Einfluss von Störfaktoren auf die 14C-Datierung pleistozäner und holozäner Materialien

Autor(en): **Keller, Waldemar A.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Geographica Helvetica : schweizerische Zeitschrift für Geographie = Swiss journal of geography = revue suisse de géographie = rivista svizzera di geografia**

Band (Jahr): **42 (1987)**

Heft 2

PDF erstellt am: **10.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-872679

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Einfluß von Störfaktoren auf die ^{14}C-Datierung pleistozäner und holozäner Materialien

Abstract:

Every ^{14}C age date should be understood in the context of the ^{14}C-dating method if the date is to have significance. Therefore, it is essential to know the problems and uncertainties of the ^{14}C-dating method. These can be grouped in an intrinsic part containing physical, geophysical and geochemical causes and in an incidental part including the whole field of contamination. Each aspect is explained and some examples are given.

Key Words:

Radiocarbon dating, problems of the method

1. Vorbemerkungen

Die ^{14}C-Datierungsmethode kann sicher als eine der genauesten und zuverlässigsten Altersbestimmungsmethoden für den Zeitraum der letzten ca. 50 000 Jahre betrachtet werden. Wo und wann immer möglich greift man, falls es die jeweiligen Fundumstände erlauben, auf dieses Verfahren zurück. Verständlich, daß die Probenaufbereitungs- und Meßtechnik auf diesem Gebiet einen beachtlichen Stand aufweisen, so daß die ^{14}C-Altersbestimmung heute als Routine gelten kann. Es scheint deshalb sinnvoll und angebracht, von Zeit zu Zeit auf die Probleme bei der Bestimmung der ^{14}C-Konzentration im Probenmaterial hinzuweisen, damit der «Verbraucher» von ^{14}C-Alterswerten sich immer bewußt bleibt, welchen naturgegebenen und/oder anthropogen bedingten Einflüssen die ^{14}C-Konzentration einer Probe ausgesetzt ist. Diese Störfaktoren als Ursachen von Schwankungen der ^{14}C-Konzentration im Probenmaterial lassen sich vereinfacht in zwei Gruppen einteilen. Zum einen ist da der methodeninhärente Anteil, worunter die physikalischen, geophysikalischen und geochemischen Ursachen zu verstehen sind. Den andern Beitrag liefern geologische und (prä-)historische Ereignisse und Prozesse und – nicht zu unterschätzen – das Kontaminationsproblem. Im folgenden sollen einzelne Punkte kurz besprochen werden.

2. Methodische Unsicherheiten

2.1 Physikalische Ursachen

Die ^{14}C-Altersbestimmung beruht auf dem radioaktiven Zerfall des Nuklids ^{14}C. Meßwerte solcher Zufallsereignisse wie die des radioaktiven Zerfalls sind immer mit einem bestimmten Fehler behaftet (Streuung). Der «wahre» Wert liegt dann jeweils mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit innerhalb vorgegebener Grenzen. Für konventionelle ^{14}C-Altersangaben liegen diese Grenzen i.a. bei $\pm 1\sigma$, dabei treten bei höheren ^{14}C-Alter asymmetrische Werte für die Standardabweichung auf, d.h. es wird $|+\sigma| > |-\sigma|$.

Drei Faktoren bestimmen die Größe des σ-Wertes:

1. die zur Verfügung stehende Probenmenge
2. das Probenalter, d.h. die gemessene Restaktivität
3. die Meßdauer zur Bestimmung der Restaktivität

Die beiden ersten Punkte sind gegeben durch die Menge des eingesandten Probenmaterials und das Alter der Probe, so daß eine Verringerung des σ-Bereiches einzig mit der Vergrößerung der Meßdauer erreicht werden kann. Dabei gilt, daß eine Meßzeitverdoppelung zu einer Verringerung des σ-Wertes um den Faktor $\sqrt{2}$ führt. Selbstverständlich kann aus Gründen der Arbeitsökonomie die Meßdauer nicht beliebig verlängert werden.

Die seit einigen Jahren eingesetzte AMS-Technik erlaubt eine direkte Bestimmung der ^{14}C-Konzentration ohne Umweg über die Radioaktivitätsmessung. Bei dieser Technik hängt die Breite des σ-Bereichs ebenfalls von der Meßdauer ab, daneben spielen aber auch andere Faktoren eine Rolle.

Auf Grund der Nachweisgrenze bei den einzelnen Techniken ist eine Ausdehnung der ^{14}C-Methode bis ca. 55 000 Jahre vor heute möglich, spezielle zusätzlich eingesetzte Verfahren erlauben Datierungen bis ca. 70 000 vor heute.

2.2 Geophysikalische Ursachen

Voraussetzung für eine ^{14}C-Datierung ist die Konstanz der Standardrezentaktivität des ^{14}C der Atmosphäre als Referenzwert. Daß dem nicht immer so war, bezeugen ^{14}C-Datierungen einzelner Jahrringe von Bäumen bekannten Alters; hier zeigen sich Abweichungen zwischen ^{14}C- und Jahrringalter. Auf

Waldemar A. Keller, Dr., Geogr. Institut der Universität Zürich-Irchel, Winterthurerstr. 190, 8057 Zürich

Grund dieses Sachverhaltes lassen sich drei Arten von ^{14}C-Variationen in der Atmosphäre unterscheiden:

- *Langzeittrend:* Dieser weist eine Periodizität von fast 9000 Jahren auf und ist in etwa äquivalent den Schwankungen des Erdmagnetfeldes. Neuere Untersuchungen deuten diesen Verlauf eher als Auswirkungen von Änderungen bezüglich der Austauschrate und des Inhalts der globalen Kohlenstoffreservoirs (Atmosphäre, Biosphäre, Ozean). Das Kurvenbild zeigt sinusoidalen Charakter und läßt sich mit einem Polynom dritten Grades approximieren.
- *Mittelfristige Variationen:* Hier handelt es sich um Schwankungen von einigen hundert Jahren innerhalb historischer Perioden von weniger als einem halben Jahrhundert Dauer. Die Ursache dieser Abweichungen liegt in der Änderung der Sonnenaktivität. Bekannte Effekte dieser Art sind: «de Vries-Effekt» und «Suess-wiggles».
- *Kurzzeitschwankungen:* Diese stehen in einem Zusammenhang mit dem 11-Jahres-Sonnenzyklus. Zu Zeiten hoher Sonnenaktivität nimmt die atmosphärische ^{14}C-Produktion zu, bei niedriger Sonnenaktivität ab. Diese Fluktuationen betragen maximal 3‰.

Im Bereich der Kurzzeitschwankungen können ebenfalls ^{14}C-Datierungen zur Prüfung der ^{14}C-Konzentration der Atmosphäre herangezogen werden. Die Schwankungen korrelieren gut mit denjenigen, welche in Eiskernen mit Hilfe des kosmogenen Nuklids ^{10}Be gemessen wurden. Sie zeigen uns damit die Änderungen in der Stärke der Abschirmung der kosmischen Strahlung verursacht durch die Variationen im Magnetfeld der Sonne.

2.3 Geochemische Ursachen

Eine der wichtigsten geochemischen Erscheinungen ist die Isotopenfraktionierung, ein Effekt, der im übrigen bei allen chemischen Reaktionen und Phasenübergängen auftreten kann. Ein Beispiel mag diesen Sachverhalt aufzeigen: Bei der Photosynthese wird bevorzugt $^{12}CO_2$ von der Pflanze aufgenommen. Das führt zu einer Abreicherung von ^{14}C im organischen Aufbau der Pflanze. Unkorrigierte Alterswerte gäben in diesem Falle ein i.a. leicht zu hohes Alter. Ebenfalls eine Fraktionierung erleidet das stabile Isotop ^{13}C. Da dieses in weit größerer Konzentration vorliegt als das ^{14}C und zudem nicht radioaktiv ist, lassen sich damit zuverlässige Werte für das Verhältnis $^{13}C/^{12}C$ berechnen. Daraus ergibt sich – bezogen auf einen Standard – der Korrekturwert $\delta^{13}C$, mit dem das gemessene ^{14}C-Alter korrigiert werden kann.
Eine Erscheinung anderer Art ist der «Reservoir-Effekt», wie er z.B. bei der Datierung mariner Muschelschalen auftritt. Diese sind im allgemeinen ca. 400 Jahre zu alt, was damit zusammenhängt, daß aufstoßendes Tiefenwasser einen ca. 20% tieferen ^{14}C-Gehalt aufweist als Oberflächenwasser im Gleichgewicht mit der Atmosphäre. Damit wird im Oberflächenwasser die ^{14}C-Konzentration um ca. 5% gegenüber der Atmosphäre gesenkt, was einer Altersabweichung von rund 400 Jahren entspricht. Ein Spezialfall dieses Reservoir-Effekts ist der sog. «Hartwasser-Effekt», wie er bei Substanzen auftritt, welche im Grund- oder Süßwasser gebildet werden. Hier spielt die Karbonatlösung aus fossilen Kalken eine maßgebende Rolle.

3. Zufällige Unsicherheiten

3.1 Kontaminationsproblematik

Kontamination, d.h. Verunreinigung des Probenmaterials mit nicht zu diesem Material gehörendem Kohlenstoff, ist eine nicht methodeninhärente Erscheinung, welche Abweichungen zum effektiven ^{14}C-Alter verursachen kann. An dieser Stelle sei nicht die Rede von Kontaminationen, die bei der Probenentnahme, Verpackung des Materials sowie im Labor durch unvorsichtige Handhabung verursacht werden können, sondern von solchen Kontaminationen, welche vor, während und nach der jeweiligen Bildung des zu datierenden Probenmaterials erfolgt sind. Das größte Problem liegt dabei immer beim Erkennen des probenfremden Kohlenstoffs bzw. des allochthonen Materials, sei das im Feld bei der Probenentnahme, sei es im Labor bei der Probenaufbereitung. In dieser Situation muß man versuchen, die beiden folgenden Fragen zu beantworten:

a) Handelt es sich um eine Kontamination mit fossilem oder rezentem Kohlenstoff – evtl. einem Gemisch von beiden?
b) Wie groß ist der mengenmäßige Anteil dieses Kohlenstoffs?

Für die Beantwortung beider Fragen hilft i.a. nur eine Abschätzung auf Grund der Faktenlage. Wenn auch die erste Frage in einigen Fällen beantwortet werden kann, so ist die Beantwortung der zweiten Frage vielfach mit großen Unsicherheiten verbunden. Man versucht deshalb, kontaminierenden Kohlenstoff aus dem Probenmaterial zu entfernen. Das ist möglich, wenn physikalische und/oder chemische Trennungsmethoden eine Separation von Probenkohlenstoff und kontaminierendem Kohlenstoff erlauben. Trifft das nicht zu, muß weitgehend mit Schätzungen weitergearbeitet werden.
Wie können nun diese Kontaminationen des Probenmaterials entstehen? Stellen wir die Möglichkeiten zusammen, so ergibt sich – anthropogene Störungen ausgenommen – folgendes Bild:

Karbonate: – Kalkstein
– sekundäre Karbonate

Organisches
Material: – Infiltration von Huminsäuren etc.
– Durchwurzelung
– organisches Material anderer Art

Fossile Kontaminaton ist i.a. mit Karbonaten, fossile und rezente Kontamination mit organischem Material möglich. Die einzelnen Ursachen und ihre Auswirkungen aus das ^{14}C-Alter seien hier kurz erläutert.

3.1.1 Karbonate

Sie können, wenn sie als solche im Probenmaterial vorliegen, vor der Datierung relativ einfach entfernt werden, so daß eine Altersverschiebung wegen Karbonat-Kontamination meistens vermieden werden kann.

KALKSTEIN: Auf Grund der relativ guten Löslichkeit von Kalkstein in Wasser kann – wegen des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts – fossiler Kohlenstoff in die einzelnen Reservoirs gelangen. Dieser kann dann von den Pflanzen eingebaut werden und so zu Alterverfälschungen im Sinne eines zu hohen ^{14}C-Alters führen.

SEKUNDÄRE KARBONATE: Feine und feinste Kalkpartikel können durch Wind verfrachtet oder durch Wasser verschwemmt werden, wie das z.B. in Gletschervorfeldern geschieht. Dadurch kann solches Material in Torflager gelangen. Im übrigen gilt das gleiche wie oben unter *KALKSTEIN* aufgeführt.

3.1.2 Organisches Material

HUMINSÄUREN: Eines der Hauptprobleme bei der Kontamination ist die Infiltration organischen Materials. Dabei können kohlenstoffhaltige, meist jüngere Substanzen gelöst, verlagert und andernorts absorbiert werden. Auf diese Weise gelangen auch Huminsäuren aus höherliegenden Schichten durch Auswaschung (z.B. Regenwasser) in tieferliegende Horizonte und werden hier von anderem Material aufgenommen. Dadurch wird dessen ^{14}C-Alter verfälscht. Huminsäuren lassen sich jedoch relativ leicht im Labor vor der eigentlichen Altersbestimmung entfernen; mit dem restlichen Material (Lignin, Zellulose, Humine, Makroreste etc.) läßt sich eine i.a. zuverlässige ^{14}C-Datierung durchführen. Das gilt vor allem dann, wenn das Restmaterial Holz, Holzkohle oder gut erhaltener Torf ist. Bei andern Proben wie Bodenmaterial oder Knochen ist eine vollständige chemische Abtrennung der Huminsäuren vielfach etwas schwieriger, und die anschließende ^{14}C-Datierung kann somit zu verfälschten Ergebnissen führen. Vielfach wird bei Proben dieser Art die Restsubstanz (z.B. Makroreste) und das Huminsäureextrakt einzeln datiert. Liegen die beiden Alterswerte nahe beisammen, kann angenommen werden, daß eine geringe Kontamination vorliegt und somit das erhaltene ^{14}C-Alter als zuverlässig gelten kann.

DURCHWURZELUNG: Besonders bei Torfdatierungen kommt es immer wieder vor, daß das Probenmaterial durchsetzt ist von rezenten Wurzeln. Je nach Menge des eingewachsenen Wurzelmaterials kann das zu einem mehr oder weniger großen Verjüngungseffekt bei der Datierung führen. Durch das mechanische Entfernen dieser Wurzeln unter einer Lupe, Binokular o.ä., läßt sich dieser Effekt vermindern.

ANDERES ORGANISCHES MATERIAL: Abgefallenes Laub und umgestürzte Bäume sowie die Aktivität von Bodenorganismen können zu Kontamination führen. Bereits bei der Probenentnahme ist auf diesen Punkt zu achten, um dann bei der Probenaufbereitung wenn möglich noch korrigierend eingreifen zu können. Besser ist es allerdings, sich nach unbeeinflußtem Material umzusehen oder dann aber bereits im Feld der Probenentnahme größte Aufmerksamkeit zu schenken, um Fremdmaterialeinflüsse zum vornherein weitgehend auszuschalten. Findet man z.B. dunklen, ± strukturlosen Torf, deutet das darauf hin, daß dieser durch Oxidation und Mineralisation stark zersetzt ist. Dazu können Bodenorganismen zu einer vertikalen und horizontalen Materialumlagerung das Ihre dazu beigetragen haben. Es ist deshalb in einem solchen Fall besser, nach noch gut erhaltenen Pflanzenresten zu suchen, wenn man ein zuverlässiges ^{14}C-Alter der Probe erhalten will.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß jedes ^{14}C-Alter, bevor man irgendwelche Schlüsse auf Grund des Alterswertes zieht, vorerst bezüglich der oben aufgeführten Punkte beurteilt werden soll, damit die jeweiligen Folgerungen kritischer Betrachtung standhalten können.

Literatur:

BEER, J., ANDREE, M, OESCHIGER, H. et al. (1984): The Camp Century ^{10}Be Record: Implication for Long-Term Variations of the Geomagnetic Dipole Moment. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B5, 380–384.

GEYH, M.A. (1983): Physikalische und Chemische Datierungsmethoden in der Quartär-Forschung. Clausthaler Tektonische Hefte, 19.

MOOK, W.G. and WATERBOLK, H. T. (1985): Radiocarbon Dating. Handbook für Archaeologists No. 3; European Science Foundation.

OESCHGER, H., BEER, J, and WÖLFLI, W: (1986): ^{10}Be and ^{14}C Variations in the Environment. SNG, 166. Jahresversammlung 9./10. Oktober 1986, Bern.
Schweiz. Komm. f. Klima- und Atmosphärenforschung. Abstracts: Langfristige und kurzfristige Klimaveränderungen – Daten und Modelle.