

Erfahrungen mit der C14 - Datierung verschiedener Arten von Sedimenten

Autor(en): **Münnich, K.O.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes Rübel in Zürich**

Band (Jahr): **34 (1958)**

PDF erstellt am: **23.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-308090>

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.

Erfahrungen mit der C^{14} -Datierung verschiedener Arten von Sedimenten

Von K. O. MÜNNICH, Heidelberg

Die klassischen Materialien der C^{14} -Altersbestimmung sind Holz und Holzkohle. Lockere Materialien dagegen wie organische Sedimente, Torf usw. müssen zunächst mit einigem Zweifel betrachtet werden, denn hier besteht die Gefahr des Eindringens organischer Schwemmstoffe aus den darüber liegenden Schichten. — In Abbildung 1 ist dargestellt, wie der normale C^{14} -Gehalt lebender organischer Substanz nach Auf-

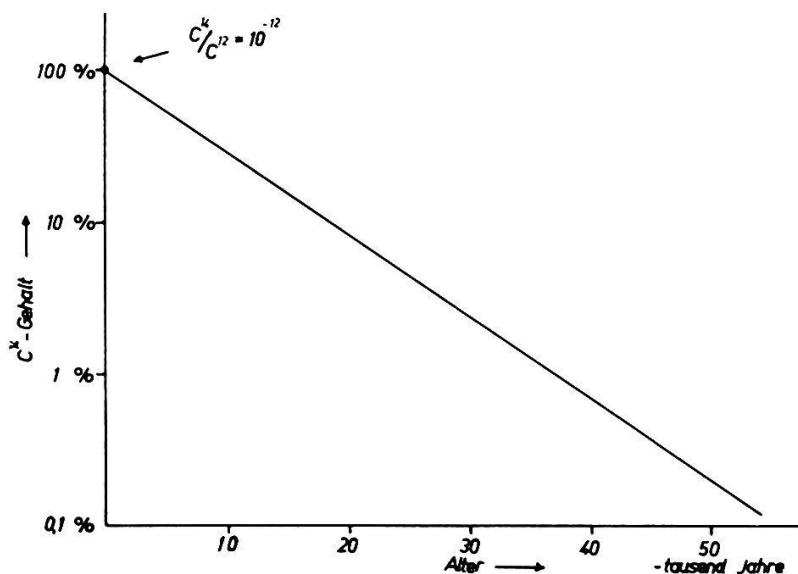


Abb. 1. Absinken der C^{14} -Konzentration im Kohlenstoff von Pflanze und Tier nach Aufhören des Stoffwechsels (Ordinate logarithmisch geteilt).

hören der Lebenstätigkeit und des Kohlenstoffaustausches mit der Zeit abnimmt. (Gesetz des radioaktiven Zerfalls.) Nach 18 500 Jahren sind noch 10% der ursprünglichen Menge vorhanden, nach 37 000 Jahren nur noch 1% und so fort. Umgekehrt mißt man bei der Datierung den C^{14} -Gehalt irgendeiner Probe und errechnet ihr Alter z. B. mit Hilfe von Abb. 1. Ist nun diese Probe mit jüngerem Material, welches mehr C^{14} enthält, vermischt, so ist der C^{14} -Gehalt der Mischung höher, und wenn wir diese Verunreinigung außer acht lassen, erhalten wir nach Diagramm 1 ein zu geringes Alter.

Deshalb ist es wichtig zu wissen, wie weit die Verunreinigung in praktischen Fällen geht. In Heidelberg beschäftigten wir uns mit diesem Problem etwas näher, weil wir zunächst Schwierigkeiten zu haben schienen bei der Datierung des Grenzhorizontes. Dies ist die am stärksten ausgeprägte Rekurrenzfläche in norddeutschen Hochmooren. Unsere

ersten Daten dieses wichtigen Horizontes waren viel jünger als erwartet. Inzwischen wissen wir, daß unsere Daten richtig sind, aber damals schien es so, als ob es sich um eine Altersfälschung durch Humus- oder andere Substanzen aus jüngeren Schichten handelte. Man kann dergleichen experimentell prüfen. Durch Kochen mit Alkalien werden Humusstoffe gelöst; sie können abgetrennt und für sich datiert werden. Diese Trennung ist ein wohlbekanntes Verfahren, welches jedoch meines Wissens von de VRIES zum ersten Mal in der C^{14} -Analyse angewandt wurde. Wir erhielten auf diese Weise beim Grenzhorizont experimentell niemals einen eindeutigen Altersunterschied zwischen Humus und unzerstörter Zellulose von solchen größeren Partikeln, die sicher am ursprünglichen Ort im Profil geblieben sind (Ovb 57). De VRIES (Vrs 57) selbst machte Versuche ähnlicher Art an Hochmoortorf, mit demselben Ergebnis. Andererseits scheint es aber ziemlich sicher, daß in Sedimenten eine gewisse Abwärtswanderung von Substanz vorkommt, und das experimentelle Ergebnis überrascht daher etwas. Man muß den Schluß ziehen, daß entweder der wanderungsfähige Anteil der Sedimente nur klein ist oder daß im allgemeinen nur geringe Wegstrecken zurückgelegt werden.

Ich möchte Ihnen ein grobes Modell zeigen, welches vielleicht helfen kann, die Wirkung einer Vermischung etwas besser zu verstehen; das Modell macht nicht den Anspruch, die wirklichen Vorgänge zu beschreiben, sondern dient nur einer Abschätzung. Die einzige wesentliche Annahme in diesem Modell ist die, daß eine Substanzverlagerung über eine kurze Wegstrecke viel häufiger vorkommen sollte als eine solche über eine große Strecke. In Abb. 2 sehen Sie drei Momentaufnahmen

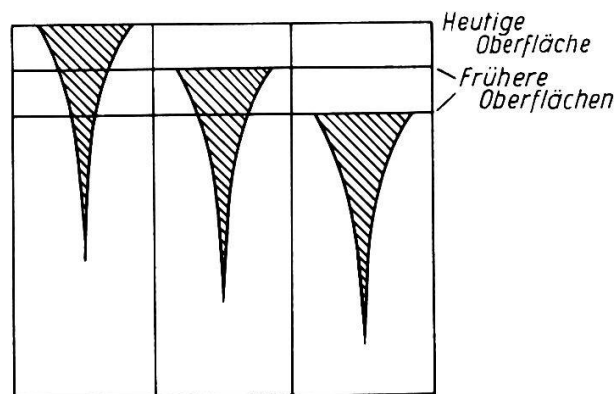


Abb. 2. Verteilung der wanderungsfähigen Substanz im Torf gemäß unserem Modell. Der besseren Übersichtlichkeit wegen sind die Verteilungen der zu verschiedenen Zeiten gebildeten Substanz nebeneinander gezeichnet. Die Breite der schraffierten Figur stellt die in der betreffenden Tiefe vorhandene Menge dar.

des Moorbwachstums nebeneinander. Das jeweils an der Oberfläche entstandene Material bleibt nicht genau dort, sondern wird bis zu einem

gewissen Grad in die tieferen Schichten verteilt in einer Weise, die der Grundannahme entspricht. Wir berücksichtigen nicht, daß die Verlagerung im Falle der jüngeren Schichten möglicherweise noch nicht so weit fortgeschritten ist wie in den tieferen, älteren Schichten, was man eigentlich berücksichtigen sollte, da ja die verstrichene Zeit beträchtlich verschieden ist in beiden Fällen. Der Einfachheit halber nehmen wir aber in allen Fällen kurzweg den ungünstigsten Fall als gegeben an, nämlich daß die Verlagerung überall gleichstark ist und das g r ö ß t e Ausmaß hat, welches wir überhaupt für möglich erachten.

Abb. 3 gibt gleich das Ergebnis der Rechnung. Als Ordinate ist die sich ergebende Altersabweichung angegeben als Funktion zweier Grö-

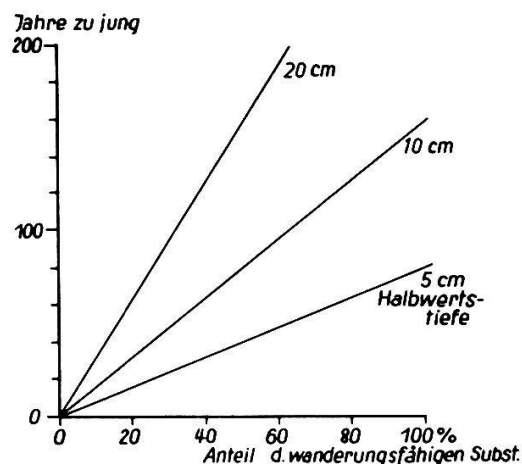


Abb. 3. Altersfälschung durch Abwärtsschwemmung bei kontinuierlichem Wachstum. Abszisse: Wanderungsfähiger Bruchteil der gesamten Pflanzensubstanz. Parameter: Halbwertstiefe der Verteilung dieses Bruchteils. Näheres über die der Rechnung zugrunde gelegten Annahmen s. Text.

ßen, die wir zu schätzen haben: die eine Größe ist auf der Abszisse aufgetragen, der überhaupt wanderungsfähige Anteil der gesamten Substanz in Prozenten — ein gewisser Rest ist ja auf jeden Fall ortsfest. Die andere abzuschätzende Größe ist ein Maß für die von der beweglichen Substanz im Mittel zurückgelegte Wegstrecke. Diese «Halbwertstiefe», d. h. die Wegstrecke, die von der Hälfte der Schwemmstoffe noch überschritten wird, ist den einzelnen Geraden als Parameter beigefügt. In Abb. 4 ist diese zweite Größe veranschaulicht. Wir nehmen als Beispiel eine Halbwertstiefe von 20 cm, das bedeutet dann, daß 30% noch weiter als einen Meter wandern, und stellt also bereits eine beträchtliche Verschleppung dar. Wenn wir jetzt in Abb. 3 noch annehmen, daß der Anteil der wanderungsfähigen Substanz 20% beträgt, so erhalten wir trotzdem eine Altersfälschung von nur etwa 60 Jahren. Das Diagramm gilt für eine Wachstums- oder Sedimentationsgeschwindigkeit von 1 mm/Jahr, wie man sie bei jüngerem Sphagnumtorf ge-

wöhnlich findet. Ist die Wachstumsgeschwindigkeit viel kleiner, so wird das Ergebnis unter sonst gleichen Umständen ungünstiger. Nehmen wir als Extrem eine zehnmal geringere Wachstumsgeschwindigkeit, was bedeutet, daß das ganze Postglazial durch eine Schicht von nur einem

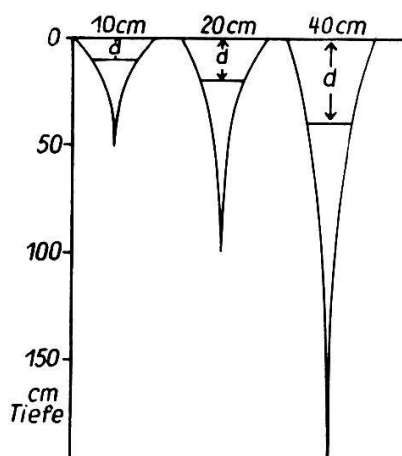


Abb. 4. Gestalt der Verteilung des wanderungsfähigen Bruchteils bei verschiedener Halbwertstiefe. Bei einer Halbwertstiefe von 20 cm z. B. gelangen hiernach etwa 3% der wanderungsfähigen Substanz mehr als einen Meter tiefer als ihr Entstehungsort.

Meter Dicke dargestellt wird, so haben wir die Ordinate zu verzehnfachen, erhalten dann also im gewählten Beispiel aus dem Diagramm bereits eine Abweichung von 600 Jahren, da gewisse Vernachlässigungen in unserer Rechnung dann aber nicht mehr gestattet sind, wird die Abweichung sogar noch größer, nämlich etwa 850 Jahre: wie man von vornherein erwartet, ist die C^{14} -Datierung um so zuverlässiger, je mächtiger die Schichten sind, falls sie nicht gleichzeitig wesentlich durchlässiger sind.

Im ganzen ist das Ergebnis unserer Abschätzung überraschend günstig. Dies kommt natürlich von unserer Annahme, daß das Material in den meisten Fällen nicht allzu weit wandert und man deshalb im wesentlichen eine Vermischung von Substanz ähnlichen Alters und ähnlichen C^{14} -Gehaltes vor sich hat. Obwohl demnach die Ursache auf der Hand liegt, ist das quantitative Ergebnis der Rechnung trotzdem etwas unerwartet, wenn man bedenkt, welch großes Ausmaß die beiden zu schätzenden Kenngrößen der Verlagerung — wanderungsfähiger Anteil und Halbwertstiefe — annehmen dürfen. Die quantitative Durchführung schien daher der Mühe wert zu sein.

Interessant ist auch die Betrachtung einer Lücke im Wachstum. In diesem Fall liegen Schichten von stärker verschiedenem Alter unmittelbar übereinander. Weil wir eine Wachstumslücke bei der Untersuchung des Grenzhorizontes in keinem Fall fanden, fragten wir uns, bis zu welchem Grade eine wirkliche Lücke durch Substanzverlagerung ver-

schleiert werden könne. In Abb. 5 findet man das Ergebnis der sehr einfachen Rechnung: Das absolute Alter kann beträchtlich verschoben werden, um so mehr, je größer die Altersdifferenz zwischen den Schichten ist, die Größenordnung des Altersunterschiedes bleibt jedoch in allen normalen Fällen erhalten. Es muß allerdings bemerkt werden, daß die Datierung einer Schicht sehr geringen Kohlenstoffgehaltes stets zweifelhaft ist, wenn sie von einer kohlenstoffreichen Schicht überlagert ist. Dann kann möglicherweise der größte Teil des bißchen fein verteilten Kohlenstoffs in der Probe tatsächlich aus der darüberliegenden, beträchtlich jüngeren Schicht stammen, und man erhält gemäß Abb. 5 ein völlig falsches Alter für die zu datierende Schicht. Aus diesem Grunde scheint es unerlässlich, daß der Einsender einer Probe dieser stets eine ausführliche Profilskizze beigibt, die insbesondere Angaben über den Kohlenstoffgehalt der hangenden Schichten enthält. Insgesamt scheint ein gewisser Optimismus bezüglich der C^{14} -Datierung von Sedimenten gerechtfertigt, falls Sedimentationsgeschwindigkeit und Kohlenstoffgehalt nicht zu gering sind.

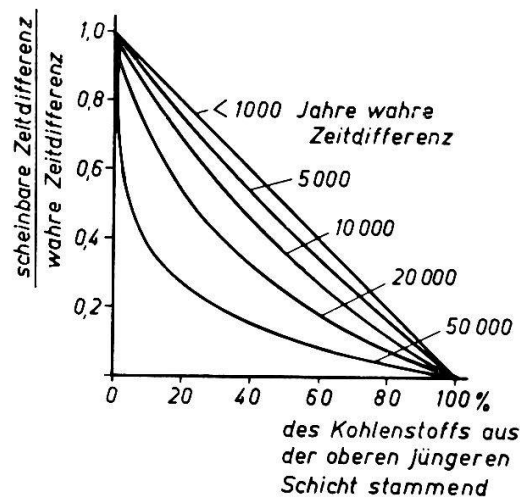


Abb. 5. Scheinbare Verringerung der Altersdifferenz zweier Schichten in Abhängigkeit vom wahren zeitlichen Abstand und vom Anteil des von oben in die untere Schicht eingedrungenen Kohlenstoffs an der darin insgesamt enthaltenen Kohlenstoffmenge.

Gewisse Komplikationen treten auf, wenn die Proben Kalk enthalten. Der Kalk selbst macht in den meisten Fällen keine Schwierigkeiten, denn er kann mit Säure leicht entfernt werden. Ein sehr günstiger Fall dieser Art ist der häufige Kalkgehalt von Holzkohle. Dieser Gehalt ist oft sehr hoch. Infolge ihrer Porosität absorbiert die Kohle hartes Wasser, wenn der kalkhaltige Boden nach einem Regen naß wird; danach, wenn es wieder trockener wird, scheidet das aufgesogene Wasser in der Kohle Kalk ab, dieser Prozeß wiederholt sich, bis die Kohle ganz mit Kalk ausgefüllt ist. Durch Säurebehandlung kann aber der Ausgangszustand

sehr leicht wieder hergestellt werden. Die gereinigte Kohle bleibt auf dem Filter zurück, vom Wasser eingeschleppte organische Stoffe gehen außerdem zum großen Teil ebenfalls mit dem Filtrat ab. Bei Knochen und Geweih ist eine solche Reinigung beträchtlich schwieriger, da der organische Anteil des Knochens durch die Säure ebenfalls aufgelöst wird und deshalb nicht durch Filtration rein dargestellt werden kann. Eingedrungene organische Verunreinigungen können nicht so einfach entfernt werden wie aus Holzkohle. Wahrscheinlich ist dies der Grund, warum Datierungen von Knochen und Geweih bisweilen unzuverlässig sind (Mnn 57 b).

Soll eine kalkhaltige Gyttha datiert werden, so besteht diese Schwierigkeit i. a. nicht. Ist genügend Material vorhanden, so kann die Probe ähnlich wie Holzkohle, wenn auch nicht ganz so rigoros behandelt werden, die unzerstörten Zelluloseteilchen werden von Säure und Alkali nicht aufgelöst. In der Tat ist die Schwierigkeit hier von völlig anderer Art und viel schwerwiegender. Nach den Messungen vor allem von DEEVEY (Dv 54) enthalten Wasserpflanzen aus hartem Wasser von Anfang an weniger C^{14} als normal, denn das CO_2 aus dem Wasser, das die Wasserpflanzen assimilieren, stammt teilweise von C^{14} -freiem Kalkstein. Die lebenden Pflanzen zeigen daher bereits ein scheinbares Alter von mehreren tausend Jahren. Zunächst war die Meinung allgemein, daß der C^{14} -Gehalt in hartem Wasser anfangs etwa 50% des normalen Gehaltes der Atmosphäre und der Landpflanzen betrage, daß er aber auch bis zu 100% erreichen könne je nach dem Grad des CO_2 -Austauschs zwischen Wasser und Atmosphäre, der eingetreten ist, bis das Wasser schließlich in einem Fluß oder See den Wasserpflanzen als CO_2 -Quelle dient. Das ergab eine Altersunsicherheit bei der Datierung von etwa 5000 Jahren oder noch mehr, wenn man auch noch die Möglichkeit eines Austausches zwischen Wasser und totem Kalkstein in Betracht zog. Durch einen solchen Austausch könnte nämlich der C^{14} -Gehalt des Wassers auch noch geringer als 50% werden.

Unsere Messungen an hartem Grundwasser (Mnn 57 a) ergaben nun, und wir können dieses Ergebnis auch im einzelnen begründen, daß der C^{14} -Gehalt mit einem Spielraum von etwa $\pm 10\%$ um rund 80% liegt. Wir fanden bisher in keinem Fall einen geringeren C^{14} -Gehalt als 70%, wenn nicht vulkanisches CO_2 mit im Spiele war. Also kann auch See- oder Flußwasser normalerweise keinen geringeren C^{14} -Gehalt haben. Ein C^{14} -Gehalt von rund 80% desjenigen von Landpflanzen ist nun auch tatsächlich schon früher sowohl im CO_2 harter Gewässer als auch in darin untergetaucht wachsenden Pflanzen gefunden worden. Als neue Erkenntnis ergibt sich aber, daß dieser relativ hohe C^{14} -Gehalt bereits primär dem zufließenden Wasser eigen ist und nicht erst durch Austausch über die Wasseroberfläche mit der Atmosphäre zustande

kommt. Aus Abbildung 6 folgt denn auch, daß die Wechselwirkung zwischen Wasser und Atmosphäre in erster Linie kein Austausch an CO_2 sein kann, sondern ein einseitiger CO_2 -Verlust des Wassers sein muß, denn der CO_2 -Gehalt der freien Atmosphäre ist 10- bis 100mal

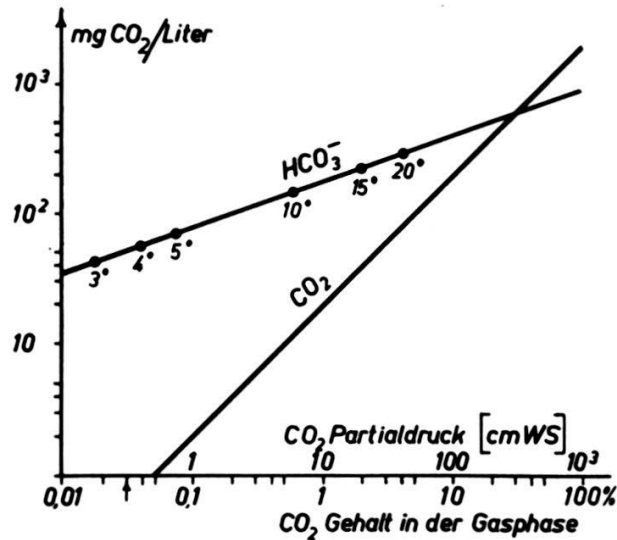


Abb. 6. Kalkhärte von Wasser als Funktion des CO_2 -Partialdrucks, errechnet aus den chemischen Gleichgewichtskonstanten. Der gesamte Gehalt des harten Wassers an CO_2 setzt sich wie folgt zusammen: (1) als Gas gelöst = Gleichgewichts- oder «freie zugehörige» Kohlensäure (untere Gerade) und (2) als HCO_3^- gebunden = Bikarbonat- oder «halbgebundene» Kohlensäure (obere Gerade), im Diagramm angegeben jeweils als mg CO_2 /Liter Wasser. — Die Werte gelten im Gleichgewicht unter der Voraussetzung, daß das Wasser mit CaCO_3 in Berührung steht und keine weiteren, das Gleichgewicht beeinflussenden Salze (z. B. CaSO_4 oder MgCO_3) enthält. Die Werte sind gegeben als Funktion des CO_2 -Partialdruckes über der Lösung. Als zweite Abszissenskala ist der entsprechende prozentuale CO_2 -Gehalt (bei Atmosphärendruck) der Luft eingezeichnet. Der normale CO_2 -Gehalt der Atmosphäre ist durch einen Pfeil (0,03%) gekennzeichnet. Temperatur $\cong 15^\circ \text{C}$. Die entstehende Kalkhärte ist in ($^\circ$ deutsche Härte) angegeben. — Die Werte für die Kalkhärte, die man erhält, wenn man die gemessenen Werte aus Tabelle 1 in obiges Diagramm einsetzt, stimmen gut mit der Erfahrung überein.

geringer als der der Bodenluft, mit der das Grundwasser zunächst im Gleichgewicht stand und dabei Kalkstein löste (Tabelle 1). Der CO_2 -Verlust über die Wasseroberfläche ist bei stehenden oder schwach fließenden Gewässern allerdings stark gehemmt, denn er kann nur aus der allerobersten Schicht unter dem Wasserspiegel unmittelbar erfolgen. So ist es zu verstehen, daß es überhaupt härteres Seewasser gibt als es dem Gleichgewichtswert mit der Atmosphäre entspricht, und daß Pflanzen, die über den Seespiegel herausragen, nahezu den normalen C^{14} -Gehalt von Landpflanzen haben. Wie nebenbei eine interessante Messung von Moosen aus einer harten Quelle zeigt, ist dies erwartungsgemäß anders, wenn die Pflanzen von hartem Wasser ständig bespritzt werden, dann entweicht über die vergrößerte Oberfläche der Tröpfchen

CO₂ in großen Mengen und kann eine lokale Atmosphäre von geringerem C¹⁴-Gehalt bilden.

TABELLE 1
CO₂-Gehalt der Bodenluft (H. LUNDEGARDH 49)

	15	30	45	60 cm tief
Grasboden (RUSSEL)	1,46%		1,64%	
Ackerboden (RUSSEL)	0,34%		0,45%	
Buchenwaldboden (ROMELL)		0,33%		0,39%
Sandboden (LUNDEGARDH)	0,25%	0,31%		
(H. WALTER S. 409) (Wlt 49)	0—20	20—40	40—60	60—80 80—100 100—120 cm tief
Buche und Eiche, sand. Lehm	0,03	0,81	2,21	2,79 % CO ₂
Fichte, podsol.				
lehm. Sandboden	0,05	0,11	0,09	0,70 1,61 1,62 % CO ₂
Acker, humusarmer				
Lößlehm Boden	0,05	0,50	0,77	1,75 4,66 3,44 % CO ₂

Erweisen sich die bis jetzt vorliegenden Messungen als typisch für die Verhältnisse in harten Gewässern — es gibt starke Argumente dafür, daß dies so ist — so wird die Unsicherheit in der Datierung des organischen Anteils von Kalksedimenten beträchtlich vermindert. Das Ergebnis der C¹⁴-Datierung sollte dann allenfalls bis zu etwa 3000 Jahre zu hoch ausfallen. Dabei ist die Ungewißheit bereits in Rechnung gesetzt, die sich dadurch ergibt, daß man im allgemeinen nicht genau weiß, ob die Sedimente etwa auch Reste von normalen Landpflanzen enthalten. Zur Datierung jüngerer Perioden werden kalkige Seesedimente trotz der verringerten Unsicherheit nur sehr beschränkten Wert haben, doch trifft dies nicht länger zu, wenn eine Probe etwa 20 000 Jahre oder älter ist, denn die absolute Größe der Unsicherheit bleibt ja konstant und fällt dann kaum mehr ins Gewicht.

Literaturverzeichnis

- (Ldg 49) H. LUNDEGARDH: Klima und Boden. — Gustav Fischer, Jena (1949) S. 300 ff.
- (Wlt 49) H. WALTER: Phytologie III, 1. — E. Ulmer, Stuttgart (1949) S. 405 ff.
- (Dv 54) E. S. DEEVEY, jr., M. S. GROSS, G. E. HUTCHINSON, H. L. KRAYBILL. — Proc. Nat. Ac. Sci. U. S. 40, 285 (1954).
- (Lbb 55) W. F. LIBBY: Radiocarbon Dating. — 2. Aufl., University Press, Chicago (1955).
- (Sss 56) H. E. SUESS. — Angew. Chemie 68, 540 (1956).
- (Ovb 57) F. OVERBECK, K. O. MÜNNICH, L. ALETSEE, F. R. AVERDIECK. — Flora 145, 37 (1957).
- (Mnn 57a) K. O. MÜNNICH. — Naturwiss. 44, 32 (1957).
- (Mnn 57b) K. O. MÜNNICH. — Science 126, 194 (1957).
- (Vrs 57) Hl. de VRIES. — Science 127, 129 (1958).

Einen allgemeinen Überblick über die C¹⁴-Altersbestimmung geben (Lbb 55) und (Sss 56).

Diskussion. MÜLLER-BECK: Infiltrationsfehler bei sämtlichen Sedimenten ohne Diskordanz im Sinne von MÜNNICH ohne weiteres annehmbar, schwieriger bei den oft verschleierten Diskordanzen über älteren Sedimenten (geringmächtige Abschlammung jüngerer Sickerwässer und entsprechend zunehmende Verunreinigung möglich). Aus diesem Grunde sollten zum mindesten vorläufig C_{14} -Datierungen älter als ca. 15 000 nur unter gleichzeitiger Vorlage einer mikrosedimentologischen Untersuchung des Gesamtprofils publiziert werden.

Anmerkung bei der Korrektur:

In weiteren Untersuchungen ergab sich, daß hartes Wasser, wenn es längere Zeit in Kontakt mit der Atmosphäre steht, seine Härte beibehält, obwohl das Gleichgewichts- CO_2 zum größten Teil entwichen ist. Der Grund dafür liegt ziemlich sicher darin, daß das Kalziumkarbonat dazu neigt, sein Löslichkeitsprodukt beträchtlich zu überschreiten, ohne daß Kalk ausfällt. Obwohl die Konzentration an Karbonationen weiterhin klein bleibt, verändert sie die Gleichgewichtsbedingungen in der Lösung erheblich.

Die restliche Konzentration an gelöstem CO_2 , die im Gleichgewicht mit der Atmosphäre noch zurückbleibt, kann nun einen Isotopenaustausch mit dem auch in diesem Fall im wesentlichen als Bikarbonat vorliegenden gelösten Kohlenstoff vermitteln, so daß der C^{14} -Gehalt bis auf den atmosphärischen Gehalt ansteigen kann. Diese Fälle sind dann aber an ihrem C^{13} -Gehalt leicht erkennbar (Vgl 58).

Weitere Literatur dazu:

- (Vgl 58) J. C. VOGEL: Über den Isotopengehalt des Kohlenstoffs in Süßwasserkalkablagerungen. — *Geochim. et Cosmochim. Acta*, im Druck.
- (Mnn 58) K. O. MÜNNICH und J. C. VOGEL: C^{14} -Altersbestimmung von Süßwasserkalkablagerungen. — *Naturw.*, in Vorbereitung.
- (Brn 58) R. BRINKMANN, K. O. MÜNNICH, J. C. VOGEL: C^{14} -Altersbestimmung von Grundwasser. — *Naturw.*, im Druck.
- (Brc 58) W. S. BROECKER and Alan WALTON: The Geochemistry of C^{14} in the Fresh Water Systems. — *Geochim. et Cosmochim. Acta*, im Druck.