch Bildung von vier Subpopulationen von Kristallen weist er Alter(sgruppen) von 127, 55, 25 und 12,9 (80 % der Analysen) Tausend <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar-Jahren aus. Das <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar-Eruptionsalter schätzt er abschließend auf  $12.900 \pm 560$  Jahre BP; die Werte aber streuen von 6.400 bis 18.400 <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar-Jahre. 30 Jahre zuvor waren von FRECHEN & LIPPOLT (1965) Datierungsversuche mit der K/Ar-Methode unternommen worden; sie ermittelten für zwei Sanidin-Proben ein K/Ar-Alter von  $0,23 \pm 0,03$  bzw.  $1,51 \pm 0,1$  Millionen [radiometrische] Jahre. Das zu hohe Alter begründeten sie mit überschüssigem (ererbtem) radiogenem Argon: „Wahrscheinlich wurde hierbei [rasche Ausbrüche, MK] nicht alles radiogene Argon ausgetrieben“ (S. 26). Seit VAN DEN BOGAARD (1995) sind keine <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar-Analysen publiziert worden; es bleiben auch die ungeklärten, widersprüchlichen Ergebnisse zu FRECHEN & LIPPOLT (1965).

Das Ereignis der Laacher-See-Eruption ist fest in der mitteleuropäischen Quartärstratigraphie (Grenzbereich Pleistozän/Holozän) verankert. Die unternommenen Versuche, den Zeitpunkt des Ausbruchs mit verschiedenen Methoden zu bestimmen, zeigen, dass die Ergebnisse mehrfach aufeinander abgestimmt (synchronisiert) worden sind; führend dabei ist letztlich die Radiokarbonmethode. Es handelt sich demnach nicht um drei unabhängige Schätzungen (Tab. 2). Alle drei angewandten Methoden sind relativer Natur; keine Methode ist in der Lage, ein absolutes und verifiziertes Alter zu liefern.

[18] **Radiometrische Datierung, Kalibration bzw. Verifizierung.** WIENS (2002b, 29) nimmt zu einem mutmaßlichen Missverständnis wie folgt Stellung: „Radiometrische Datierung beruht auf den Halbwertszeiten radioaktiver Isotope. Diese

Halbwertszeiten sind in den letzten 40–100 Jahren gemessen worden. Sie werden nicht durch Fossilien kalibriert.“ Das von WIENS vorgetragene Missverständnis lautet: „Radiometrische Datierung beruht auf Leitfossilien, denen jeweils ein Alter lange vor der Entdeckung der Radioaktivität zugewiesen wurde.“

Hier passen vorgetragenes Missverständnis und Stellungnahme nicht recht zusammen. Gemeint ist vielleicht, dass die (chrono)stratigraphische Tabelle älter ist als das radiometrische Altersmodell, mit welchem sie heute kalibriert wird (Abb. 9). Viele stratigraphische Einheiten wurden bereits früher schon durch Leit- oder Indexfossilien „definiert“, dies alleine besagt(e) aber nichts über ihr Alter. LYELL (1867-68) beispielsweise hatte – vor Entdeckung der Radioaktivität – den Versuch unternommen, die von der damaligen geologischen Gemeinschaft überwiegend akzeptierte „Unermesslichkeit vergangener Zeit“ (HUTTON 1788) zu quantifizieren. Er konstruierte die Vorzeit<sup>51</sup> zu 12 Zyklen zu je 20 Millionen Jahren. Insofern waren Hunderte von Millionen Jahre Erdgeschichte bereits in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts etabliert (siehe KOTULLA 2020b, Blätter 2-32 und 2-20).

Korrekt ist also – wie WIENS (2002b, 29) schreibt –, dass Halbwertszeiten bzw. folglich die radiometrische Datierung nicht durch Leitfossilien kalibriert werden bzw. wird. Er teilt aber in seinem gesamten Artikel nicht mit, wie radiometrische Altersbestimmungsmethoden, die hohe radiometrische Alter ergeben, kalibriert oder verifiziert werden (z. B. U-Pb-Methode).

HOLMES (1931, 454), der Chefarchitekt der geologischen Zeitskala, stellt im Kontext eines Vergleichs von Methoden klar: „Die einzige Evidenz für lange Perioden, vorgegeben durch die Stoffe der Erde selbst, ist die [Methode, MK],

<sup>51</sup> Hier: Kambrium bis Gegenwart (Phanerozoikum).

Äonothem /Äon	Ärathem /Ära	System/ Periode	Serie/ Epoche	Numme- risches Alter (Mra)	
PHANEROZOIKUM	KÄNOZOIKUM	QUARTÄR	HOLOZÄN	0,0117	
			PLEISTOZÄN	2,58	
			PLIOZÄN	5,333	
		NEOGEN	MIOZÄN	23,03	
			OLIGOZÄN	33,9	
			PALÄOGEN	EOZÄN	56,0
		PALÄOZÄN		66,0	
		MESOZOIKUM		KREIDE	OBERKREIDE
			UNTERKREIDE		~ 145,0
	JURA		OBERJURA	163,5	
			MITTELJURA	174,1	
			UNTERJURA	201,3	
	TRIAS		OBERTRIAS	~ 237	
			MITTELTRIAS	247,2	
			UNTERTRIAS	251,902	
	PERM		LOPINGIUM	259,1	
			GUADALUPIUM	272,95	
		CISARALIUM	298,9		
	PALÄOZOIKUM	KARBON	PENNSYLVANIUM	323,2	
			MISSISSIPPIUM	358,9	
		DEVON	OBERDEVON	382,7	
			MITTELDEVON	393,3	
			UNTERDEVON	419,2	
		SILUR	PRIDOLI	423,0	
			LÜDLOW	427,4	
			WENLOCK	433,4	
			LLANDOVERY	443,8	
		ORDOVIZIUM	OBERORDOVIZIUM	458,4	
	MITTELORDOVIZIUM		470,0		
	UNTERORDOVIZIUM		485,4		
	KAMBRIUM	FURONGIUM	~ 497		
		SERIE 3	~ 509		
SERIE 2		~ 521			
TERRENEUVIUM		541,0			
„PRÄKAMBRIUM“	NEO- PROTERO- ZOIKUM	EDIACARIUM	~ 635		
		KRYOGENIUM	~ 720		
		TONIUM	1000		
Auslassung von Proterozoikum (Teile) und Archaikum				4000	
HADAIKUM				~ 4600	

**Abb. 9** Internationale Chronostratigraphische Tabelle. Mit Zuweisung geschätzter numerischer Alter des GTS2012-Altersmodells in Millionen [radiometrischen] Jahren (Mra) ohne Unsicherheiten; rechte Spalte (vgl. GRADSTEIN et al. 2012). Nach Version v2020/01 der Internationalen Stratigraphischen Kommission (ICS) mit teilweise aktualisierten Alterswerten. Deutsche Bezeichnungen nach STDK2012 (Stratigraphische Tabelle von Deutschland Kompakt). Grafik: F. MEYER.

die auf dem radioaktiven Zerfall basiert.“ Das heißt, dass die radiometrische Altersbestimmungsmethode durch keine andere Methode verifiziert (bestätigt) werden kann bzw. bisher verifiziert werden konnte. Es bedeutet u. a., dass die geologische Zeitskala eine nicht verifizierte Zeitskala ist. Siehe auch [5].

## Zusammenfassung

[19] WIENS (2002b, 2016) versucht in seinen Arbeiten darzulegen, dass radiometrische und andere (nicht-radiometrische) Altersbestimmungsmethoden, die sich auf geologische Objekte beziehen, verlässliche Alter liefern: je nach Methode und Anwendungsbereich Alter von „< 100.000 Jahre“ bis zu „4,5–4,6 Milliarden Jahre“. Anstelle der von WIENS verwendeten Begriffe *verlässlich* bzw. *glaubhaft* gebraucht der Verfasser die Begriffe *gültig* oder *valide*.

WIENS beschreibt zahlreiche Altersbestimmungsmethoden, er diskutiert sie aber nicht. Zur Beurteilung der Validität einer Altersbestimmungsmethode bzw. der ermittelten Alterswerte bedarf es einer umfangreichen Analyse, die u. a. Ziel, historische Entwicklung, Basisannahmen, Einschränkungen und Probleme, Kalibrierung und Verifizierung evaluiert. Diese Analyseschritte vollzieht WIENS (2002b, 2016) nicht. *Bona fide* präsentiert er die „hervorragende Übereinstimmung“ der Alters-Ergebnisse radiometrischer und nicht-radiometrischer Datierungsmethoden oder eine vermeintlich korrekte (= valide) Datierung des Vesuv-Ausbruchs 79 n. Chr. mit der Argon-Argon-Methode.

WIENS differenziert nicht die Altersangaben, z. B. radiometrische Jahre (u. a.  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -Alter,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Alter),  $^{14}\text{C}$ -Jahre, Warvenjahre, Dendrojahre oder Eiskernjahre. Er fragt auch nicht nach dem, was die Entwickler oder Konstrukteure der jeweiligen Altersbestimmungsmethode bezüglich der Leistungsfähigkeit, der Gültigkeit und Grenzen geltend machen, z. B., ob es sich um eine unabhängige oder abhängige Methode und um absolute oder relative Alter handelt.

[20] Zusammenfassend entgegnet der Verfasser WIENS (2002b, 2016) wie folgt.

a) Die Datierung des Vesuv-Ausbruchs 79 n. Chr. erfolgte mit dem zusätzlichem Wissen des realen Ausbruchsjahres; damit konnte das  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Verhältnis korrigiert und schließlich ein „korrektes“  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Alter von  $1925 \pm 94$  Jahren v. h. ausgewiesen werden. Die Aussage von WIENS (2016, 93), dass das Ereignis mit der Argon-Argon-Methode korrekt datiert worden sei, ist nicht richtig (siehe [6]). Auch ist die Schlussfolgerung von WIENS (2016, 97), dass sich die radiometrische Datierung – implizit im Allgemeinen – bei der Datierung antiker historischer Ereignisse als genau erwiesen habe, nicht richtig (siehe auch [21]).

Die  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Methode ist eine relative Datierungsmethode (JOURDAN et al. 2014). Die Alter werden auf einen Mineral-Standard „bekanntes“ Alters zurück referenziert (z. B. Fish Canyon Tuff, ca. 28 Millionen radiometrische Jahre).

b) Die U-Pb-Methode dagegen ist ein unabhängiges Altersbestimmungsverfahren; sie wird hauptsächlich verwendet, um die chronostratigraphische Tabelle (Abb. 9) zu eichen. Dieses radiometrische Altersbestimmungsverfahren kann bis dato nicht durch ein anderes unabhängiges Altersbestimmungsverfahren verifiziert (bestätigt) werden (siehe [5], [7] und [18]). Daher ist auch nicht bekannt, in welchem Verhältnis die radiometrischen Alter zum realen Alter stehen.

c) „Eisbohrkerne“ (siehe [10] bis [13]). Die eiskernchronologische Methode ist im Wesentlichen kein unabhängiges und kein absolutes Altersbestimmungsverfahren. Der Skalenbereich  $> 1000$  Eiskernjahre b2k<sup>52</sup> ist direkt oder indirekt (über Eisflussmodelle) radiometrisch geeicht. Für den Skalenbereich  $\sim 1000$  bis 0 Eiskernjahre b2k sind wahrscheinlich echte jahreszeitliche Schwankungen identifiziert worden; dies ist punktuell durch unabhängige, zeitlich bekannte Ereignisse (vulkanische Aschenlagen bzw. -partikel) verifiziert. Die Eruption des Vesuv 79 n. Chr. ist in grönländischen Eisbohrkernen nicht nachgewiesen worden – entgegen der Behauptung von WIENS (2002b).

d) „Warven“ (siehe [14]). Die warvenchronologische Methode ist im Wesentlichen kein unabhängiges und kein absolutes Altersbestimmungsverfahren. Lange Warvenchronolo-

gien werden in einen durch andere Altersbestimmungsmethoden (i. d. R.  $^{14}\text{C}$ -Methode) gewonnenen Altersrahmen eingepasst; hier ist Warvenjahr nicht gleich Realjahr. Es gibt kurze Warvenchronologien ( $\leq$  Hunderte Jahre) mit echten Warven; hier ist aber eine Bestätigung durch Ereignisse bekannten historischen Alters notwendig.

e) „Baumringe“ (siehe [15]). Die dendrochronologische Methode bedarf einer unabhängigen Verifizierung durch Objekte/Ereignisse bekannten (historischen) Alters. Für Abschnitte einer Chronologie, die durch bekannte historische Ereignisse bestätigt sind, kann von validen Aussagen ausgegangen werden. Diese Abschnitte können je nach historischen Gegebenheiten und verfügbaren Materials für die regionalen Chronologien sehr unterschiedlich sein, etwa max. 500–1000 v. Chr. Für die älteren Abschnitte der genannten<sup>53</sup> Lang-Chronologien versagt die unabhängige Verifizierung und es erfolgten generell  $^{14}\text{C}$ -Vordatierungen. So kann über die Validität der Lang-Chronologien keine Aussage gemacht werden. Es ist nicht bekannt, in welchem Verhältnis diese Dendroalter zum realen Alter stehen.

f) „Kohlenstoff-14-Methode“ (siehe [16]). Die Radiokarbonmethode bedarf einer unabhängigen Verifizierung durch Objekte/Ereignisse bekannten (historischen) Alters. Die langen Baumringchronologien verifizieren die  $^{14}\text{C}$ -Zeitskala vor dem ersten christlichen Jahrtausend nicht; es sind Baumringchronologien konstruiert worden, die sich aus  $^{14}\text{C}$ -datierten Jahrringsequenzen zusammensetzen.

Zur konkreten Gültigkeit: Bis etwa 3.000 Jahre vor heute: Im Wesentlichen durch Objekte bekannten historischen Alters verifiziert; „präzise“ Datierungen im Rahmen von  $\pm 15$ –200 Jahren. Unter Ausschluss der bereits bekannten Einschränkungen gibt es nach wie vor einen Anteil nicht „passender“ Ergebnisse. Etwa 3.000 bis 5000 Jahre vor heute: Unsicher. Teilweise ist das Alter der zur Verifizierung herangezogenen Objekte/Ereignisse nicht sicher. Größer etwa 5.000 Jahre vor heute: Nicht bekannt. Eine unabhängige Verifizierung durch Objekte/Ereignisse bekannten (historischen) Alters war bisher nicht möglich. Es ist nicht bekannt, in welchem Verhältnis diese  $^{14}\text{C}$ -Alter zum realen Alter stehen.

g) Die von WIENS (2002b, 2016) dargestellte „hervorragende Übereinstimmung“ der

<sup>52</sup> Abkürzung von: before 2 k (2000); Bezugsjahr ist das Jahr 2000.

<sup>53</sup> Siehe Tabelle 2.

Altersergebnisse radiometrischer und nicht-radiometrischer Altersbestimmungsmethoden ist in Wirklichkeit nicht vorhanden. Wie zuvor aufgezeigt wurde, sind zahlreiche Altersbestimmungsmethoden aufeinander abgestimmt und liefern deshalb augenscheinliche „übereinstimmende Ergebnisse“ (siehe [10] bis [17]).

[21] Die Konklusion von WIENS (2016, 97) lautet (unter Abschnitt „Conclusion“): „Um dieses Kapitel zusammenzufassen: Radiometrische Datierung basiert auf physikalischen Prinzipien, denen wir vertrauen können – vor allem auf der Vorhersagbarkeit des radioaktiven Zerfalls. Wir nutzen diese Vorhersagbarkeit, um Kernreaktoren zu bauen, medizinische Geräte zu verbessern und sogar einen Rover auf einem Planeten zu betreiben, der Millionen von Kilometern entfernt ist. Radiometrische Datierung hat sich bei der Datierung antiker historischer Ereignisse wie dem Ausbruch des Vesuvs als genau erwiesen. Dieselben Methoden zeigen, dass der Grand Canyon nicht jünger als eine Million Jahre sein kann, basierend auf dem Alter der Lava, die in die Schlucht floss, und dass einige der Grundgebirgsgesteine, in die sich der Canyon eingeschnitten hat, mehr als eine Milliarde Jahre alt sind.“

Die Vorhersagbarkeit kann jedoch nicht in die Vergangenheit extrapoliert werden (siehe [5] und [18]). Zu den radiometrischen Altern wird nochmals klargestellt: Radiometrische Alter geologischer Objekte wie Lava im Grand Canyon ( $\geq 1$  Million radiometrische Jahre), Grundgebirgsgestein im Grand Canyon ( $> 1$  Milliarde radiometrische Jahre), „älteste Gesteine“ (etwa 3,6 Milliarden radiometrische Jahre; WIENS 2002b, 14) oder Meteoriten (etwa 4,5–4,6 Milliarden radiometrische Jahre; WIENS 2002b, 15), von welchen das „Alter“ der Erde abgeleitet wird, sind nicht verifizierte (bestätigte) Alter.<sup>54</sup> Es ist nicht bekannt, wie sich diese radiometrischen Jahre zu Kalenderjahren verhalten. Hier kann ein gravierendes Missverhältnis vorliegen, wie nachfolgende Studie zeigt.

Der Verfasser zeigt anhand einiger Fallbeispiele auf, dass punktuell die Möglichkeit

besteht, dass radiometrische Alter durch eine geologisch-sedimentologische Interpretation verifiziert werden können; mit folgendem Ergebnis (KOTULLA 2020a): Konkrete Vergleiche ausgewählter Sediment(gesteins)folgen der paläozoischen<sup>55</sup> Stichprobe zeigen, dass die radiometrisch begründete Bildungsdauer häufig um 6–7 Größenordnungen höher ist als die geologisch-sedimentologisch begründete. Voraussetzung für diese Diskrepanz ist u. a., dass die U-Pb-Zirkonalter „absolute Zeit“ (SCHMITZ 2012), d. h. Real-Zeit in Kalenderjahren, repräsentieren und die geologisch-sedimentologische Interpretation das damalige reelle Sedimentationsgeschehen annähernd zutreffend erfasst. Für diese Fälle wird die radiometrisch begründete Bildungsdauer in Frage gestellt.

## Abschließende Bemerkung

[22] WIENS (2002a, b) verbindet in dem Titel seines Artikels „radiometrische Altersbestimmungen“ und „christlich“: – *Eine christliche Sicht* (– *A Christian Perspective*). Der Verfasser kann nicht erkennen, in welcher Weise der Inhalt des Artikels auf Christus oder dessen Lehre zurückgeht, denn das ist ja die Bedeutung von „christlich“.

Es könnte allenfalls gemeint sein: *Die Perspektive eines Christen* oder *Aus der Perspektive eines Christen*. Insofern erachtet der Verfasser den Titel als verwirrend oder irreleitend und empfiehlt dem Autor, sofern eine aktualisierte Version geplant ist, den Titel entsprechend anzupassen.

## Literatur

- ALLEY RB, SHUMAN CA, MEESE DA, GOW AJ, TAYLOR KC, CUFFEY KM, FITZPATRICK JJ, GROOTES PM, ZIELINSKI GA, RAM M, SPINELLI G & ELDER B (1997) Visual-stratigraphic dating of the GISP2 ice core: Basis, reproducibility, and application. *J. Geophys. Res.* 102 (C12), 26367–26381.
- BAALES M, BITTMANN F & KROMER B (1999) Verkohlte Bäume im Trass der Laacher See-Tephra bei Kruf (Neuwieder Becken). Ein Beitrag zur Datierung des Laacher See-Ereignisses und zur Vegetation der Allerød-Zeit am Mittelrhein. *Archäologisches Korrespondenzblatt* 28, 191–204.

<sup>54</sup> Der Artikel von WIENS (2002b) enthält keinen Abschnitt, der mit Konklusion überschrieben ist. Die Zusammenfassung (S. 1) enthält aber Schlussfolgerungen: „Es wurde immer deutlicher, dass die verschiedenen radiometrischen Datierungsmethoden zu übereinstimmenden Ergebnissen führen und insgesamt ein stimmiges Bild davon geben, dass die Erde vor sehr langer Zeit entstanden ist. Weitere Belege ergeben sich aus der hervorragenden Übereinstimmung

zwischen radiometrisch bestimmten Altern und den Ergebnissen anderer Datierungsmethoden wie der Dendrochronologie (Zählen von Jahresringen bei Bäumen) oder dem Abzählen der jahreszeitlichen Schichten in Eisbohrkernen. (...) [Vielen] ist leider nicht bewusst, dass durch enorm viele Labormessungen gezeigt wurde, dass diese Methoden konsistent und zuverlässig sind.“

<sup>55</sup> Siehe Abb. 9.

- BAALES M, JÖRIS O, STREET M, BITTMANN F, WENINGER B & WIETHOLD J (2002) Impact of the Late Glacial eruption of the Laacher See volcano, Central Rhineland, Germany. *Quaternary Research* 58, 273–288.
- BROWN DM, MUNRO MAR, BAILLIE MGL & PILCHER JR (1986) Dendrochronology – the absolute Irish standard. *Radiocarbon* 28, 279–283.
- BROWN PM (1996) OLDLIST: A database of maximum tree ages. In: DEAN JS, MEKO DM & SWETNAM TW (eds.) *Tree Rings, Environment and Humanity: Proceedings of the International Conference*. Tucson, Arizona, 17-21 May 1994, 785–801.
- COULTER SE, PILCHER JR, PLUNKETT G, BAILLIE M, HALL VA, STEFFENSEN JP, VINSTER BM, CLAUSEN HB & JOHNSEN SJ (2012) Holocene tephra highlight complexity of volcanic signals in Greenland ice cores. *J. Geophys. Res.-Atmos.* 117, D21303, doi:10.1029/2012JD017698.
- DAVIDSON GR (2009) When Faith and Science Collide. Grand Rapids (MI).
- FERGUSON CW (1969) A 7104-year annual tree-ring chronology for bristlecone pine, *Pinus aristata*, from the White Mountains, California. *Tree-Ring Bulletin* 29, 3–29.
- FRANKE W (2002) Die vereinigten Platten von Europa. In: WEFER G (Ed.) *Expedition Erde*, 30–34, Berlin.
- FRECHEN J & LIPPOLT HJ (1965) Kalium-Argon-Daten zum Alter des Laacher Vulkanismus, der Rheinterrassen und der Eiszeiten. *Eiszeitalter und Gegenwart* 16, 5–30.
- FRIEDRICH M, REMMELE S, KROMER B, HOFMANN J, SPURK M, KAISER KF, ORCEL C & KÜPPERS M (2004) The 12,460-year Hohenheim oak and pine tree-ring chronology from Central Europe – a unique annual record for radiocarbon calibration and paleoenvironment reconstructions. *Radiocarbon* 46, 1111–1122.
- GRADSTEIN FM, OGG JG, SCHMITZ MD & OGG GM (Eds.) (2012) *The Geologic Time Scale 2012*. Volume 1/2, Oxford Amsterdam.
- GRADSTEIN FM, OGG JG, SCHMITZ MD & OGG GM (Eds.) (2020) *Geologic Time Scale 2020*. Volume 1/2, Amsterdam Oxford Cambridge.
- GROTZINGER JP, CRISP J, VASAVADA AR et al. (2012) Mars Science Laboratory Mission and Science Investigation. *Space Sci. Rev.* 170, 5–56.
- HILL C, DAVIDSON G, HELBLE T & RANNEY W (eds.) *The Grand Canyon, Monument to an Ancient Earth: Can Noah's Flood Explain the Grand Canyon?* Grand Rapids (MI).
- HJARTARSON A & ISOR<sup>56</sup> (2003) Crustal spreading in Iceland – The dilemma between spreading rate and rock age. In: HJARTARSON (2003) *The Skagafjörður Unconformity, North Iceland, and its Geological History*. University of Copenhagen. PhD thesis, 109–124.
- HOLMES A (1913) *The Age of the Earth*. London.
- 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.
- HUTTON J (1788) *Theory of the Earth; or an Investigation of the Laws Observable in the Composition, Dissolution, and Restoration of Land upon the Globe*. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 1(2), 209–304. <http://www.uwmc.uwc.edu/geography/hutton/hutton.htm>
- JOHNSEN SJ, DAHL-JENSEN D, DANSGAARD W & GUNDESTROP N (1995) Greenland palaeotemperatures derived from GRIP bore hole temperature and ice core isotope profiles. *Tellus* 47B, 624–629.
- JOURDAN F, MARK DF & VERATI C (2014) Advances in <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar dating: from archaeology to planetary sciences – introduction. In: JOURDAN F, MARK DF & VERATI C (Eds.) *Advances in <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar dating: from archaeology to planetary sciences*, 1–8, doi: 10.1144/SP378.24.
- KOTULLA M (2014) Island: Eine Insel, zwei „Kontinente“. 1. Was Island einzigartig macht. *Studium Integrale Journal* 21, 81–90. <http://www.si-journal.de/jg21/heft2/sij212-3.pdf>
- KOTULLA M (2015a) Sedimentfolgen und ihre Interpretation: Zyklusstratigraphie und das Milankovich-Zyklus-Syndrom. *W+W Special Paper G-15-1*, Baiersbrunn; [https://www.wort-und-wissen.org/wp-content/uploads/g-15-1\\_zyklusstratigraphie\\_und\\_milankovitch-zyklen.pdf](https://www.wort-und-wissen.org/wp-content/uploads/g-15-1_zyklusstratigraphie_und_milankovitch-zyklen.pdf)
- KOTULLA M (2015b) Island: Eine Insel, zwei „Kontinente“. 2. Geodynamische Phänomene und Zeit. *Studium Integrale Journal* 22, 4–15. <https://www.si-journal.de/jg22/heft1/sij221-1.pdf>
- KOTULLA M (2015c) War der Messensee ein Kurzzeitsee? *Studium Integrale Journal* 22, 106–110. <https://www.si-journal.de/index2.php?artikel=jg22/heft2/sij222-9.html>
- KOTULLA M (2016) Der explosive Ausbruch des Laacher-See-Vulkans. *Studium Integrale Journal* 23, 111–116. <https://www.si-journal.de/index2.php?artikel=jg23/heft2/sij232-10.html>
- KOTULLA M (2019a) Verkohlte Baumstämme in Tephra-Ablagerungen des Laacher-See-Vulkans: neue Radiokarbon-Bestimmungen und ihre Altersinterpretation. *W+W Special Paper G-19-1*, Baiersbrunn. [https://www.wort-und-wissen.org/wp-content/uploads/g-19-1\\_radiokarbon.pdf](https://www.wort-und-wissen.org/wp-content/uploads/g-19-1_radiokarbon.pdf)
- KOTULLA M (2019b) Grönländische Eisbohrkerne und ihre Interpretation: Absolute Datierung durch Zählung von Jahresschichten? 2., erweiterte und überarbeitete Auflage. *W+W Special Paper G-19-2*, Baiersbrunn. [https://www.wort-und-wissen.org/wp-content/uploads/g-19-2\\_eisbohrkern-1.pdf](https://www.wort-und-wissen.org/wp-content/uploads/g-19-2_eisbohrkern-1.pdf)
- KOTULLA M (2020a) 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)
- KOTULLA M (2020b) Gültigkeit und Grenzen geologischer Zeitbestimmung. *Online-Loseblattsammlung*, 2. Ergänzungslieferung. <https://www.wort-und-wissen.org/publikationen/geologie-loseblattsammlung/>
- KRISTJANSSON L, GUDMUNDSSON A & HARALDSSON (1995) Stratigraphy and paleomagnetism of a 3-km-thick lava pile in the Mjölifjörður area, eastern Iceland. *Geol. Rundschau* 84, 813–830.
- LANPHERE M (2002) Radiometric Dating. In: MEYERS R (Ed.) *Encyclopedia of Physical Science and Technology*. 3rd edition, 721–730.
- LAVIGNE F, DEGEAI J-P, KOMOROWSKI J-C, GUILLET S, ROBERT V, LAHITTE P, OPPENHEIMER C, STOFFEL M, VIDAL CM, SURONO, PRATOMO I, WASSMER P, HAJDAS I, HADMOKO DS & DE BELIZALA E (2013) Source of the great A.D. 1257 mystery eruption unveiled, Samalás volcano, Rinjani Volcanic Complex, Indonesia. *PNAS* 110, 16742–16747.
- LAJ C, KISSEL C, MAZAUD A, CHANNELL JET & BEER J (2000) North Atlantic palaeointensity stack since 75 ka (NA-PIS-75) and the duration of the Laschamp event. *Phil. Trans. R. Soc. London A* 358, 1009–1025.
- LOTTE G & SCHÖBER O (2000) Zur Geschichte der Nuk-

<sup>56</sup> Iceland GeoSurvey, Geologischer Dienst von Island.

- learnmedizin – eine chronologische Darstellung der Ursprünge aus Naturwissenschaft, Technik und Medizin. *Zeitschrift für Medizinische Physik* 10, 225–234.
- LYELL C (1867-68) *Principles of Geology*. 2 vols., 10th ed., London.
- MARTHALER M (2005) *Das Matterhorn aus Afrika: Die Entstehung der Alpen in der Erdgeschichte*. Bern.
- MEESE DA, ALLEY RB, FIACCO RJ, GERMANI MS, GOW AJ, GROOTES PM, ILLING M, MAYEWSKI PA, MORRISON MC, RAM M, TAYLOR KC, YANG Q & ZIELINSKI GA (1994) Preliminary depth-age scale of the GISP2 ice core. *Special CRREL Report 94-1*, US.
- MEESE DA, GOW AJ, ALLEY RB, ZIELINSKI GA, GROOTES PM, RAM M, TAYLOR KC, MAYEWSKI PA & BOLZAN JF (1997) The Greenland Ice Sheet Project 2 depth-age scale: Methods and results. *J. Geophys. Res.* 102(C12), 26411–26423.
- MÜLLER D, SETON M, GAINA C & ROEST WR (2008) Age, spreading rates, and spreading asymmetry of the World's ocean crust. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 9, Q04006, doi:10.1029/2007GC001743.
- MURAWSKI H & MEYER W (2010) *Geologisches Wörterbuch*. 12. Auflage, Heidelberg.
- ÓSKARSSON BV & RIISHUUS MS (2013) The mode of emplacement of Neogene flood basalts in Eastern Iceland: Facies architecture and structure of the Hólmar and Grjótá olivine basalt groups. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 267, 92–118.
- PILCHER JR, BAILLIE MGL, SCHMIDT B & BECKER B (1984) A 7272-year tree-ring chronology from Western Europe. *Nature* 312, 150–152.
- RAM M & KOENIG G (1997) Continuous dust concentration profile of pre-Holocene ice from the Greenland Ice Sheet Project 2 ice core: Dust stadials, interstadials, and the Eemian. *Journal of Geophysical Research* 102, C12, 26641–26648.
- REIMER PJ, AUSTIN WEN, BARD E, BAYLISS A, BLACKWELL PG, BRONK RAMSEY C, BUTZIN M, CHENG H, EDWARDS RL, FRIEDRICH M, GROOTES PM, GUILDERSON TP, HAJDAS I, HEATON TJ, HOGGAG, HUGHEN KA, KROMER B, MANNING SW, MUSCHELER R, PALMER JG, PEARSON C, PLICHT J VAN DER, REIMER RW, RICHARDS DA, SCOTT EM, SOUTHON JR, TURNEY CSM, WACKER L, ADOLPHI F, BÜNTGEN U, CAPANO M, FAHRNI SM, FOGTMANN-SCHULZ A, FRIEDRICH R, KÖHLER P, KUDSK S, MIYAKE F, OLSEN J, REINIG F, SAKAMOTO M, SOOKDEO A & TALAMO S (2020) The IntCal20 northern hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, DOI: <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- REINIG F, NIEVERGELT D, ESPER J, FRIEDRICH M, HELLE G, HELLMANN L, KROMER B, MORGANTE S, PAULY M, SOOKDEO A, TEGEL W, TREYDTE K, VERSTEGE A, WAKER L & BÜNTGEN U (2018) New tree-ring evidence for the Late Glacial period from the northern pre-Alps in eastern Switzerland. *Quaternary Science Reviews* 186, 215–224.
- SCHMINCKE H-U, PARK C & HARMS E (1999) Evolution and environmental impacts of the eruption of Laacher See Volcano (Germany) 12,900 a BP. *Quaternary International* 61, 61–72.
- SCHMITZ MD (2012) Radiogenic Isotope Geochronology. In: GRADSTEIN FM, OGG JG, SCHMITZ MD & OGG GM (Eds.) (2012) *The Geologic Time Scale 2012*. Volume 1, 115–126.
- SCHMITZ MD (2020) Radioisotopic ages used in GTS2020. In: GRADSTEIN FM, OGG JG, SCHMITZ MD & OGG GM (Eds.) *Geologic Time Scale 2020*. Volume 2, Appendix 2, 1285–1349.
- SCHULMAN E (1958) Bristlecone pine, oldest known living thing. *National Geographic Magazine* 113, 354–372.
- SOWERS T, BENDER M, LABEYRIE L, MARTINSON D, JOUZEL J, RAYNAUD D, PICHON JJ & KOROTKEVICH YS (1993) A 135,000-year Vostok-SPECMAP common temporal framework. *Paleoceanography* 8, 737–766.
- SUN C, PLUNKETT G, LIU J, ZHAO H, SIGL M, MCCONNELL JR, PILCHER JR, VINTHER B, STEFFENSEN JP & HALL V (2014) Ash from Changbaishan Millennium eruption recorded in Greenland ice: implications for determining the eruptions timing and impact. *Geophys. Res. Lett.* 41, 694–701.
- U.S. Department of Energy (2006) *Space Radioisotope Power Systems – Multi-Mission Radioisotope Thermoelectric Generator*. <http://nuclear.gov/pdfFiles/MMRTG.pdf>
- VAN DEN BOGAARD (1995) <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar ages of sanidine phenocrysts from Laacher See Tephra (12,900 yr BP): Chronostratigraphic and petrological significance. *Earth and Planetary Science Letters* 133, 163–174.
- VINTHER BM, CLAUSEN HB, JOHNSEN SJ, RASMUSSEN SO, ANDERSEN KK, BUCHARDT SL, DAHL-JENSEN D, SEIERSTAD IK, SIGGAARD-ANDERSEN M-L, STEFFENSEN JP, SVENSSON A, OLSEN J & HEINEMEIER J (2006) Asynchronized dating of three Greenland ice cores throughout the Holocene. *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2005JD006921.
- WAGNER G, LAJ C, BEER J, KISSEL C, MUSCHELER R, MASARIK J & SYNAL H-A (2001) Reconstruction of the paleoaccumulation rate of central Greenland during the last 75 kyr using the cosmogenic radionuclides <sup>36</sup>Cl and <sup>10</sup>Be and geomagnetic field intensity data Earth and Planetary Science Letters 193, 515–521.
- WIENS R (2002a) *Radiometric Dating. A Christian Perspective*. Revised version of first edition 1994. <https://www.asa3.org/ASA/resources/Wiens2002.pdf>
- WIENS R (2002b) *Radiometrische Altersbestimmungen – Eine christliche Sicht*. Überarbeitete Version des Originals von 1994. [Übersetzung von WIENS (2002a).] <https://www.schoepfung-durch-evolution.de/media/Wiens-Altersbestimmung.pdf>
- WIENS RC, MAURICE S, BARRACLOUGH B et al. (2012) The ChemCam Instrument Suite on the Mars Science Laboratory (MSL) rover: Body unit and combined systems tests. *Space Sci. Rev.* 170, 167–227.
- WIENS R (2016) So Just How Old Is That Rock? In: HILL C, DAVIDSON G, HELBLE T & RANNES W (eds.) *The Grand Canyon, Monument to an Ancient Earth: Can Noah's Flood Explain the Grand Canyon?* Grand Rapids (MI), 89–98.
- ZIELINSKI GA, MAYEWSKI PA, MEEKER D, GRÖNVOLD K, GERMANI MS, WHITLOW S, TWICKLER MS & TAYLOR K (1997) Volcanic aerosol records and tephrochronology of the Summit, Greenland, ice cores. *J. Geophys. Res.* 102(C12), 26625–26640.
- ZIELINSKI GA, MAYEWSKI PA, MEEKER LD, WHITLOW S, TWICKLER MS, MORRISON M, MEESE D, ALLEY RB & GOW AJ (1994) Record of volcanism since 7000 B.C. from the GISP2 Greenland ice core and implications for the volcano-climate system. *Science* 264, 948–952.
- ZOLITSCHKA B (1988) Spätquartäre Sedimentationsgeschichte des Meerfelder Maars (Westeifel) – Mikrostratigraphie jahreszeitlich geschichteter Seesedimente. *Eiszeitalter u. Gegenwart* 38, 87–93.
- ZOLITSCHKA B (1990) Spätquartäre jahreszeitlich geschichtete Sedimente ausgewählter Eifelmaare. *Documenta naturae* 60, 1–226.
- ZOLITSCHKA B (1991) Absolute dating of late Quaternary lacustrine sediments by high resolution varve chronology. *Hydrobiologia* 214, 59–61.