

6-01 Radiokarbonmethode – Übersichtsblatt

Sinngleiche und verwandte Begriffe

Radiokohlenstoff, ^{14}C , Kohlenstoffmethode, ^{14}C -Methode, Radiokarbonuhr.

Ziel

Versuch, den radioaktiven Zerfall von ^{14}C zur Altersbestimmung archäologischer und geologischer Objekte zu nutzen; z. B. Bestimmung der verflossenen Zeit seit Ausschluss vom Kohlenstoffkreislauf (Tod).

Grundlagen

^{14}C ist ein Radioisotop, welches sich (gegenwärtig) in der Stratosphäre bildet und als CO_2 in den Kohlenstoffkreislauf der Natur eingebunden wird. Halbwertszeit: 5730 ± 40 Jahre (nach GODWIN 1982).

Vorgehensweise

Ermittlung der Kohlenstoff-Isotopenmengen und -Isotopenverhältnisse; mit Kenntnis der Zerfallsrate Berechnung des ^{14}C -Alters (nach STUIVER & POLLACH 1977, → 6-11). I. d. R. Ausweis kalibrierter ^{14}C -Alter (s. Eichung).

Basisannahmen

1. Unveränderlichkeit der ^{14}C -Zerfallsrate für den gesamten Bildungszeitraum in der Vergangenheit und in jeder Umgebung.
2. Konstante ^{14}C Produktionsrate für den gesamten Bildungszeitraum in der Vergangenheit.
3. Im Verhältnis zur Zerfallsrate schneller Kohlenstoffaustausch zwischen den Reservoiren (Atmosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre, Geosphäre).
4. Keine Fraktionierung der Kohlenstoffisotope im Kohlenstoffkreislauf.
5. Einstellung des Kohlenstoffaustauschs mit der Umgebung nach dem Tod des Organismus oder der Sedimentation von Karbonaten.

Historie

Idee (LIBBY 1946); Methode (LIBBY 1952, 1969); Nachweis Altersdiskrepanzen (DE VRIES 1958); erste Eichkurve (SUESS 1965); systematische Kalibrationskurven (u. a. STUIVER et al. 1986, 1998; REIMER et al. 2004, 2009, 2013, 2020), aktuell u. a. IntCal20 (→ 6-41).

Anwendung

Archäologie, Quartärgeologie, Paläobotanik;

sehr verbreitet.

Angabe/Größenordnung der Ergebnisse

Die ermittelten Isotopenalter liegen im Bereich von bis zu 50.000 ^{14}C -Jahren; technisch sind auch etwas höhere Werte möglich.

- Konventionelle ^{14}C -Alter: z. B. 11.099 ± 68 ^{14}C -Jahre BP¹.
- Kalibrierte ^{14}C -Alter: z. B. 13.091-12.794 cal ^{14}C -Jahre BP, zusätzlich Angabe der Kalibrierungskurve und des -Programms.

Bekannte Einschränkungen/Probleme

Die ^{14}C -Produktion unterliegt beträchtlichen zeitlichen und breitenabhängigen Schwankungen; darüber hinaus sind Einflüsse der Industrialisierung sowie des Kernwaffengebrauchs und sogenannte Reservoir- und Hartwassereffekte bekannt, Einflüsse durch vulkanisches CO_2 werden vermutet.

Eichung

Atmosphärische Kalibrationskurve der nördlichen Hemisphäre (IntCal20):

- Skalenbereich von ca. 13.900 bis 0 kalibrierte ^{14}C -Jahre BP: Baumringe (Baumringchronologien), → 5.01.
- Skalenbereich ca. 55.000 bis ca. 13.900 kalibrierte ^{14}C -Jahre BP: Laminierte Sedimente (Warvenchronologien), U-Th-datierte Speläotheme (Höhlenminerale) und Korallen.

Mit der Kalibrierung sollen alle möglichen Einflüsse (s. o.) Berücksichtigung finden.

Altersbestimmungsverfahren

Anspruch: unabhängig und (nach Kalibration) quasi absolut (für den dendrokalibrierten Teil).

Verifizierung

Die Methode bedarf einer unabhängigen Verifizierung durch Objekte/Ereignisse bekannten (historischen) Alters.

Gültigkeit (der Ergebnisse)

Die Erfüllung der Voraussetzungen (insbesondere die Basisannahmen 1 und 2) sind bisher nicht nachgewiesen. Die langen Baumringchronologien verifizieren die ^{14}C -Zeitskala vor dem ersten christlichen Jahrtausend nicht; es sind Baumringchronologien konstruiert worden, die sich aus ^{14}C -datierten

¹ BP = before present, Basis 1950

Jahrringsequenzen zusammensetzen (KOTULLA 2019).

a) Absolute Altersbestimmung

- 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}C -Alter zum realen Alter stehen.

b) Relative Altersbestimmung

- Eingeschränkt gegeben. Unter strenger Beachtung der Probenentnahme und ihrer stratigraphischen Stellung ist eine Relation Zunahme des relativen Alters zu Zunahme des Isotopenalters für eine Mehrzahl der Bestimmungen (Datierungen) gegeben.

Kritik und Handlungsbedarf

^{14}C -Datierungsergebnisse etwa > 3.000 kalibrierte ^{14}C -Jahre BP werden von den Bearbeitern gegenüber der Öffentlichkeit fast ausnahmslos als quasi reale Alter dargestellt und kommuniziert; dies ist in Anbetracht der unsicheren Erkenntnisse (keine unabhängige Bestätigung, s. o.) eine deutliche Grenzüberschreitung. Entscheidungsträger und Öffentlichkeit sind aktiv und vollumfänglich über die Gültigkeit und Grenzen von ^{14}C -Datierungsergebnissen aufzuklären.

Literatur

DE VRIES H (1958) Variation in concentration of radiocarbon with time and location on earth. Koninkl. Ned. Akad. Wetenschappen *B61*, 94-102.

GODWIN H (1962) Half-life of Radiocarbon. *Nature* *195*, 984.

KOTULLA M (2019) 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

LIBBY WF (1946) Atmospheric Helium Three and Radiocarbon from Cosmic Radiation. *Physical Review* *69*, 671-672.

LIBBY WF (1952) Radiocarbon dating. Chicago.

LIBBY WF (1969) Altersbestimmung mit der C^{14} -Methode. Mannheim.

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, HOGG AG, 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>

REIMER PR, BAILLIE MGL, BARD E, BAYLISS A, BECK JW, BERTRAND CJH, BLACKWELL PG, BUCK CE, BURR GS, CUTLER KB, PAUL E, DAMON PE, EDWARDS RL, FAIRBANKS RG, FRIEDRICH M, GUILDERSON HP, HOGG AG, HUGHEN KA, KROMER B, MCCORMAC G, MANNING S, RAMSEY CB, REIMER RW, REMMELE S, SOUTHON JR, STUIVER M, TALAMO S, TAYLOR FW, VAN DER PLICHT J & WEYHENMEYER CE (2004) IntCal04 Terrestrial Radiocarbon Age Calibration, 0–26 cal kyr BP. *Radiocarbon* *46*, 1029-1058.

REIMER PJ, BAILLIE MGL, BARD E, BAYLISS A, BECK JW, BLACKWELL PG, BRONK RAMSEY C, BUCK CE, BURR GS, EDWARDS RL, FRIEDRICH M, GROOTES PM, GUILDERSON HP, HAJDAS I, HEATON TJ, HOGG AG, HUGHEN KA, KAISER KF, KROMER B, MCCORMAC FG, MANNING SW, RAMSEY CB, REIMER RW, RICHARDS DA, SOUTHON JR, TALAMO S, TURNEY CSM, VAN DER PLICHT J & WEYHENMEYER CE (2009) IntCal09 and Marine09 Radiocarbon Age Calibration Curves, 0-50,000 Years Cal BP. *Radiocarbon* *51*, 1111-1150.

REIMER PJ, BARD E, BAYLISS A, BECK JW, BLACKWELL PG, BRONK RAMSEY C, BUCK CE, CHENG H, EDWARDS RL, FRIEDRICH M, GROOTES PM, GUILDERSON HP, HAFLIDASON H, HAJDAS I, HATTÉ C, HEATON TJ, HOFFMANN DL, HOGG AG, HUGHEN KA, KAISER KF, KROMER B, MANNING SW, NIU M, REIMER RW, RICHARDS DA, SCOTT EM, SOUTHON JR, STAFF RA, TURNEY CSM & VAN DER PLICHT J (2013) IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0-50,000 Years Cal BP. *Radiocarbon* *55*, 1869-1887.

SUESS HE (1965) Secular variations of the cosmic-ray produced carbon 14 in the atmosphere and their interpretations. *Journal of Geophysical Research* 70, 5937-5952.

STUIVER M, KROMER B, BECKER B & FERGUSON CW (1986) Radiocarbon age calibration back to 13,300 years BP and the 14C age matching of the German oak and US bristlecone pine chronologies. In: STUIVER M & KRA RS (eds.) *Proceedings of the 12th International 14C Conference*. *Radiocarbon* 28, 969-979.

STUIVER M & POLLACH HA (1977) Discussion: Reporting of ¹⁴C data. *Radiocarbon* 19, 355-363.

STUIVER M, REIMER PJ, BARD E, BECK JW, BURR GS, HUGHEN KA, KROMER B, MCCORMAC G, VAN DER PLICHT J & SPURK M (1998) *IntCal98 Radiocarbon Age Calibration, 24,000-0 cal BP*. *Radiocarbon* 40, 1041-1083.

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

Zur Ergänzung → 5-21, 5-22, 5-23.