

Radiokohlenstoffdatierung

Bernd Kromer

Die Datierung mit dem radioaktiven Isotop des Kohlenstoffs, ^{14}C , ist eine gut etablierte, universell anwendbare Technik. Ihre Vorzüge liegen in der weiten Verbreitung von Kohlenstoff in der Natur, den einfachen Randbedingungen im Kohlenstoffkreislauf, und der günstigen Halbwertszeit von 5730 Jahren, mit der wichtige Abschnitte der neueren Menschheitsgeschichte, bis ca. 50.000 Jahre zurück in die letzte Eiszeit, abgedeckt werden können.

1.1 Grundlagen

^{14}C wird kontinuierlich in Kernreaktionen der Luft in der oberen Atmosphäre mit der Höhenstrahlung erzeugt. Die ^{14}C -Produktion hängt von Höhenstrahlfluss ab, der wiederum durch die magnetische Abschirmung der Erde – nämlich durch das Erdmagnetfeld und das solare Magnetfeld im Sonnenwind – kontrolliert wird. Beide Komponenten sind nicht streng konstant, weshalb auch der ^{14}C -Anteil im Kohlenstoff in der Vergangenheit Schwankungen unterlegen ist. Nach der Produktion tritt ^{14}C zunächst als $^{14}\text{CO}_2$ im Kohlendioxid der Atmosphäre auf und wird durch die schnelle Mischung der unteren Atmosphäre (Troposphäre) homogen in einer Hemisphäre verteilt. Der zentrale Schritt ist dann die Fixierung von Kohlenstoff durch Photosynthese in Pflanzen, wodurch ^{14}C in langfristig stabile Archive, z.B. Baumringe oder Knochen, eingebaut wird. Nach dem Absterben des Organismus findet kein weiterer Austausch von ^{14}C mit dem Reservoir in der Atmosphäre (direkt durch Photosynthese, oder indirekt über die Nahrungsaufnahme in der Fauna) mehr statt, und der ^{14}C -Gehalt nimmt durch radioaktiven Zerfall ab.

Die ^{14}C -Datierung besteht demnach aus drei Schritten:

1. Der Bestimmung der heute in einer organischen Probe verbliebenen ^{14}C -Aktivität, d.h. dem heutigen Verhältnis von ^{14}C zum stabilen Isotop ^{12}C ,
2. der Ermittlung der ^{14}C -Aktivität der Atmosphäre zum Absterbezeitpunkt in der Vergangenheit, und
3. der Messung der Zerfallskonstante, bzw. Halbwertszeit von ^{14}C .

Letzteres ist streng genommen nicht erforderlich, weil ^{14}C -Alter, wie nachstehend beschrieben, über andere, unabhängig datierte Methoden, z.B. die Baumringdatierung, kalibriert werden, wodurch Unsicherheiten in der Halbwertszeit nicht in die Berechnung eingehen.

Die Messung des $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnisses in einer Probe kann grundsätzlich auf zwei Arten geschehen, durch den Nachweis des ^{14}C -Zerfalls in Radioaktivitätsdetektoren, z.B. Zählrohren oder Szintillationszählern (radiometrische Technik) oder durch den direkten Nachweis des ^{14}C -Isotops in einem Massenspektrometer (AMS-Technik, accelerator mass spectrometry). In Bezug auf Datierungsgenauigkeit und Altersreichweite sind beide Techniken bei Routineanwendungen äquivalent. Die AMS-Technik bietet aber zwei entscheidende Vorteile: die erforderliche Probenmenge liegt im Milligrammbereich und die Messzeit beträgt nur ca. 30 Minuten, wodurch sich hohe Probenzahlen erreichen lassen.

Die Kenntnis des $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnisses in der Vergangenheit erhält man aus der ^{14}C -Messung von kohlenstoffhaltigem Material, das mit einer unabhängigen Technik datiert worden ist. Eine ideale Quelle ist die Baumringdatierung, da die Zellulose von Baumringen in direkter Weise den atmosphärischen ^{14}C -Pegel speichert, und die Baumringdatierung jahrgenaue Alter liefert. Für die früheren Zeiträume, für die keine Baumringchronologien erstellt sind, greift man auf Karbonate in der Ozeandeckschicht zurück (Korallen, Foraminiferen). Die Datierung geschieht bei Korallen durch die Uran/Thorium-Datierung; Foraminiferen werden im Ozean-sediment deponiert, so dass hier gängige Sediment-Datierungstechniken (Varven, ^{18}O -Skala) angewendet werden.

Die Geschichte der ^{14}C -Kalibration ist ein faszinierendes Beispiel der Zusammenarbeit mehrerer Disziplinen. Daher wird im nächsten Abschnitt ein Abriss der Entwicklung der ^{14}C -Kalibration und ihres derzeitigen Standes gegeben.

1.2 Kalibration der ^{14}C -Alter

Seit den Anfängen der ^{14}C -Datierung gibt es intensive Kooperationen zwischen ^{14}C -Forschern und Botanikern, die sich mit der Baumringdatierung (Dendrochronologie) befassen (Becker 1992). ^{14}C -Messungen an Borstenkiefer-Chronologien (Suess 1978) ergaben bereits Hinweise auf ^{14}C -Schwankungen und generell jüngere ^{14}C -Alter im Vergleich zu Kalender-Altern, aber erst der Aufbau von Eichenchronologien in Süddeutschland und Irland (Pilcher et al. 1984) gestatteten wegen der nahezu unbegrenzten Probenmenge den Aufbau von in Dekaden hochaufgelösten, hochgenauen Kalibrationsdatensätzen. Aus diesen Daten entstand 1985 eine erste, international vereinbarte ^{14}C -Kalibrationskurve (Pearson et al. 1986; Stuiver et al. 1986), die bis 5500 v. Chr. zurückreichte. Die Fundstellen der Bäume sind fluviale Schotter an Main, Rhein und Donau und Moore in Nordirland. Intensive Feldarbeit führte zur Ausweitung der Jahrringchronologien in die Vergangenheit, und damit zu zwei weiteren, längeren Versionen der ^{14}C -Kalibrationskurve. 1998 wurde der Datensatz IntCal98 (Stuiver et al. 1998) publiziert, und 2004 entstand die derzeit gültige Version IntCal04 (Reimer et al. 2004), deren Baumring-basierter Abschnitt bei 12.400 Jahren vor heute (cal BP, calibrated years before present, d.h. 1950 AD) beginnt. Bis auf einige Jahrhunderte am Anfang dieses Zeitraums sind immer Messungen mehrerer ^{14}C -Labors verfügbar und in den Datensatz gemittelt (Buck et al. 2004), so dass die Arbeit an diesem Abschnitt, der ja bis ins Paläolithikum hineinreicht, als abgeschlossen gelten kann.