

## Radiokohlenstoffdatierung der Sedimente der Grundlosen

Horst Willkomm

### Grundlagen

Die in Torf- und Muddeschichten gefundenen Pollen ermöglichen Angaben über die frühere Pflanzendecke. Anhand charakteristischer Merkmale, die sich in allen Pollendiagrammen eines größeren Raumes - etwa wie der norddeutschen Tiefebene - wiederholen, ist darüberhinaus eine gewisse zeitliche Zuordnung möglich. Für eine genauere Datierung muß man jedoch auf die Radiokohlenstoff- oder  $^{14}\text{C}$ -Methode zurückgreifen. Bei der Untersuchung eines Profils aus den "Grundlosen" bei Höxter hatte Averdieck zu diesem Zweck insgesamt 23 Proben entnommen. Ehe die Meßergebnisse dieser Analyse vorgestellt werden, seien einige grundlegende Bemerkungen vorausgeschickt.

Für die Altersbestimmung wird der gegenwärtige  $^{14}\text{C}$ -Gehalt - bezogen auf den Gesamtkohlenstoff - in einer 2- bis 3-tägigen Messung festgestellt. Unter der Annahme, daß der ursprüngliche  $^{14}\text{C}$ -Gehalt 100 % eines international vereinbarten Standards betragen hatte, berechnet man daraus als erste Annäherung das konventionelle oder Libby-Alter  $T_L$ <sup>1</sup>.

Diese Annahme setzt zunächst voraus, daß der Kohlenstoff bei der Entstehung eine "normale" Isotopenhäufigkeit hatte. Das läßt sich an den beiden stabilen Isotopen  $^{13}\text{C}$  und  $^{12}\text{C}$  überprüfen, die etwa im Verhältnis 1 : 90 vorkommen. Der genaue Wert wird relativ zu einem Kalkstandard bestimmt und sollte bei Landpflanzen um

$$d^{13}\text{C} = -25 \text{ ‰}$$

von ihm abweichen. Wenn der  $d^{13}\text{C}$ -Wert einer Probe geringer ist (z.B.  $-26 \text{ ‰}$ , also 1 ‰

-----  
<sup>1</sup> Benannt nach dem 1980 verstorbenen Entdecker der  $^{14}\text{C}$ -Methode, der dafür 1960 den Nobel-Preis bekam.

unter dem Normalwert), war ihr  $^{14}\text{C}$ -Gehalt bei ihrer Entstehung um das Doppelte (im Beispiel also um 2 ‰) zu gering. Das formal errechnete Alter ist dann zu hoch und muß entsprechend korrigiert werden. Diese Isotopenkorrektur

$$T_{\text{korrr}} = T + 16 (d^{13}\text{C} + 25)$$

ist in den vom Kieler  $\text{C}^{14}$ -Labor berechneten  $^{14}\text{C}$ -Alterswerten bereits berücksichtigt.

Die zweite Voraussetzung ist, daß sich das untersuchte Material im Gleichgewicht, d.h. im permanenten Austausch mit dem atmosphärischen  $\text{CO}_2$  gebildet hat. Für Bäume und Landpflanzen ist das selbstverständlich, denn sie nehmen ihren Kohlenstoff vollständig durch Assimilation aus der Luft auf. Auch für Torfe, sowohl aus Hochmooren als auch aus Flachmooren, ist die Voraussetzung erfüllt. Größtenteils bestehen sie aus Pflanzen, die ohnehin auf Assimilation von Luft- $\text{CO}_2$  angewiesen sind. Aber es können insbesondere bei Niederungsmooren - auch Pflanzen dabei sein, die unter Wasser - submers - leben und ihren Kohlenstoff aus dem im Wasser als Kohlensäure  $\text{H}_2\text{CO}_3$  oder Bikarbonat  $\text{HCO}_3^-$  gelösten  $\text{CO}_2$  beziehen. Bei Mooren kann man jedoch davon ausgehen, daß das Wasser sehr flach ist (im cm- oder dm-Bereich) und daher selber in gutem Austausch mit dem atmosphärischen  $\text{CO}_2$  steht. Auch die submers gewachsenen Pflanzen erhalten daher die richtige  $^{14}\text{C}$ -Konzentration.

Erst bei Quellwasser oder tieferen Seen ändern sich die Verhältnisse. Jetzt kann ein Teil des

Wassers längere Zeit im Erdboden verbracht haben und dort Kalk aufgelöst haben, dessen  $^{14}\text{C}$ -Gehalt deutlich unter dem des atmosphärischen  $\text{CO}_2$  liegt. Damit wird auch das im See gelöste  $\text{CO}_2$  eine zu geringe  $^{14}\text{C}$ -Aktivität besitzen, so daß selbst oberflächennahe, also rezente Sedimente ein scheinbares  $^{14}\text{C}$ -Alter von 1 oder 2

- 80 -

Jahrtausenden haben können. Selbstverständlich ist dieser See- oder Hartwassereffekt bei der Datierung der Sedimente zu berücksichtigen (Willkomm 1987).

Die Proben der Grundlosen bestanden größtenteils aus Niedertorf (Ried- und Bruchwaldtorf). Auch bei den Proben, die Beimischungen von Gytja (KI-2158.15 und KI-2158.17) oder Ton (KI-1256 und KI-2158.16) enthielten, kam der Kohlenstoff vorwiegend aus dem torfigen Anteil. Alle Meßwerte können daher wie terrestrisches Material diskutiert werden. Die dritte Voraussetzung ist die einschneidendste. Sie unterstellt, daß das atmosphärische  $\text{CO}_2$  zu allen Zeiten den gleichen  $^{14}\text{C}$ -Gehalt hatte, d.h. daß alle terrestrischen Pflanzen zu Lebzeiten eine Anfangsaktivität von 100 % hatten. Diese Voraussetzung ist nun keineswegs gegeben. In der nachchristlichen Zeit ist sie noch einigermaßen erfüllt mit maximalen Abweichungen von 1 % nach unten und 2 % nach oben, was entsprechend dem oben Gesagten zu Alterskorrekturen von höchstens 160 Jahren führt.

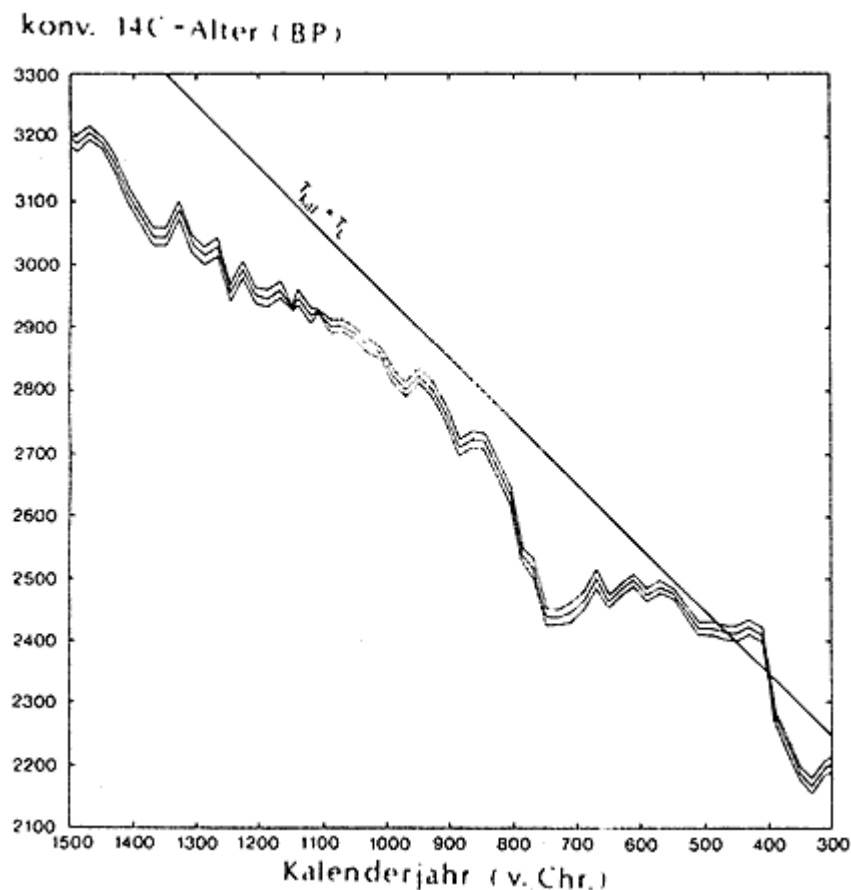


Abb. 1  $^{14}\text{C}$ -Alter und kalibriertes Alter zwischen 300 und 1500 v. Chr. (nach PEARSON und STUIVER 1986)

Vor Christi Geburt nahm die Anfangsaktivität jedoch zu, so daß beispielsweise die älteste Hörterprobe mit einem konventionellen Alter von  $\text{TL} = 3600 \text{ BP}_2$  um 350 Jahre älter  $2 \text{ BP} = \text{before present} = \text{vor } 1950 \text{ n. Chr.}$  ist, also aus der Zeit um  $3950 \text{ v.h.}^3$  stammt. Diese Alterskorrektur wurde anhand von Baumringen ermittelt, deren tatsächliches Alter durch

Auszählen der Jahresringe bestimmt wurde. Man spricht daher beim Übergang vom konventionellen  $^{14}\text{C}$ -Alter TL zum wahren oder Kalenderalter  $T_{\text{kal}}$  von der dendrochronologischen Korrektur oder Kalibration (vgl. Abb. 1).

## Probenbearbeitung

Der größte Teil der für die  $^{14}\text{C}$ -Datierung vorgesehenen Proben bestand aus Torf, der mit Zweigen durchsetzt war. Hier genügten etwa 10 g Trockensubstanz, um genügend Kohlenstoff für die  $^{14}\text{C}$ -Messung zu liefern. Bei einigen weiteren Proben, die neben Torf auch Ton oder Schluff enthielten, mußten wir 20 bis 35 g Trockensubstanz verwenden. Bei den untersten drei Proben stellte sich während der chemischen Bearbeitung heraus, daß sie trotz ihrer Dunkelfärbung, die einen stärkeren humosen Anteil vermuten ließ, praktisch aus reinem Sand bestanden und für eine  $^{14}\text{C}$ -Untersuchung nicht geeignet waren. Insgesamt konnten daher 20 Proben ausgewertet werden.

Das Material wurde zunächst mit verdünnter Salzsäure erhitzt, um eventuelle Kalkbeimischungen die nach dem Gesagten zu einem falschen  $^{14}\text{C}$ -Alter hätten führen können, zu entfernen. Dann wurde die Probe bis zur Neutralität gespült, getrocknet und mit Kaliumdichromat und Schwefelsäure im Stickstoffstrom zu  $\text{CO}_2$  oxydiert. Das Gas wurde weiter gereinigt und schließlich zur  $^{14}\text{C}$ -Messung in ein Zählrohr gefüllt<sup>4</sup>.

Die Ergebnisse der Radiokohlenstoff-Datierung und der massenspektrometrischen Analyse der stabilen Isotope sind in Tab. 1 zusammengefaßt. Bei dem konventionellen Alter TL ist zusätzlich die Standard-

-----

<sup>3</sup> v.h. = vor heute. Um Verwechslungen zu vermeiden, soll im Folgenden das konventionelle Alter mit den im Englischen üblichen Abkürzungen BP und BC (before Christ), das auf Rezentvariationen korrigierte, kalibrierte Alter dagegen mit den deutschen Bezeichnungen v.h. und v. Chr. wiedergegeben werden.

<sup>4</sup> Näheres zur  $^{14}\text{C}$ -Technik s. WILLKOMM, 1976.

- 81 -

abweichung  $s$  angegeben, wie sie aus der Statistik der Zählraten folgt. Sie ist ein Maß für die Genauigkeit der Messung, besagt aber nicht - wie mitunter angenommen wird -, daß das ideale  $^{14}\text{C}$ -Alter (unendlich lange Meßzeit,  $s = 0$ ) in dem durch  $\pm 1 s$  definierten Altersbereich liegen muß. Vielmehr liegen nach der Theorie der Gaußverteilung noch etwa ein Drittel der Werte, hier also 6 bis 8 der insgesamt 20 Daten, außerhalb dieses Intervalls. Erst wenn man den Bereich auf etwa  $\pm 1,7 s$  vergrößert, kann man damit rechnen, daß alle wirklichen Werte innerhalb der Fehlerbalken liegen.

Die letzte Spalte enthält das dendrochronologisch berichtigte Alter  $T_{\text{kal}}$ . Die dort für die einzelnen Proben angegebenen Intervalle sind meistens größer als der Bereich  $t \pm 1 s$  in der konventionellen Skala. Das liegt zunächst daran, daß die Kalibrationskurve nicht die mittlere Steigung 1 : 1 hat, sondern daß in den ersten Jahrtausenden v. Chr. die Zeitskala durch die Kalibration gedehnt wird, so daß 1 Jahrhundert in der konventionellen Skala auf 120 bis 125 Kalenderjahre gespreizt wird. Als zweiter Grund kommen die kurzfristigen Schwankungen der Kalibrationskurve, die "wiggles", hinzu, die mitunter zu einer Verkürzung, in den meisten Fällen aber zu einer weiteren Vergrößerung der Zeitintervalle führen.

## Diskussion der Meßergebnisse

Aus Abb. 2, in der das kalibrierte Alter der Torfschichten als Funktion der Tiefe unter der heutigen Oberfläche dargestellt ist, ergibt sich ein sehr unregelmäßiger Verlauf der Meßwerte. Insbesondere

die starken Schwankungen unterhalb von 3 m Tiefe deuten auf größere Störungen hin. Auf die tiefste aus Torf mit Tonbeimengungen bestehende Schicht mit einem kalibrierten Bereich von 1400 - 1060 v. Chr. folgt 190 cm darüber eine Torfprobe, die etwa 800 Jahre älter ist.

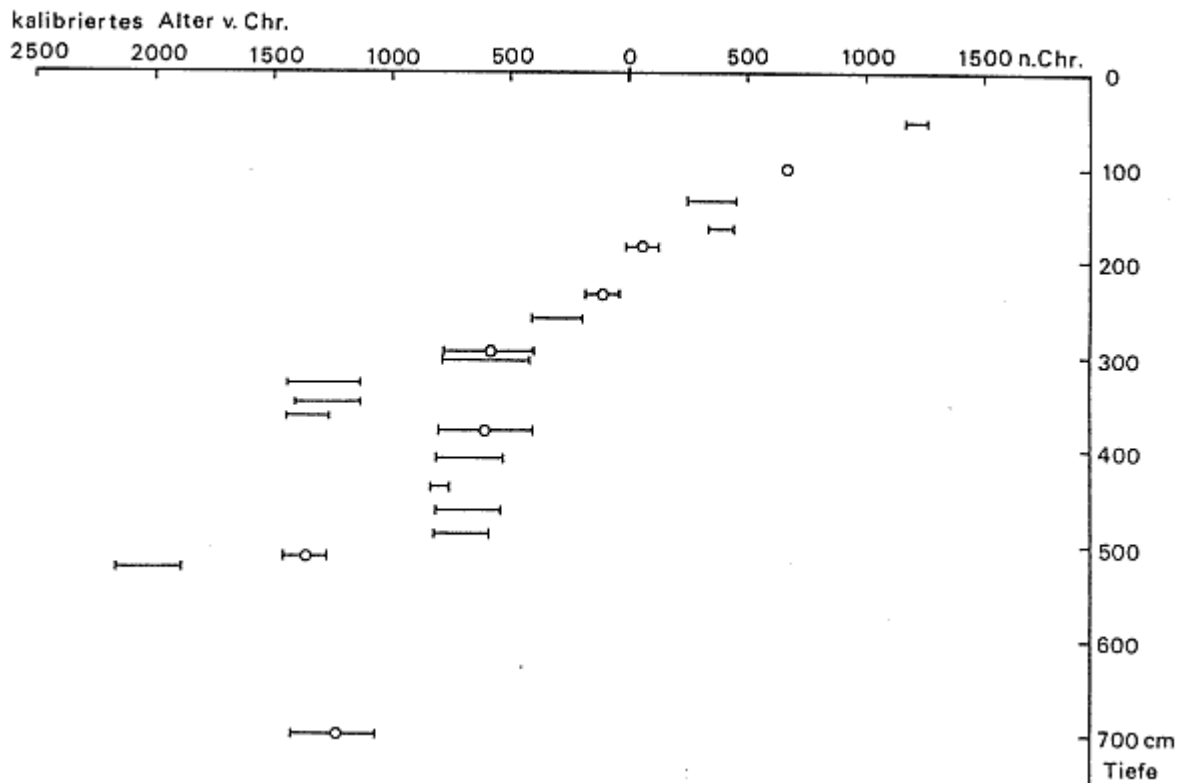


Abb.2 Höxter-Grundlose: Kalibriertes (dendrochronologisch korrigiertes) 14C-Alter als Funktion der Sedimenttiefe (vgl. Tab. 1)

offene Kreise: Erste Meßserie (KI-1250 bis KI-1256)  
einfache Linien: Ergänzungsmessungen (KI-2158.01 bis 18)

Die nächste, unmittelbar daran anschließende Probe ist wieder gut 600 Jahre jünger, und dann folgen 125 cm Torf, der in allen Schichten nahezu das gleiche Alter zwischen 800 und 600 v. Chr. ergibt. Die nächsten drei Proben sind mit 1400 bis 1200 v. Chr. wieder deutlich älter, und erst oberhalb 310 cm Tiefe folgen Schichten, deren Alter mehr oder weniger gleichmäßig nach oben abnimmt.

Eine Schicht kann nur zeitgenössisches Material enthalten oder Bestandteile, die älter sind und durch Rutschung, sekundäre Ablagerung o.a. in die betreffende Schicht gelangt sind. Wenn man von löslichen Anteilen absieht, die durch die chemische Vorreinigung entfernt wurden, kann dagegen kein jüngeres Material in eine bereits ausgebildete, ältere Schicht gelangen<sup>5</sup>. Daher stellen alle 14C-Daten "termini post quem" dar, d.h. in einem größeren Schichtbereich sind jeweils die jüngsten 14C-Daten als richtig anzusehen (obwohl im Prinzip auch diese Werte bei entsprechender Kontamination noch zu alt sein können), und es ist eine von unten nach oben monoton jünger werdende Datenfolge zu erwarten.

Alle in diesem Sinne zu alten Proben müssen Verunreinigungen enthalten und können nicht für die Altersbestimmung herangezogen werden. Damit fällt die Probe KI-2158.08 aus 536-520 cm Tiefe sicher heraus, denn sie ist deutlich älter als das Material aus 700 cm Tiefe. Auch die darüberliegende Probe KI-1255 (518-510 cm) erscheint etwas zu alt, allerdings ist der

Altersunterschied zu KI-1256 in Anbetracht der Standardabweichung der kalibrierten Werte nicht signifikant. Schließlich müssen wir auch die drei Proben zwischen 370 und 320 cm verwerfen, weil die darunterliegenden 150 cm jünger Material enthalten.

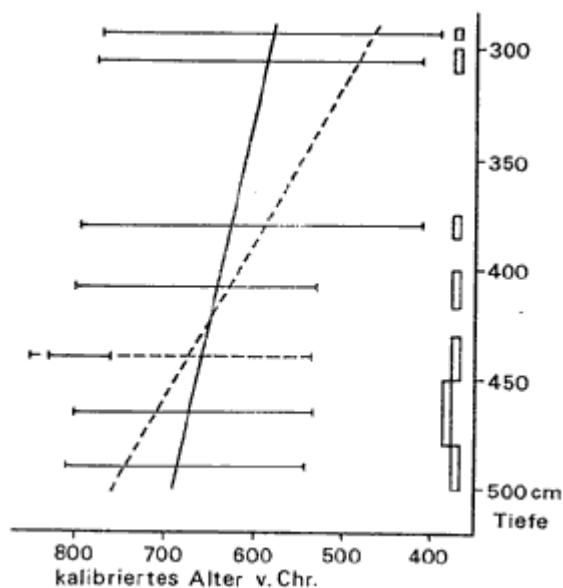
Die übrigen Werte ergeben ein regelmäßiges, wenn auch keineswegs konstantes Wachstum. Die unterste Probe in 700 cm Tiefe liegt mit dem konventionellen Alter  $1040 \pm 90$  BC im Grenzbereich der Pollenzonen IX/X (nach Overbeck). Die nächsten ungestörten Proben folgen in Schicht c zwischen 500 und 375 cm und setzen sich wahrscheinlich in den beiden Proben bei 300 cm Tiefe fort (Abb. 3).

-----  
<sup>5</sup> Averdieck gibt eine Ausnahme an. (s. S. 69 in diesem Heft)

Abb.3 Ausschnitt aus Abb.2 für 290 bis 500 cm Tiefe.

Die ausgezogene Gerade stellt die beste Ausgleichgerade darunter Berücksichtigung der unterschiedlichen Meßgenauigkeit. Danach wäre das Schichtpaket in nur 5 Jahrzehnten abgelagert worden. Wie die gestrichelte Gerade zeigt, ist auch eine Sedimentationszeit von 3 Jahrhunderten noch mit den Meßwerten vereinbar.

Diese Schichten müssen sich sehr schnell, in höchstens zwei bis drei Jahrhunderten gebildet haben (gestrichelte Linie in Abb. 3). Von den  $^{14}\text{C}$ -Werten her könnten sie sogar synchron sein, aber dagegen spricht das sich in diesem Bereich systematisch ändernde Pollenspektrum. Oberhalb von 310 cm finden wir einen ungestörten Verlauf mit einer durchschnittlichen Bildungsrate von etwa 16 cm/Jahrhundert im unteren Bereich und 9 cm/Jh. zwischen den beiden obersten Proben.



Wie sind nun die dazwischen liegenden zu alten Schichten zu erklären? Denkbar ist, daß alter,  $^{14}\text{C}$ -freier oder  $^{14}\text{C}$ -armer Torf oder Humus, z.B. bei Hochwasser durch die Weser an anderer Stelle erodiert wurde und dann sekundär in die untersuchten Schichten gelangt ist<sup>6</sup>. Dieser allochthone Anteil braucht nicht

-----  
<sup>6</sup> Im Bereich der Nordfriesischen Inseln ergaben beispielsweise Wattproben, die erst wenige Jahre zuvor sedimentiert wurden, aus genau diesem Grund  $^{14}\text{C}$ -Alterswerte von mehreren Jahrtausenden (ERLENKEUSER u.a. 1975).

sehr hoch zu sein, wie die folgende Abschätzung zeigt:

Wir nehmen an, daß sich das Material einer Schicht aus zwei Komponenten zusammensetzt, einem Anteil mit der Menge 1 - m, der das richtige Alter T haben möge, d.h. bei der Entstehung der Schicht aus frisch abgestorbenen Pflanzenteilen gebildet wurde, und einem zweiten mit der Menge m, der ein höheres Alter  $T_x$  hat und als längst abgestorbenes Material in die Schicht gelangt ist.

Gemäß

$$A = A_0 e^{-\lambda T} \text{ mit } A_0 = 100 \% \quad (1)$$

läßt sich die heutige 14C-Aktivität A bzw. Ax berechnen. Dabei ist x die Zerfallskonstante des Radiokohlenstoffs, und es gilt  $1 / \lambda = t = 8033$  Jahre. Beide Komponenten ergeben als Mischung die beobachtete Aktivität

$$A_B = (1-m) \cdot A + m \cdot A_x \quad (2)$$

aus der dann das scheinbare Alter

$$T_B = -t \cdot \ln(A_B/A_0) \quad (3)$$

berechnet wird. Aus (2) kann man nun den Anteil m der Verunreinigung bestimmen.

$$m = (A - A_B) / (A - A_x)$$

Offensichtlich geht in die Berechnung von m neben dem richtigen und dem scheinbaren Alter wesentlich das unbekannte Alter der Verunreinigung ein. Im Extremfall, wenn das eingeschwemmte Material sehr alt, etwa über 25 000 Jahre ist, kann man seine Aktivität  $A_x = 0$  setzen und es bleibt

$$m = (A - A_B) / A; \quad (4)$$

Zwischen 3 und 5 m Tiefe liegt das vermutlich richtige Alter der Torfschichten bei  $T = 2500$  BP mit einer Aktivität von  $A = 73,3 \%$ . Zwischen 3,20 m und 3,75 m ergaben jedoch die Messungen ein scheinbares Alter von  $T_B = 3000$  BP entsprechend  $A_B = 68,8 \%$ . Wenn man eine fossile, z.B. eem-zeitliche Beimischung unterstellt, ergibt sich nach (4) der allochthone Anteil zu 6%. Aber auch wenn die Verunreinigung aus dem frühen Holozän stammt (mit  $T_x 9000$  BP und  $A_x = 33\%$ ), beträgt ihr Anteil nach (3) nur 11%, um die beobachtete Altersverschiebung von 500 Jahren zu begründen. Dieser relativ geringe Fremdanteil könnte erklären, warum die Beimischung nicht schon bei der Pollenanalyse aufgefallen ist.

Auffällig ist ferner, daß nicht nur eine einzige, sondern alle drei Proben der Schicht d das gleiche, rund 500 Jahre zu hohe Alter ergeben. In dem eben vorgestellten Modell würde das bedeuten, daß den Ablagerungen über einen längeren Zeitraum hinweg ein gleichbleibender allochthoner Anteil beigemischt ist. Das ist aber sehr unwahrscheinlich. Plausibler erscheint die Vorstellung von AVERDIECK (1.c. S.68 f), daß die gesamte Schicht d en bloc an anderer Stelle losgerissen wurde und sich auf die jüngere Schicht c gelegt hat<sup>7</sup>. Ob auch die beiden Proben in 5 m Tiefe auf diese Weise zu erklären sind, läßt sich, eben weil es Einzelproben sind, an Hand der beiden 14C-Daten allein nicht beantworten.

AVERDIECK, (S.63) zeigte bereits, daß sich das Pollendiagramm aus den Grundlosen nur bedingt mit den Diagrammen des norddeutschen Flachlandes vergleichen läßt. Auch die daraus abgeleiteten Altersabschätzungen sind entsprechend unsicher. Anhand der 14C-Werte lassen sich die palynologischen Abschnitte zeitlich genauer einordnen (Tab. 2), obwohl auch hier gewisse Unsicherheiten bestehen bleiben, allein schon deswegen, weil die letzten 1500 Jahre lediglich durch zwei 14C-Daten belegt sind. Aus Tab. 2 entnimmt man, daß die Zonengrenzen, sofern sie überhaupt mit denen des Flachlandes zu vergleichen sind, im Wesertal einige Jahrhunderte früher liegen. Die Zeit starker Waldnutzung (Zone XII nach OVERBECK) beginnt im Norden um 900 bis 1200 n.Chr. (Averdieck et al. 1972, S. 55; vgl. auch Averdieck 1990, S. 133), dagegen setzt sie im Höxter-Profil in 100 cm Tiefe mit dem Abschnitt h ein (Averdieck, S.67), dem nach Tab. 1 der Zeitraum um 645 bis 685 n.Chr. entspricht. Ähnlich ist es mit der Grenze X/XI (Dv.), die im Flachland bei 200 bis 0 v.Chr. liegt, in dem untersuchten Profil aber zum Abschnitt c gehört, der nach Tab. 2 in den

-----  
<sup>7</sup> Ein ähnliches Phänomen ergab sich bei einem Kern aus einem süddeutschen Moor, bei dem der Zeitraum von 3800 bis 2600 BC einmal durch 4 und darüber noch einmal durch 19 14C-Daten belegt wurde (Willkomm 1988).

(kalibrierten) Zeitraum zwischen 700 und 600 v.Chr. fällt. Ferner sei auf die zeitliche Zuordnung der Kulturanzeiger hingewiesen. Das erste Minimum im Abschnitt d soll als allochthone Beimischung nicht berücksichtigt werden. Damit haben die Kulturanzeiger in den Abschnitten c und e einen kontinuierlichen Verlauf, der zu einem ersten Maximum im Abschnitt f (bei 260 cm) um 300 v. Chr. führt. Das absolute Minimum (g2) folgt bei ca. 200 bis 250 n. Chr., und der Wiederanstieg (g4) fällt etwa in das 6. bis 7. Jahrhundert.

### **Zusammenfassung**

Aus einem 815 cm langen Bohrprofil, das AVERDIECK (1.c.) aus den "Grundlosen" bei Höxter (Westfalen) geborgen hatte, wurden aus den oberen 7 m 20 Proben mit Hilfe der Radiokohlenstoff-Methode absolut datiert. Ein Teil der Ablagerungen ergab ein im Vergleich zu den darunterliegenden Schichten zu hohes Alter, was auf die Beimischung allochthonen Materials zurückzuführen ist. Die übrigen <sup>14</sup>C-Daten dienen zur zeitlichen Einordnung des von AVERDIECK erstellten Pollendiagramms und zeigen, daß einige Grenzen von Pollenzonen im Wesertal mehrere Jahrhunderte früher liegen als in der Norddeutschen Tiefebene.

### **Literatur**

AVERDIECK, F.-R. (1990): Die Torfmoore: Das Pleistozän und Holozän. In: GÖTTLICH, K. (Hrsg.): Moor- und Torfkunde, 3. Aufl., Stuttgart 1990, 114-155.

AVERDIECK, F.-R., K. PREYWISCH (1995): Die "Grundlosen" bei Höxter. In: Veröffentlichungen des Naturkundlichen Vereins Egge - Weser 7, 57-78

AVERDIECK, F.-R., H. ERLLENKEUSER, H. WILLKOMM (1972): Alterbestimmungen an Sedimenten des Großen Segeberger Sees. Sehr. Naturw. Ver. Schlesw. Holst. 42, Kiel 1972, 47-57.

ERLLENKEUSER, H., H. METZNER, H. WILLKOMM (1975): University of Kiel Radiocarbon Measurements VIII. Radiocarbon 17 (1975) 276-300

PEARSON, G. W., M. STUIVER (1986): High Precision Calibration of the Radiocarbon Time Scale, 500 - 2500 BC. In: M. STUIVER, R. KRAH (Hrsg.): Radiocarbon 28, 839-862

WILLKOMM, H. (1976): Altersbestimmungen im Quartär. Thiemig-Taschenbuch 55, München 1976, 276S.

WILLKOMM, H. (1987): Sedimentbildung im Poggensee anhand von <sup>14</sup>C-Daten. In: U. CIMIOTTI (Hrsg.): Beiträge zum Quartär von Holstein, S.95-118. Bd. 23 der Reihe B. HOFMEISTER, Fr. VOSS (Hrsg.): Berliner Geographische Studien

WILLKOMM, H. (1988): Radiokohlenstoffdatierungen im Bereich des Auerbergs. In: H.-J. KÜSTER (Hrsg.): Vom Werden einer Kulturlandschaft. S. 165-194. Bd.3 der Reihe G. KOSSACK, M. MARTIN, G. ULBERT (Hrsg.): Quellen und Forschungen zur prähistorischen und provinzialrömischen Archäologie

### **Anschrift des Verfassers:**

Prof. Dr. Horst Willkomm,  
Institut für Reine und Angewandte Kernphysik, Universität Kiel,  
Olshausenstr. 40,  
24118 Kiel

Bearb.-Nr.	Tiefe (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	konv. $^{14}\text{C}$ -Alter (BP) $\pm 1\sigma$	kalibr. Altersbereich nach/vor Chr.
KI-2158.01	40 - 60	-29,9	820 $\pm$ 48	1165 - 1260 n.
KI-1250	90 - 110	-29,7	1350 $\pm$ 42	645 - 685 n.
KI-2158.02	120 - 150	-27,7	1660 $\pm$ 80	250 - 445 n.
KI-2158.03	150 - 177	-29,9	1640 $\pm$ 38	340 - 430 n.
KI-1251	177 - 190	-28,9	1940 $\pm$ 50	0 - 120 n.
KI-1252	230 - 240	-29,3	2060 $\pm$ 47	170 - 40 v.
KI-2158.04	240 - 280	-28,4	2240 $\pm$ 80	400 - 95 v.
KI-1253	290 - 295	- - -	2400 $\pm$ 100	770 - 390 v.
KI-2158.14	300 - 310	-30,0	2470 $\pm$ 41	780 - 410 v.
KI-2158.05	320 - 340	-29,7	3040 $\pm$ 90	1430 - 1135 v.
KI-2158.15	340 - 360	-29,6	3000 $\pm$ 48	1395 - 1135 v.
KI-2158.18	370 - 370	-29,5	3080 $\pm$ 49	1430 - 1270 v.
KI-1254	375 - 385	-29,7	2490 $\pm$ 60	795 - 410 v.
KI-2158.06	400 - 417	-30,2	2510 $\pm$ 60	800 - 530 v.
KI-2158.16	430 - 450	-29,9	2580 $\pm$ 80	850 - 535 v.
KI-2158.17	450 - 480	-30,3	2510 $\pm$ 46	800 - 535 v.
KI-2158.07	480 - 500	-29,8	2550 $\pm$ 70	810 - 545 v.
KI-1255	510 - 518	-28,7	3100 $\pm$ 65	1440 - 1270 v.
KI-2158.08	520 - 536	-29,8	3610 $\pm$ 100	2140 - 1880 v.
KI-1256	700 - 707	-28,6	2990 $\pm$ 90	1400 - 1060 v.

Tab. 2: Altersabschätzung der Sedimente in den Grundlosen anhand der kalibrierten  $^{14}\text{C}$ -Daten

Abschnitt	Tiefe (cm)	kalibrierter Zeitraum
a, b, (c)	800 - 500	Datierung nicht möglich
c	500 - 380	etwa 700 bis 600 v.Chr.
d	370 - 320	allochthon, gehört nicht zum Profil
e	310 - 290	Forts. von c, etwa 550 bis 500 v.Chr.
f	285 - 240	400 bis 200 v.Chr.
g	230 - 100	150 v.Chr. bis 650 n.Chr.
g1	230 - 193	150 v.Chr. bis 100 n.Chr.
g2	185 - 160	150 bis 300 n.Chr.
g3	155 - 125	300 bis 500 n.Chr.
g4	121 - 100	550 bis 650 n.Chr.
h	97 - 70	700 bis 1000 n.Chr.
i	63 - 35	1100 bis 1450 n.Chr.
k	30 - 4	1500 bis 1900 n.Chr.