

Kalibrierung des Radiokarbon-Alters an Sequoias und Eichen

Hans-Erdmann Korth

2/2014

Abstract:

Metrological analysis of Sequoia Radiocarbon allows to interpolate missing growth rings and to identify 1886 CE ¹ ±5 as base year for $\Delta^{14}\text{C} = 0$. Referring to this date, down-bends of IntCal ² match closely with sulphate signatures of GISP2 ³. Over more than three millennia volcanic eruptions and organic relics will be dated accurately.

Das Kohlenstoff-Isotop ^{14}C besitzt neueren Messungen zufolge eine mittlere Lebensdauer von 8267 Jahren. Die Hälfte aller Atome in einer Probe sind somit nach 5730 Jahren zerfallen. Werden in einer Probe, die zur Zeit T_p ihrer Entstehung N_p Atome enthielt, noch N Atome gemessen, dann waren zwischenzeitlich $T = 8267 \cdot \ln(N_p/N)$ Jahre vergangen.

Tatsächlich schwankt allerdings die Konzentration des ^{14}C in der Atmosphäre klimabedingt geringfügig um den mittleren Wert. Nur wenn die Abweichung $\Delta^{14}\text{C}$ beim Entstehen der Probe, sowie zur Bezugszeit T_{1950} der Gegenwart ermittelt werden kann, ist eine genaue Bestimmung des Radiokarbonalters möglich.

Angesichts des starken Einflusses menschlicher Aktivitäten des 20. Jahrhunderts auf die ^{14}C -Konzentration, ist die Abweichung $\Delta^{14}\text{C}$ um die Mitte des 20. Jahrhunderts beträchtlich. Um den Wert von $\Delta^{14}\text{C}$ für das Jahr 1950 zu bestimmen, wählte V. Stuiver⁴ ein indirektes Verfahren: Er setzte den Mittelwert des überlieferten Alters von vier Proben aus dem 18. und 19. Jahrhundert in Beziehung zu deren gemittelter ^{14}C -Kon-

1 CE = Common Era (Current year = 2014 CE)

2 IntCal09 and Marine09 Radiocarbon Age Calibration Curves, 0-50,000 Years cal BP, Reimer et al. 2009

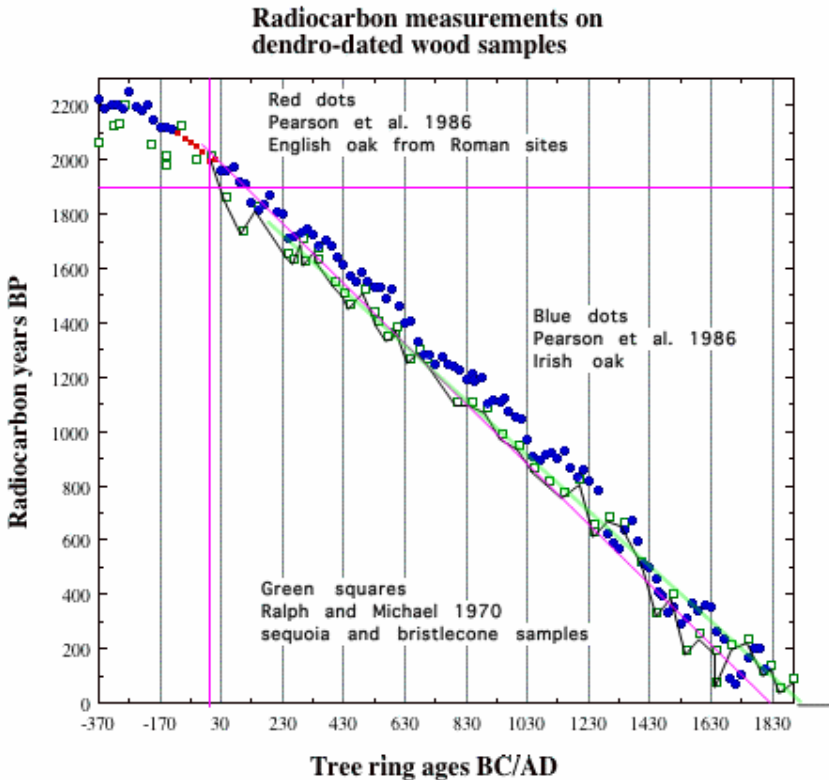
3 Greenland Ice Sheet Project, Mayewski et al, 1997

4 Stuiver 1982

zentration. Angesichts mangelnder Alternativen definiert seit-
 her das Jahr 130 BP (before present) <> 1820 uZ. als 'best-
 mögliche' Näherung die Zeitachse für das Radiokarbon-Alter.

Aber ist sie das wirklich? Wird die Irische Eichenchronologie
 zugrunde gelegt, so lässt der eigentümliche Verlauf von $\Delta^{14}\text{C}$
 daran zweifeln: Während W. Libby⁵ noch davon ausgegangen
 war, dass die Konzentration des atmosphärischen ^{14}C über die
 vergangenen Jahrtausende im Mittel konstant geblieben sei,
 musste man nun für die Antike einen höheren, für das Mittel-
 alter einen geringeren Wert als in der Gegenwart annehmen.

Fig. 1



5 Libby, 1955

Sequoia-Kalibrierung

Messreihen an den Jahresringen von Sequoias, führten zu der Erkenntnis, dass diese mächtigen Bäume offenbar in vielen Jahren keine Wuchsringe ausgebildet haben. Als Referenz für das Radiokarbon-Alter wären sie deshalb ungeeignet...⁶

Richtig ist, dass hier aufgrund der fehlenden Ringe keine eindeutige Jahreszuordnung möglich ist. Dennoch erlaubt die hohe Zahl der Messwerte eine recht genaue Extrapolation auf das Bezugsjahr für das Radiokarbonalter. Fig. 1 stellt das an einer Sequoia gemessene Alter den mit der Irischen Eichen-Chronologie gewonnenen Werten gegenüber.⁷ Auffällig ist dabei der konsistente Verlauf über 47 Sequoia-Messwerte.

Sie liefern die Regressionsgerade $RC(t) = -1.075 t + 2022$. Bezugsjahr 0 BP des Radiokarbonalters wäre hier das Jahr 1881. Die Varianz der 25 Messwerte des 1. Jahrtausends beträgt dabei 43 Jahre, d.h. der statistische Fehler des Mittelwerts liegt bei ca. 8 Jahren. Hinzu kommt, dass die jüngsten Jahresringe durch Vergleiche recht genau datiert sind (nicht notwendig exakt). Damit beträgt die Unsicherheit bezüglich des Mittelwerts nur noch etwa 5 Jahre.

Mit einem Bestimmtheitsmaß R^2 von 0.98 erscheint die Beziehung zwischen Radiokarbonalter und Wuchsjahren praktisch linear, was den Messungen an Irischen Eichen, die vom Bezugsjahr 1820 ausgehen, zu widersprechen scheint.

Die Sequoia Messungen erlauben jedoch eine alternative, wesentlich genauere Bestimmung des Bezugs für das Radiokarbonalter: Wenn Radiokarbon- und Wuchsjahre definitionsgemäß gleichlang sind,

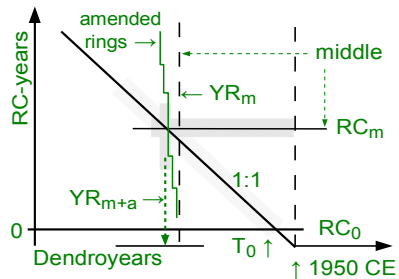


Fig. 2. Ermittlung des Bezugsjahres T_0 aus den berichtigten Mittelwerten von Radiokarbon und Baumringen

6 Biondi, 2001

7 Baillie, 2012 – Linienzüge vom Verf. ergänzt

bezeichnet auch der Mittelwert aller gemessenen Radiokarbon (RC) -Werte das gleiche Jahr wie das mittlere Alter der Jahresringe vor dem Jahr 1950. Letzteres ergibt sich aus der Summe der gezählten und der zu ergänzenden Ringe, sofern deren Zahl sich abschätzen lässt.

Hierzu liefert die Analyse der Messwerte (grüne Punkte in Fig. 1) weitere Informationen: Während der Abstand der Messstellen im Mittel der vergangenen zwei Jahrtausende 44 Jahresringe beträgt, ist bei den Dendrojahren '1640', '1240', '600', '360' und '330' der Abstand mit nur 3 bis 8 Ringe wesentlich geringer. Da erscheint die Annahme nahe liegend, dass dort i.W. die jeweils im Vergleich zu den benachbarten Messstellen fehlenden Ringe zu ergänzen wären.

Werden auf diese Weise vor den genannten Jahren 47, 43, 31, 44 und 30 fehlende Ringe eingefügt, so ändert sich der Verlauf der Messreihe entsprechend (hellblaue Kurve).

Das Bezugsjahr für $\Delta^{14}\text{C} = 0$ verschiebt sich dabei nur unwesentlich auf nun 1891. Ein kleiner Fehler bei der Anzahl oder Verteilung der rekonstruierten Ringe hat hierauf nur geringen Einfluss: Die Varianz des gemittelten RC-Alters der 5 Interpolationen beträgt 4,37 Jahre. Kommt diese zum Tragen, so werden lediglich die zwischen den Fehlstellen befindlichen Jahresringe davon betroffen, sodass der mittlere Datierungsfehler aller Ringe weiterhin weniger als ~ 5 Jahre beträgt. Bei einer messtechnischen Unsicherheit des Radiokarbonalters von mehr als 20 Jahren beeinflusst dies das Gesamtergebnis nur unwesentlich.

Fig. 3

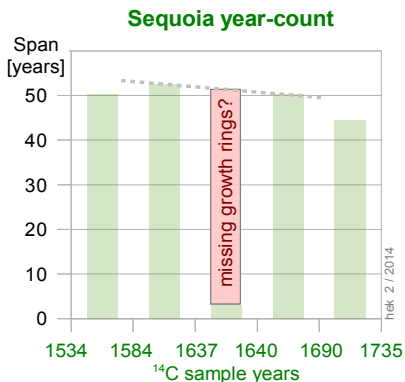
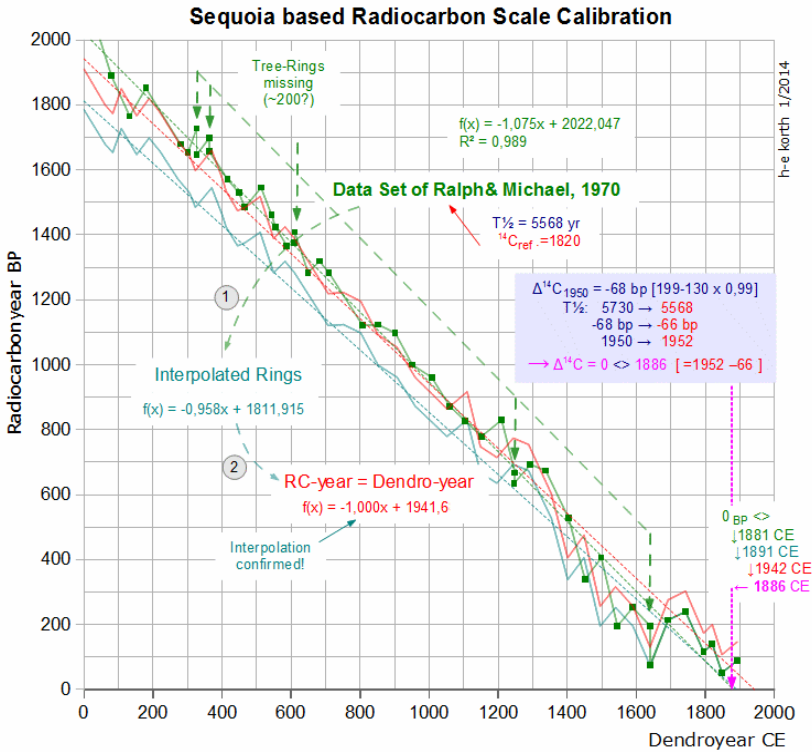


Fig. 4



Sind die fehlenden Ringe wie beschrieben rekonstruiert, so sollte das mittlere Alter der Sequoia-Ringe gleich dem mittleren der RC-Jahre sein. Über viele Jahrhunderte hinweg war das ¹⁴C/¹²C-Verhältnis in der Atmosphäre – wie der geradlinige Verlauf bestätigt – ja offenbar konstant.

Tatsächlich weichen die beiden Mittelwerte jedoch um 4,1% voneinander ab. Die Sequoia Messungen entstanden allerdings um 1970, also noch bevor das Bezugsjahr 130 BP <> 1820 errechnet wurde. Damals ging man vom Jahr 1950 CE aus und von einer Halbwertszeit von 5568 Jahren, aber selbstverständlich auch von der gleichen Dauer von Radiokarbonjahr und

Wuchsjahr. Wird die Halbwertszeit auf 5730 Jahre korrigiert, so verringert sich das gemessene RC-Alter dadurch um 2,9%.

Für das Jahr 1950 wurde später eine Abweichung von 199 Jahren gegenüber dem Bezugsjahr 1820 ermittelt. Die Messungen des Radiokarbonalters zeigen für 1950 demnach ein um 199-130 Jahre zu hohes RC-Alter und damit weitere 1,2% (=69/8267) zu wenig.

So sind insgesamt genau 4,1% zu korrigieren. Dies spricht für die Stimmigkeit unserer Überlegungen: Entspräche die angenommene Verteilung der interpolierten Ringe nicht weitgehend der Realität, wäre ein vom errechneten Wert abweichendes Verhältnis von Radiokarbonalter und Baumringen die Folge.

Aufgrund der geänderten Halbwertszeit liegt das Radiokarbonalter '0' der Sequoias nun um $69 \times 5730/5568$ Jahre vor dem Jahr '1950' (= '1820' + '130'). Die Zählung der definitionsgemäß gleich langen Dendrojahre wird damit um ebenfalls 2 Jahre gegen die Jahreszählung verschoben. Wird auch dies noch berücksichtigt, so liefern die Sequoias als Bezug schließlich das Jahr 64 BP <> 1886 CE \pm 5.

IntCal – Kalibrierung

Aber wie erklären sich die Unterschiede zur gängigen Kalibrierung anhand der Irischen Eichenchronologien? Um hierfür ein plausibles Bezugsjahr zu ermitteln, hatte V. Stuiver den Mittelwert von nur vier Proben bekannten Alters heran gezogen:

This $\delta^{14}\text{C}$ level (measured in later years but age-corrected back to the year 1950) is **the only available information** we have from the ^{14}C counts, and results in a radiocarbon age of 130 years ("AD 1820") for all four samples. The calculation of a conventional radiocarbon age is based on the **5568**-year half-life, which is different from the **5730**-year half-life used for the actual decay; (Stuiver, 1982, p.11)

Aus Mangel an Vergleichsdaten wurden also die verbliebenen Abweichungen der Halbwertszeit von ^{14}C zugeschrieben. Die Möglichkeit, dass $\Delta^{14}\text{C}$ auch zur Zeit der Probenentstehung un-

gleich '0' war, konnte seinerzeit nicht untersucht werden. Dies führte nun zu einer ganzen Reihe von Fehlschlüssen (Fig. 5):

1. Der 'bestmögliche' Mittelwert aus vier Proben wurde in den weiteren Überlegungen als 'korrekt' vorausgesetzt (was den an Sequoias gemessenen Daten jedoch widerspricht).
2. Offenbar ist die Annahme $1820 \text{ CE} \leftrightarrow \Delta^{14}\text{C} = 0$ also ebenfalls unrichtig.
3. Weil das mittlere Alter der Proben beim Dendrojahr '1810' lag, Radiokarbonjahr und Wuchsjahr aber gleich lang sein müssen, wurde eine abweichende Halbwertszeit angenommen.

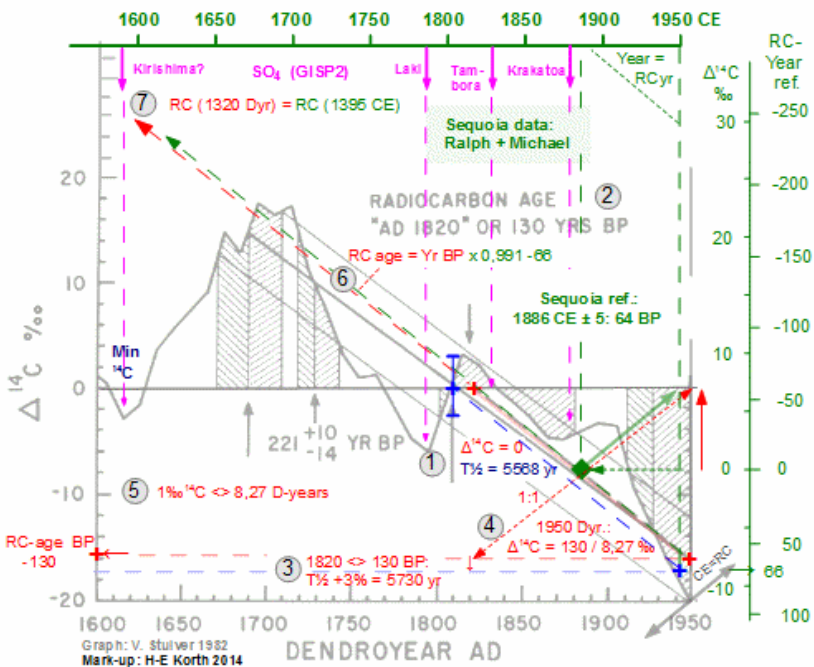


Fig. 5

4. Dies führte jedoch zu einem geänderten Wert von '1820' für das Bezugsjahr und implizit auch zu einer Verschiebung der Dendrojahre gegen die Zeitachse.

5. Dennoch wurde die ursprüngliche Skalierung des Radiokarbonalters beibehalten.

6. Hiermit wurde wiederum der 1:1 Anstieg des Radiokarbonalters vor dem Dendrojahr '1820' impliziert. Die Sequoia-Daten liefern bei dieser Skalierung für das Alter allerdings:
 $RC\text{-Alter} = \text{Jahr BP} \times 0,991 - 66$

7. Wird die Messreihe unter beiden Prämissen für $\Delta^{14}C = 0$ (1820 bzw. 1886) zurück verfolgt, erscheint nun das Radiokarbonalter für das Dendrojahr '1320' dem für 1396 CE gleich.

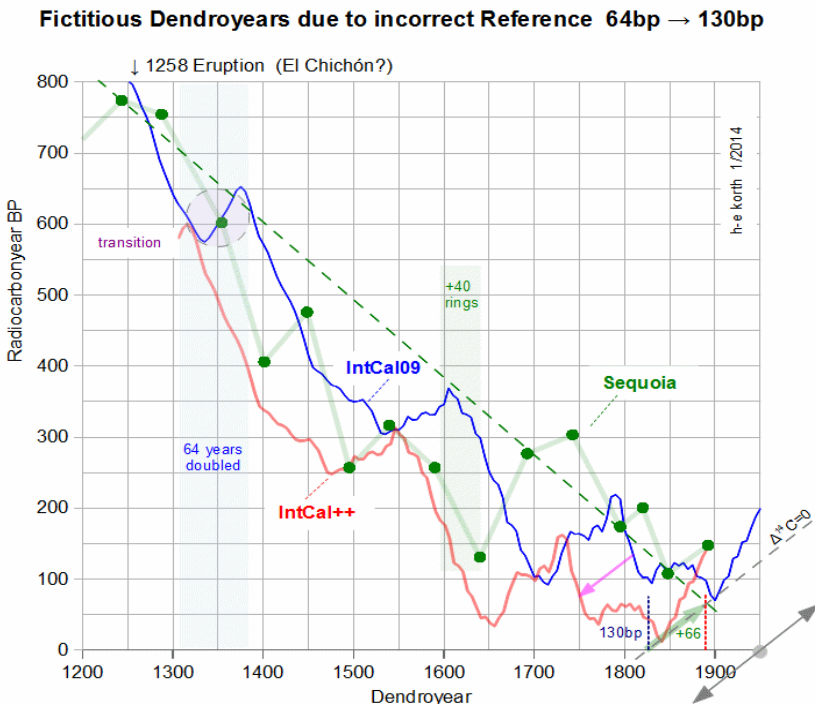


Fig. 6

Die nach Stuivers Kalibrierung von der Gegenwart zurück gezählten Radiokarbonjahre verbinden sich hier stetig und glatt mit der auf die Gegenwart bezogenen Dendrochronologie.

Fiktive Dendrojahre

Daraus folgte nun jedoch ein Bruch der als Bezug dienenden, lückenlosen 'Belfast AD'-Eichenchronologie⁸. Änderte sich der Maßstab von IntCal nur für die Neuzeit, so muss es nun zum Mittelalter hin eine Überlappung geben, d.h. die Kalibrierkurve wertet die Jahresringe einiger Jahrzehnte doppelt! Vor der Bruchstelle erscheinen somit alle ¹⁴C Messungen zu alt.

In Fig. 5 ist dem Verlauf der IntCal-Kurve (blau) die um 1% gestreckte Kurve (rot) mit 0 BP <> 1886 gegenüber gestellt. Dabei zeigt sich um das Jahr 1320 CE über mehrere Jahrzehnte ein glatter, kontinuierlicher Übergang.

Eine Bestätigung für den Bruch in der Abszisse von IntCal liefert der direkte Vergleich mit den Daten von Sequoia (Fig. 7): Die systematische Abweichung zwischen den IntCal-Werten

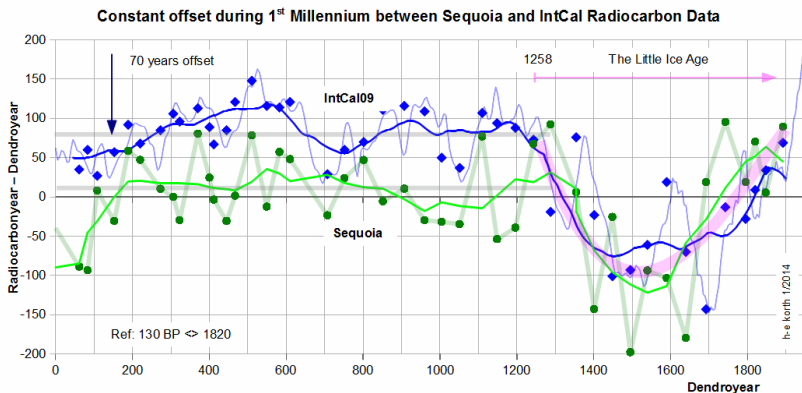


Fig. 7

- 8 Nach drei Jahrzehnten wurden diese Daten im April 2010 publiziert. Allerdings fehlten u.a. die Hölzer 'Cadzow' (Q2825, Q2652) und 'Shaw's bridge' (Q1987, Q2054) welche bei IntCal die Zeit von 1400 bis 1810 repräsentieren. Inzwischen wurden die Dendrodaten wieder von der QUB Homepage entfernt.

und Sequoia wird deutlich, wenn die Differenz zwischen RC-Alter und Baumring-Jahren dargestellt wird. Über mehr als ein Jahrtausend beträgt der mittlere Abstand der Kurven gleichbleibend etwa 70 Jahre. Da beide Kurven auf Dendrojahre bezogen sind, die Radiokarbonjahren von '1820' entsprechen, erscheinen sämtliche Differenzwerte um etwa 6 Jahre zu hoch.

Ab dem 13. Jahrhundert folgt der Einbruch der Kleinen Eiszeit, der sich im Kurvenverlauf eindrucksvoll abzeichnet. Den SO_4 -Spuren im Grönlandeis zufolge löste diese 1258 CE der gewaltigste Vulkanausbruch der letzten zwei Jahrtausende aus (Samboras, Indonesien?). Über 200 Jahre lang stieg das ^{14}C der Atmosphäre steil an. Eine Ursache für die Unterbrechung dieser Entwicklung im 14. Jahrhundert, wie sie IntCal zeigt, ist nicht erkennbar. Jene ist offenbar ein der Duplizierung geschuldetes Artefakt. Die geglätteten Kurven verlaufen dort nahezu identisch.

$\Delta^{14}\text{C}$ und Messfehler

Der direkte Vergleich der Messwerte an Eichen (IntCal) und Sequoia erlaubt es schließlich, auch die zeitlichen Schwankungen von ^{14}C und die Messfehler weitgehend zu trennen. Hierzu wurden der IntCal-Tabelle die Werte der 48 Sequoia-Datierungen entnommen:

Für die Varianzen σ von Sequoia und IntCal, sowie deren Differenz werden damit folgende Werte ermittelt:

$$\sigma_{^{14}\text{C}+\text{Sequoia}} = 44 \text{ J.}; \quad \sigma_{^{14}\text{C}+\text{IntCal}} = 38 \text{ J.}; \quad \sigma_{\text{IntCal}-\text{Sequoia}} = 51 \text{ J.}$$

Diese setzen sich zusammen aus der natürlichen, i.W. durch Vulkanismus verursachten Schwankung des ^{14}C und den Messfehlern bei der ^{14}C Bestimmung:

$$\sigma_{^{14}\text{C}+\text{Sequoia}}^2 = \sigma_{^{14}\text{C}}^2 + \sigma_{\text{Messfehler Sequoia}}^2$$

$$\sigma_{^{14}\text{C}+\text{IntCal}}^2 = \sigma_{^{14}\text{C}}^2 + \sigma_{\text{Messfehler IntCal}}^2$$

$$\sigma_{\text{IntCal}-\text{Sequoia}}^2 = \sigma_{\text{Messfehler IntCal}}^2 + \sigma_{\text{Messfehler Sequoia}}^2$$

$$4 \times \sigma_{14C}^2 = \sigma_{\text{IntCal-Sequoia}}^2 - \sigma_{14C \text{ Sequoia}}^2 - \sigma_{14C \text{ IntCal}}^2$$

Durch Lösen des Gleichungssystems lassen sich die einzelnen unabhängigen Komponenten errechnen:

$$\sigma_{14C} = 20 \text{ J.}; \quad \sigma_{\text{Messfehler Sequoia}} = 39 \text{ J.}; \quad \sigma_{\text{Messfehler IntCal}} = 32 \text{ J.}$$

Wie sich zeigt, sind die Messfehler fast doppelt so groß wie die Varianz der Radiokarbon-Werte, wobei die älteren Sequoia-Messungen ein wenig stärker streuen, als jene von IntCal.

Die Schwankung des atmosphärischen ^{14}C verläuft, wie der Vergleich mit dem Sulfat des GISP2 Eiskerns beweist, synchron zum Vulkanismus, welcher eine Abkühlung der Atmosphäre bewirkt, damit einen Rückgang von Verdunstung und Niederschlägen was zu einer geringeren Auswaschung des ^{14}C führt. Vulkanausbrüche scheinen somit die bei weitem überwiegende Ursache dieser Schwankungen zu sein. Werden jene herausgerechnet, dann springt die dramatische, offenbar auf menschliche Aktivitäten zurückzuführende Veränderung seit dem vergangenen Jahrhundert unmittelbar ins Auge.

Berichtigung der IntCal-Skalierung

Um die IntCal-Kalibrierung optimal zu nutzen, muss diese auf den Bezugswert 64 BP $\langle \rangle$ 1886 CE ± 5 korrigiert werden. Dies hat über die Neuzeit hinweg ein scheinbar geringfügig längeres Radiokarbonjahr, sowie eine Verschiebung der Kurve zur Folge (Fig. 8).

Im 14. Jahrhundert entfallen 66 verdoppelte Wuchsringe, wodurch das Radiokarbonalter hier um 72 Jahre zu hoch erscheint. Davor steigt das Alter über ein Jahrtausend lang linear an. Die derzeitigen, mit IntCal kalibrierten Datierungen liefern dort durchweg um 72 - 82 Jahre zu frühe Werte.

^{14}C -Datierungen in der Antike:

Ein weiterer Bruch in der ^{14}C -Datierung zeigt sich beim Übergang von der Antike zum frühen Mittelalter: Wie die

Analyse von Petra und Lars-Åke Larsson⁹ belegt, sind Hölzer der Römerzeit Westeuropas im Vergleich zu den anderen, sich gegenseitig bestätigenden 'AD'-Dendrochronologien um 218 Jahre zu alt datiert.

Wie ist das möglich? Jahrzehntlang fehlte eine zufriedenstellende Verknüpfung zwischen den an Jahreszahlen der Antike datierten Gehölzen und mehreren, bis zur Gegenwart reichenden Dendrochronologien (vgl. auch Fig 1). Radiokarbon lieferte zudem bei römischen Hölzern stets ein etwa drei Jahrhunderte geringeres Alter als zu erwarten. Da die Gültigkeit der überlieferten historischen Jahreszahlen jedoch außer Frage stand, wurde angenommen, dass die atmosphärische ¹⁴C-Konzentration über die Antike hinweg um gut 3% höher als in späterer Zeit gewesen sein

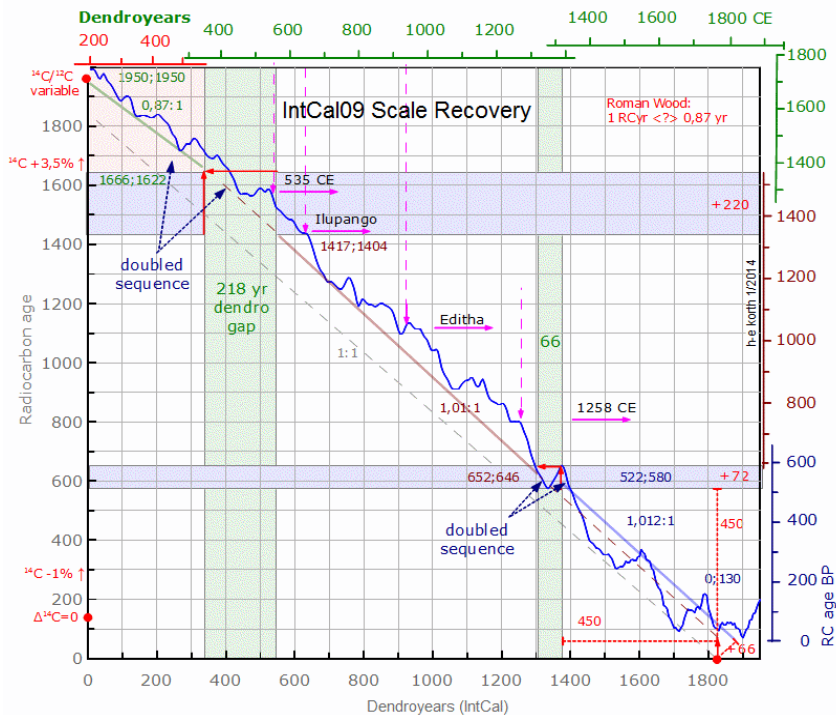


Fig. 8

müsse. Da 1% ^{14}C etwa 82 Jahren entspricht, erklärte dies die eigenartige Abweichung.

Wurden allerdings, wie Larsson nachwies, hier mehr als zwei Jahrhunderte verdoppelt, dann bestand auch davor praktisch eine 1:1 -Beziehung zwischen Radiokarbonalter und Dendrochronologie. Das Verhältnis beider Größen war demnach anders als angenommen. blieb jedoch die Konzentration von ^{14}C konstant, so kann als Alters-Bezug für IntCal über die Antike hinweg nun nicht mehr der gleiche Maßstab ('Dendrojahre') wie in der Neuzeit gelten.

Dass dies tatsächlich der Fall ist, lässt sich durch Gegenüberstellung der IntCal-Daten mit den Jahresschichten des GISP2 Eiskerns zeigen¹⁰: Größere Vulkaneruptionen hinterließen Sulfat-Niederschläge im Eis. Sie führten aber auch zu einem abrupten, vorübergehenden Anstieg von ^{14}C und damit zu 'Knickstellen' im Verlauf von IntCal, die sich nach zweimaliger Differenzbildung als Minima zeigen:

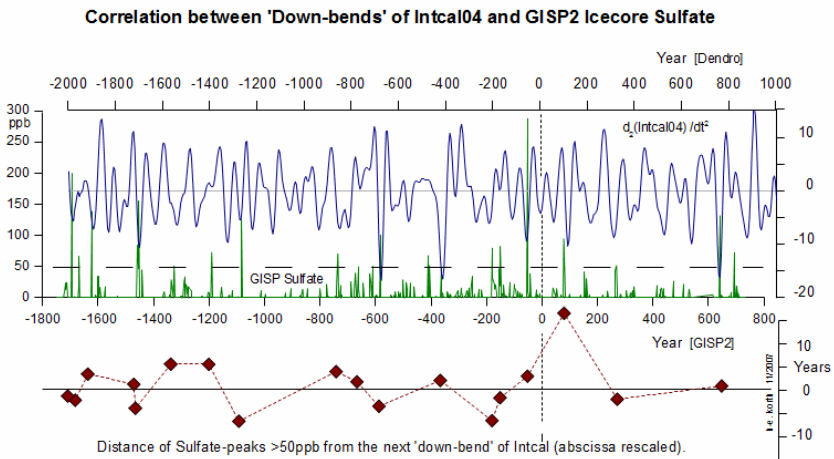


Fig. 9

¹⁰ Korth, 2013, S. 198ff.

- Bei der Eruption '79' [GISP] handelt es sich nicht um den Vesuv 79 AD.

$$\Delta_2 \text{IntC}(n) = \{\text{IntC}(n) - \text{IntC}(n-1)\} - \{\text{IntC}(n+1) - \text{IntC}(n)\}$$

Werden die 18 Eruptionen verglichen, welche im Grönlandeis mehr als 50 ppb Sulfat hinterlassen haben (Fig. 9), so zeigt sich bei gleicher Skalierung der Zeitachsen keine Korrelation. War dagegen die 'AD'-Skala der Dendrojahren zuvor um 290 Jahre zur Antike hin verschoben und zugleich um dem entsprechende 15% geschrumpft, so beträgt nach einer Berichtigung der mittlere Abstand zur nächsten Knickstelle nun weniger als 5 Jahre. Eine zufällige Übereinstimmung von 18 Werten erscheint ausgeschlossen.

Über viele Jahrtausende lässt sich diese Beziehung zurück verfolgen: Wird der Anstieg von CO₂ im arktischen Eis zu Beginn des Holozän dem gleich verlaufenden Anstieg der über 'Proxies' (z.B. anhand der Jahresschichten von Korallen oder Varven) datierten Erdtemperatur gegenüber gestellt¹¹, so scheint zwischen den beiden eng verknüpften Vorgängen um 15.000 BP eine Spanne von fast zwei Jahrtausenden zu liegen (Fig. 10). Die Abweichung rührt offenbar daher, dass die indirekt auf ¹⁴C bezogenen Jahre der CO₂-Kurve um 15% zu alt datiert sind.

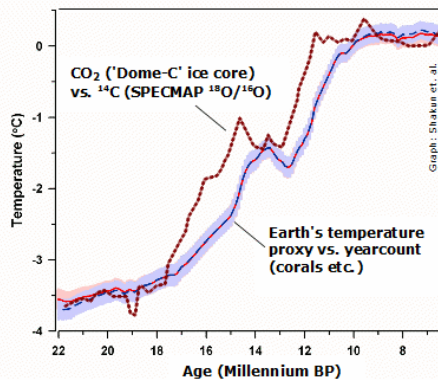


Fig. 10

Die Abweichung rührt offenbar daher, dass die indirekt auf ¹⁴C bezogenen Jahre der CO₂-Kurve um 15% zu alt datiert sind.

Zusammenfassung

Die Analyse des an Sequoias gewonnenen Radiokarbonalters erlaubt eine statistisch abgesicherte Bestimmung des Bezugsjahres 1886 CE ± 5. Von hier aus zurückgehend zeigt sich in der auf Dendrojahren basierenden Zeitachse

¹¹ Shakun et al., 2012

von IntCal im 14. Jh. eine Verdopplung von 64 'Jahresringen'. Der dort irreguläre Verlauf von $\Delta^{14}\text{C}$ erweist sich als Artefakt.

Über Spätantike und Mittelalter hinweg liefern die IntCal-Datierungen daher um ca. 80 Jahre zu hohe Alterswerte. Wird dies berücksichtigt, so korrelieren die bekannten vulkanischen Großeruptionen mit Zeiten plötzlichen Anstiegs von $\Delta^{14}\text{C}$. Die bislang nur schwer erklärbare Abweichungen zwischen historisch datierten¹² Objekten und deren Radiokarbon-Alter verschwinden gleichfalls.

Ergänzt durch die von Larsson nachgewiesene, um 218 Jahre zu alte Datierung römischer Hölzer lassen sich nun auch die Verdopplungen der Zeitachse von IntCal, sowie die um 15% verkürzten Radiokarbonjahre der Antike richtig stellen.

Die Unsicherheit bei der Datierung mit ^{14}C sinkt damit auf den durch die Messung bedingten Fehler (ca. 30 Jahre), welcher durch zusätzliche Informationen sowie 'Wiggle Matching' weiter verringert werden kann.

Quellen

Baillie, M. G. L.: To whom it may concern. 10.2012, Private Communication

Biondi, Franco: Dendrochronology, in Plant Science, Vol 2., 2001, 68, <http://wolfweb.unr.edu/homepage/fbiondi/Biondi2001.pdf>

Mark Horton, Es ist Editha, 2010
<http://www.sueddeutsche.de/wissen/geschichtsforschunges-ist-editha-1.961579>

12 vgl. Newton, 1728

Korth, H-E., Der größte Irrtum der Weltgeschichte. Von Isaac Newton 1689 entdeckt - bis heute unvorstellbar, 2013
ISBN 978-3954884940, <http://www.jahr1000wen.de>

Larsson, Petra und Lars-Åke, 2013, The European oak chronology - an analysis of available data,
www.cybis.se/forfun/dendro/hollstein/ ...

... hollsteinintro3diagrams/index.htm

1. Matching Danish oak - absolutely dated to AD 1986 - towards North Scandinavian pine:

... hollsteinintro3/westdktofinnishttgraph.gif

2. Matching Roman time oak of NW Europe - conventionally dated to AD 328 - towards North Scandinavian pine:

... hollsteinintro3/romantofinnishttgraph.gif

Libby, Willard F.: Radiocarbon Dating, 2nd ed., Chicago Press, 1955.

Mayewski, P. et al: 'GISP2' Ice Core - volcanic sulphate data, 1997:
<ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/greenland/summit/gisp2/chem/volcano.txt>

Newton, Isaac: The Chronology of Ancient Kingdoms Amended, 1728

Pearson G.W., Pilcher J.R., Baillie M.G.L., Corbett D.M. and Qua F. 1986. High-Precision 14-C Measurement of Irish Oaks to Show the Natural 14-C Variations from AD 1840 to 5210 BC. Radiocarbon 28, 911-934.

Queen's University Belfast, Dendrochronology:

http://chrono.qub.ac.uk/Resources/dendro_data/dendro.html (dead)

Referred by: www.informath.org/apprise/a3900/b1009211.htm

www.docstoc.com/docs/163878023/BelfastRadiocarbonxlsx---Cybis

Reimer, P.J. et al.: IntCal09 and Marine09 Radiocarbon Age Calibration Curves, 0-50,000 Years cal BP, Radiocarbon, Vol 51, nr 4, 2009

Ralph E.K. and Michael H.N 1970 MASCA radiocarbon dates for sequoia and bristlecone pine samples. In, Nobel Symposium 12: Radiocarbon Variations and Absolute Chronology Ed I.U. Olsson. John Wiley and Sons New York. pages 619-623

Shakun J.D. et al.: Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations... *Nature* 484, 49–54
www.nature.com/nature/journal/v484/n7392/extref/nature10915-s1.pdf

Stuiver M. 1982, High Precision Calibration of the Radiocarbon Time Scale. *Radiocarbon* 24,1 1982 pages 1-26