

Statistische Auswertung von ^{14}C -Daten archäologischer Proben

Von
Mebus A. Geyh

Mit 6 Abbildungen und 2 Tabellen

Zusammenfassung

Die Grundlagen der statistischen Auswertung von ^{14}C -Daten archäologischer Proben mit Hilfe der Darstellung in Histogrammen werden beschrieben, und die Umrechnung der ^{14}C -Zeitmarken bestimmter, besiedlungs- und kulturgeschichtlich ausgeprägter Abschnitte in konventionelle Altersbereiche erläutert. Die auf diese Weise erhaltenen Ergebnisse sind im allgemeinen zuverlässiger als die von einer Einzelauswertung zu erwartenden, weil subjektive Beurteilungsfehler wegfallen.

1.

Einleitung

Zur Klassifikation von ur- und frühgeschichtlichen Funden werden verschiedene Methoden angewandt. Am gebräuchlichsten ist, einzelne, als repräsentativ angesehene Objekte möglichst universell zu untersuchen und die Analyseergebnisse zu verallgemeinern, d. h. daraus ein Bild z. B. über die Geschichte einer zu untersuchenden Siedlungs-, Kult- oder Bestattungsstätte zu rekonstruieren. Es wird der Wirklichkeit um so näher kommen, je repräsentativer die ausgewählten Objekte für die Gesamtheit sind und je zuverlässiger sie untersucht werden können. In der Praxis freilich zeigt sich, daß dem wissenschaftlichen Bearbeiter die Auswahl der Proben nicht immer optimal gelingt. Manch zweifelhafte Chronologie, die auf ^{14}C -Daten ungeeigneter, vielleicht verunreinigter oder nicht autochthoner Proben (Streifunde) basiert, ist dafür ein Beispiel. Dabei können derartige Komplikationen leicht vermieden werden, wenn neben der individuellen eine statistische Bearbeitung, z. B. der erhaltenen ^{14}C -Daten, erfolgt. Bei ihr wird jedes Ergebnis als in seiner Aussage gleichgewichtiges Individuum der Gesamtheit angesehen, so daß zur zeitlichen Eingrenzung von Besiedlungs- und Kulturphasen anstelle einzelner, als zuverlässig angesehener Resultate die Häufigkeitsverteilung vieler ^{14}C -Alter (Histogramm) tritt.

Soweit bekannt, wurde bisher noch nicht versucht, ^{14}C -Daten archäologischer Proben nach diesem Verfahren auszuwerten und gleichzeitig die Eigenart der

^{14}C -Zeitskala zu berücksichtigen. Ein Grund hierfür mag die Schwierigkeit gewesen sein, Themenkreise zu finden, zu denen schon eine ausreichend große Anzahl von Radiokohlenstoff-Ergebnissen vorlag. Die wachsende Kapazität der ^{14}C -Labors und ihre steigende Ausnutzung durch Ur- und Frühgeschichtsforscher läßt indessen erwarten, daß dieser Engpaß bald überwunden sein wird und dann praktikierbare und erprobte Verfahren zur statistischen Auswertung von ^{14}C -Daten gefragt sein werden.

2.

Grundgedanke der statistischen Auswertung

Die Häufigkeitsverteilung eines diskontinuierlich (z. B. keramische Verzierungen, Formgebungen o. a.) oder kontinuierlich verteilten Fundgutmerkmals (z. B. ^{14}C -Alter) läßt durch Aufwölbungen (Peaks) besonders typische Merkmale hervortreten. Dies trifft solange zu, wie die einzelnen Funde aufgrund ihres Erhaltungszustandes u. a. mit gleicher Zuverlässigkeit klassifizierbar bleiben. Anderenfalls treten vorgetäuschte Peaks auf. Mit ihnen ist auch dann zu rechnen, wenn die Zahl der untersuchten Funde pro Merkmalbereich zu klein ist (≤ 7) oder ihre Auswahl statistischen Gesichtspunkten widerspricht, d. h. beispielsweise bestimmte Merkmalbereiche durch Selektion bevorzugt werden.

Bei oberflächlicher Betrachtung könnte man zu dem Schluß kommen, daß die Auswahl der Proben durch den Archäologen immer subjektiv beeinflusst ist, vor allem weil oft aus Zeitmangel nur jene Funde näher untersucht werden, denen ein besonderes wissenschaftliches Interesse entgegengebracht wird oder die z. B. wegen ihres Erhaltungszustandes leicht ansprechbar sind. Weil angenommen werden darf, daß solche ausgezeichneten Objekte gleich häufig sind – insbesondere in zeitlich nahe beieinander liegenden Besiedlungsphasen (Merkmalbereiche) –, kommt auch die vom Ausgräber vorgefundene Ansammlung von leicht interpretierbarem Kulturgut einer statistischen Auswahl sehr nahe. Uneingeschränkt trifft das für kulturunspezifische Substanzen wie Holz, Holzkohle u. ä. zu.

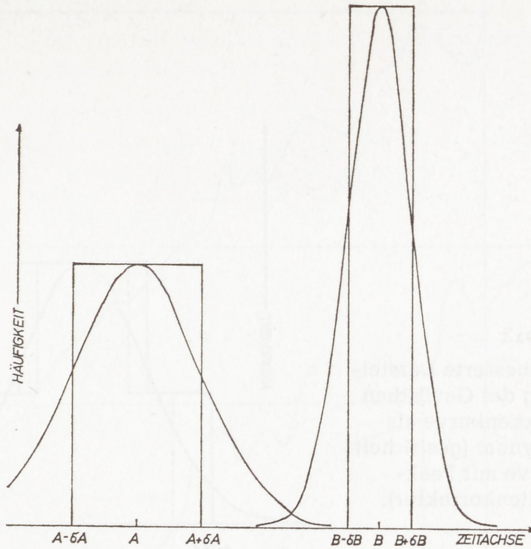
3.

Darstellung von ^{14}C -Daten in Histogrammen

Die graphische Darstellung von ^{14}C -Daten in Histogrammen kann mit verschieden großer Genauigkeit und – davon unmittelbar abhängig – mit unterschiedlichem Aufwand erfolgen (Geyh, 1969). Jedes ^{14}C -Alter A legt zusammen mit seiner Standardabweichung σA den Verlauf einer Gaußschen Glockenkurve fest, die eine bestimmte Fläche umgrenzt und mit wachsendem σA flacher und breiter wird. Sie kann vereinfacht als Rechteck dargestellt werden, dessen Grundlinienlänge der doppelten Standardabweichung entspricht und dessen Höhe aus dem vorgegebenen Flächeninhalt berechnet wird (Abb. 1). ^{14}C -Alter mit kleiner Standardabweichung entsprechen schmalen und hohen Rechtecken entgegen breiten und flachen von ungenauer bestimmten ^{14}C -Daten.

Abb. 1

Vereinfachte Darstellung der Gaußschen Glockenkurve als Rechteck.



Das Histogramm wird erhalten, indem die einzelnen Rechtecke lückenlos über der als Zeitachse dienenden Abszisse „gestapelt“ werden. Die umhüllende Kurve der sich ergebenden Gesamtfläche entspricht der gesuchten Häufigkeitsverteilung der ^{14}C -Daten, in der die Peakhöhe als Bewertungsmaßstab dient.

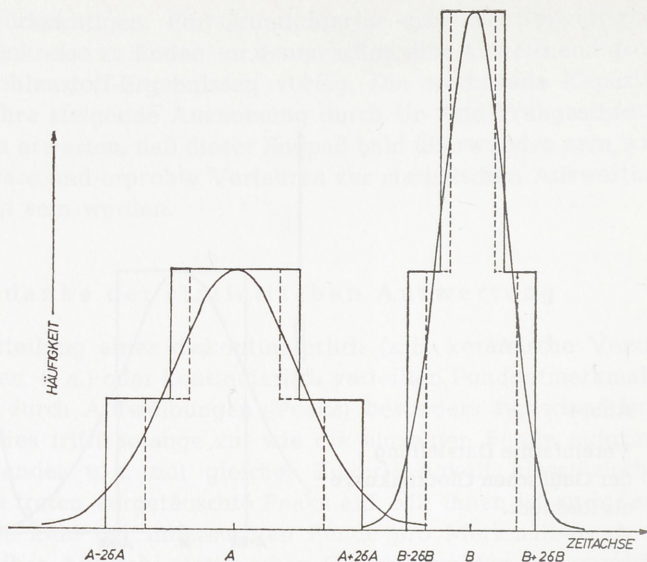
Nach dieser Methode lassen sich Histogramme relativ schnell und ohne besondere Hilfsmittel konstruieren. Wird der Datenumfang allerdings zu groß, ist der Einsatz elektronischer Großrechner mit automatischen Zeichengeräten angebracht. Dadurch eröffnet sich zugleich die Möglichkeit, eine bessere Approximation der Gaußschen Glockenkurve zu verwenden. Als mathematisch leicht faßbare Form bietet sich das Polynom an, das für diesen Zweck aus drei Rechtecken zusammengesetzt gedacht werden kann (Abb. 2). Das mittlere wird nach der vorher besprochenen Methode gezeichnet und durch zwei kleinere, die nur halbe Grundlinienbreite und Höhe haben, ergänzt. Durch diese Erweiterung werden anstelle von nur 70% des Informationsgehaltes eines ^{14}C -Ergebnisses 95% berücksichtigt. Allerdings muß die für diese modifizierte Methode an sich typische, aber unerwünschte Verbreiterung der Peaks verhindert werden, was mit einer Grundlinienbreite des Stammrechteckes von nur $2\sqrt{\sigma A}$ erreicht wird (Abb. 2: gestricheltes Polynom).

4.

Radiokohlenstoff- und konventionelle Zeitskala

Seit langem ist bekannt, daß die Radiokohlenstoff-Zeitskala nicht mit der konventionellen übereinstimmt (de Vries, 1958). Einigermaßen genaue Angaben über die Abweichungen der ^{14}C -Daten von ihren zugehörigen tatsäch-

Abb. 2
 Verbesserte Darstellung der Gaußschen Glockenkurve als Polynom (gestrichelt: Kurve mit Peakbreitenkorrektur).



lichen Altern (Walton und Baxter, 1968) konnten aber erst neuerdings gemacht werden, weil vorher die zur Eichung notwendigen, auf wenige Jahre genau datierten ^{14}C -Proben fehlten. Als einzig zuverlässige Objekte boten sich dendrochronologisch untersuchte Baumstämme langlebiger Hölzer (Suess, 1969) an, deren genaue Alter durch Auszählung der Jahresringe bestimmt worden waren. Die ^{14}C -Analysen von vielen hundert Segmentstücken lieferten die Ergebnisse, mit denen die erste, vorläufige Korrekturkurve für die letzten 7200 Jahre (Abb. 3) erhalten wurde (Suess, 1970).

Unschwer läßt sich erkennen, daß infolge ihrer Windungen in bestimmten Zeitabschnitten ein ^{14}C -Alter A mehreren konventionellen Alterswerten $a_1, a_2, a_3 \dots$ entsprechen kann (Abb. 4). In solchen Zeitabschnitten würde das durch das ^{14}C -Alter mit seiner Standardabweichung vorgegebene Intervall bei einer Umrechnung in einen konventionellen Altersbereich vergrößert werden. In jenen Zeitabschnitten, in denen die ^{14}C -Korrekturkurve dagegen sehr steil verläuft, wird der umgekehrte Effekt eintreten. Abgesehen davon werden bei derartigen Umrechnungen die Absolutwerte verschoben, beispielsweise im fünften vorchristlichen Jahrtausend um etwa 800 Jahre.

Bei der Transformation der Häufigkeitsverteilung von ^{14}C -Daten in eine Darstellung mit konventioneller Zeitachse zeigt sich, daß als Folge der starken Windungen der Korrekturkurve Peaks abgeschwächt oder verstärkt sein können (Abb. 4). In flach verlaufenden Abschnitten der ^{14}C -Korrekturkurve zeigen sich im Histogramm etwa scheinbare Überhöhungen (Abb. 5 und 6: schraffierte Bereiche). Will man deshalb die Häufigkeitsverteilung der ^{14}C -Daten entzerren, müssen die relativen Überhöhungen der Peaks aus dem Verlauf der

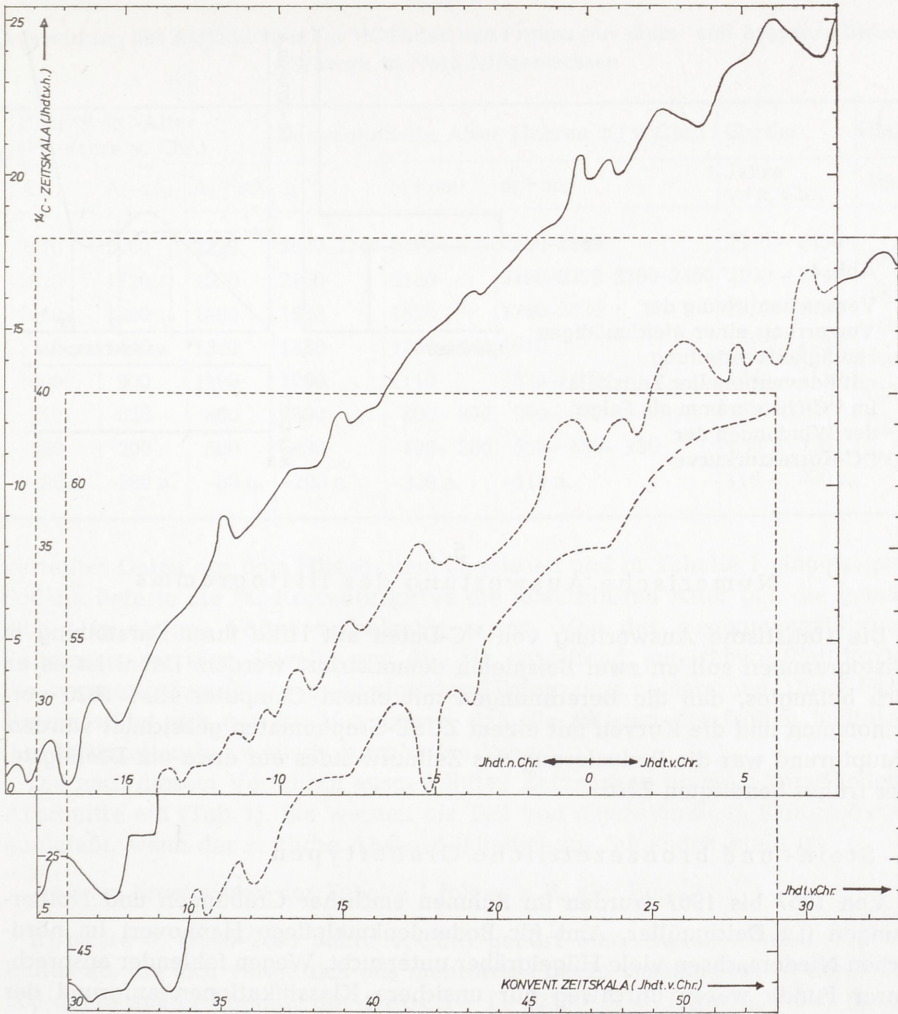


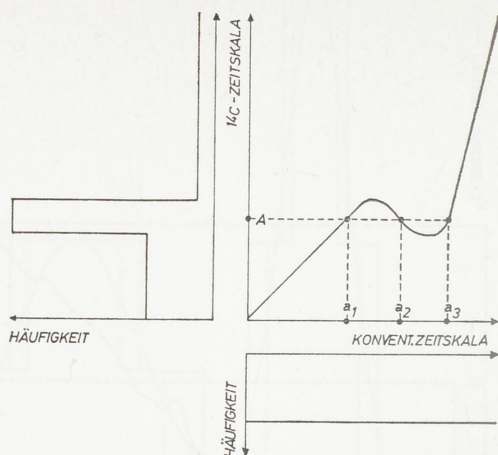
Abb. 3

Vorläufige ^{14}C -Korrekturkurve zur Umrechnung von Radiokohlenstoff-Daten in konventionelle Alter nach Suess (1970).

Korrekturkurve abgeschätzt werden und es muß eine Umzeichnung erfolgen. Kleine Computer reichen für diese Arbeit nicht aus, doch kann man sich leicht manuell behelfen. Die gestrichelten Kurven in Abb. 5 und 6, die für die ^{14}C -Zeitskala gelten, legen davon Zeugnis ab.

Aufschlußreichere Ergebnisse verspricht die numerische Auswertung, die im nächsten Kapitel näher beschrieben ist.

Abb. 4
 Veranschaulichung der
 Verzerrung einer gleichmäßigen
 Häufigkeitsverteilung
 mit konventioneller Zeitskala
 im ^{14}C -Histogramm als Folge
 der Windungen der
 ^{14}C -Korrekturkurve.



5.

Numerische Auswertung des Histogramms

Die statistische Auswertung von ^{14}C -Daten mit Hilfe ihrer Darstellung in Histogrammen soll an zwei Beispielen demonstriert werden. Dabei ist es an sich belanglos, daß die Berechnungen mit einem Computer IBM 1620 vorgenommen und die Kurven mit einem ZUSE-Graphomaten gezeichnet wurden. Hauptgrund war die Reduzierung des Zeitaufwandes auf etwa ein Dreißigstel der früher benötigten Zeit.

1. Stein- und bronzezeitliche Gräbertypen

Von 1957 bis 1967 wurden im Rahmen amtlicher Grabungen und Notbergungen (Dr. Deichmüller, Amt für Bodendenkmalpflege Hannover) im nördlichen Niedersachsen viele Hügelgräber untersucht. Wegen fehlender ansprechbarer Funde waren durchweg nur unsichere Klassifikationen aufgrund der Anlage der Bestattungsplätze möglich. Deshalb wurden in ^{14}C -Altersbestimmungen an Holzkohleresten besondere Hoffnungen gesetzt.

Bei der Untersuchung wurden 56 ^{14}C -Daten erhalten, die in Abb. 5 als Histogramm dargestellt sind. Die Nummern am oberen Rand geben die Zahl der zu den Peaks gehörigen ^{14}C -Daten an. Bis auf die bei 1000 ^{14}C -Jahren v. Chr. sichtbare Ausbuchtung sind alle Überhöhungen durch örtlich nicht korrelierbare ^{14}C -Daten entstanden.

Das korrigierte (gestrichelte) Histogramm läßt – wie erwartet – erkennen, daß nicht jeder Peak der unkorrigierten Häufigkeitsverteilung eine spezielle Phase der Gräberkultur in Niedersachsen darstellt. Um die wirklichen von den scheinbaren Phasen zu unterscheiden, wurden die Zeiten für die Maxima (A) und die Wendepunkte der Peaks ($A-\sigma A$, $A+\sigma A$) unter der Annahme normal-

Tabelle 1

Auswertung des Histogramms der ^{14}C -Daten von Proben aus stein- und bronzezeitlichen Gräbern in Nord-Niedersachsen

Peak	Unkorr. ^{14}C -Alter (^{14}C -Jahre v. Chr.)			Konventionelle Alter (Jahren n./v. Chr.)			Epoche	Hiatus
	A_i	$A_i - \sigma A_i$	$A_i + \sigma A_i$	a_i	$a_i + \sigma a_i$	$a_i + \sigma a_i$	Jahre v./n. Chr.	Jahre
A	2110	2000	2220	2520– 2740	2490	2600– 2940	2940 – 2490	
B	1820	1720	1920	2160	2140	2190 –2290–2360–2450	2190 – 2140	300
C	1460	1360	1560	1680	1620	1750 –2030	1750 – (1620	390
D	1240	1140	1340	1480	1360 –1440	1610	1610)– 1360	10
E	1000	900	1100	1260	1110	1320– 1400	1400 – 1110	40
F	710	620	800	890	800– 890	900– 970	970 – 810	140
G	350	200	500	430	190 – 360	560– 650 – 790	650 – 190	160
H	-180 n.	-280 n.	-80 n.	-200 n.	-300 n.	-110 n.	110 – 300 n.	300

verteilter Daten aus dem Histogramm abgelesen und in Tabelle 1 eingetragen. Sodann lieferte die ^{14}C -Korrekturkurve die tatsächlichen Alter (a_i), die gemäß Abb. 4 in einigen Fällen mehrdeutig waren. Von den zusammengehörigen Zeitmarken wurden jeweils nur die als zutreffend angesehen (Fettdruck), die symmetrischen Peaks im korrigierten Histogramm entsprechen. Diese Festlegung stützt sich auf die Vermutung, daß die meisten der frühen Kulturen ihre Blütezeiten harmonisch durchlaufen haben.

Die nach diesem Verfahren ausgewählten Zeitmarken grenzen verschiedene Abschnitte ein (Tab. 1). Sie werden als Teil von eigenständigen Kulturphasen aufgefaßt, wenn der zeitliche Abstand (Hiatus) zur folgenden klein ist.

Aus den Ergebnissen der Tabelle 1 folgen z. B. vier Epochen:

Epoche I (2940–2490 Jahre v. Chr.) gehört einer steinzeitlichen Gräberkultur an, die sich vermutlich aus mehreren Phasen zusammensetzt (Peak A). 300 Jahre später beginnt die Epoche II (2190–2140 Jahre v. Chr.), die in die Frühbronzezeit (Peak B) fällt. Eine Zeitlücke von rund 400 Jahren trennt die II. von der III. Epoche (1750–1110 Jahre v. Chr.), in der Baumsargbestattungen kennzeichnend waren (Peaks C, D, E). 140 Jahre danach beginnt mit Peak F die Epoche IV (970–810 Jahre v. Chr.), in der nur Nachbestattungen erfolgten. Die weiteren, durch fünf Proben belegten Aufwölbungen, von denen Peak G nach der Korrektur verschwindet, hängen ebenfalls mit Nachbestattungen in Hügelgräbern zusammen.

2. Besiedlungsphasen einer neolithischen Moorsiedlung

Im Rahmen der Ausgrabung der neolithischen Siedlung Hüde I am Dümmer (Dr. Deichmüller) wurden insgesamt 56 Holz- und Holzkohleproben ^{14}C -datiert.

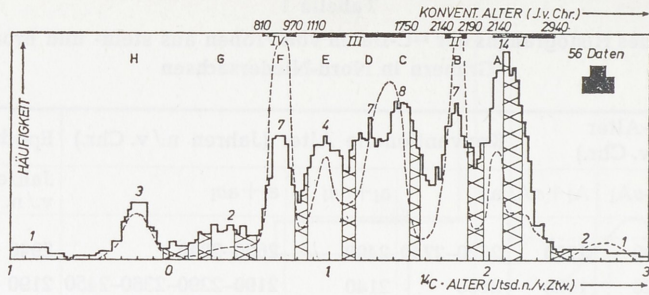


Abb. 5

Histogramm der ^{14}C -Daten von bronze- und steinzeitlichen Gräbern aus dem nördlichen Niedersachsen. Die schraffierten Bereiche entsprechen Abschnitten der ^{14}C -Korrekturkurve mit nahezu horizontalen Windungen, durch die scheinbare Peaks vorgetäuscht sein können. Die gestrichelte Kurve stellt die korrigierte Häufigkeitsverteilung dar. Die Fläche des schwarzen Polynoms entspricht einem ^{14}C -Ergebnis.

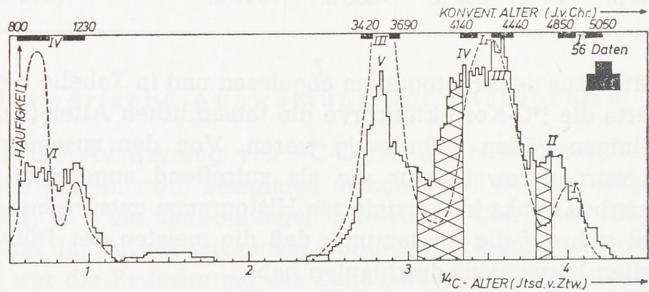


Abb. 6

Histogramm der ^{14}C -Daten von der neolithischen Moorsiedlung Hüde I am Dümmer. Die schraffierten Bereiche entsprechen Abschnitten der ^{14}C -Korrekturkurve mit nahezu horizontalen Windungen, durch die scheinbare Peaks vorgetäuscht sein können. Die gestrichelte Kurve stellt die korrigierte Häufigkeitsverteilung dar. Die Fläche des schwarzen Polynoms entspricht einem ^{14}C -Ergebnis.

Die Siedlungsfläche liegt im Bruchwald-Niedermoor in unmittelbarer Nähe des Flußbettes der Hunte. Die Kulturschicht ist uneben und häufig gestört, so daß zeitliche Einstufungen aufgrund der Stratigraphie unmöglich waren. Allein von Pollenanalysen (Prof. Schüttrumpf, Köln) und Radiokohlenstoff-Datierungen wurden genauere zeitliche Angaben erwartet. Nach der palynologischen Untersuchung zeichneten sich drei deutlich voneinander getrennte Besiedlungsphasen ab (Deichmüller, 1968). Ein ähnliches Ergebnis liefert die statistische Auswertung der ^{14}C -Daten, die in Abb. 6 als Histogramm dargestellt sind. Die Auswertung erfolgte analog zum vorher besprochenen Beispiel und läßt sich anhand der Tabelle 2 rekonstruieren.

Die erste Epoche (5050–4850 Jahre v. Chr.) entspricht dem Siedlungsbeginn mit nur wenig Bewohnern. Sie werden überwiegend Jäger und Fischer gewe-

Tabelle 2

Auswertung des Histogramms der ^{14}C -Daten von Proben aus der Moorsiedlung Hüde I am Dümmer.

Peak	Unkorr. Zeiten (^{14}C -Jahre v. Chr.)			Konventionelle Alter (Jahre v. Chr.)			Epoche	Jahre
	A_i	$A_i - \sigma A_i$	$A_i + \sigma A_i$	a_i	$a_i + \sigma a_i$	$a_i + \sigma a_i$	Jahre v. Chr.	Hiatus
I	4080	3960	4200	4910	4830	5050	4830)– 5050	
II	3920	3840	4000	4810	4690– 4760	4850	4760 –(4850	–20
III	3520	3400	3640	4360	4270 –4340	4440	4270)– 4440	320
IV	3320	3220	3420	4040–4110– 4210	3980– 4140 –4210	4340	4140 –(4330	–70
V	2820	2720	2920	3560 –3660	3420 –3490	3690	3420 – 3690	450
VI	800	620	980	900– 970	800 – 890	1230	800 – 1230	2190

sen sein. Die folgende Hauptbesiedlungsepoche (4440–4140 Jahre v. Chr.) gehört typologisch der Rössener Kultur an, in der weiterhin Fischen und Jagen die Lebensgrundlage der Menschen bildete. Rund 500 Jahre später setzt die Trichterbecher-Kultur ein (3690–3420 Jahre v. Chr.), deren Siedler das Rind und Schwein domestizierten und Getreide anbauten. Diese drei (vier) Epochen liegen zeitlich so weit auseinander, daß einer Besiedlungskontinuität wenig Wahrscheinlichkeit zukommt.

Durch keine archäologischen Funde belegt ist eine weitere, gut erkennbare Epoche IV (1230–800 Jahre v. Chr.). Sie könnte einer früheisenzeitlichen Besiedlung des Dümmer entsprechen, aber auch vegetationsgeschichtliche Ursachen haben.

Die Notwendigkeit der statistischen Auswertung von ^{14}C -Daten zur zeitlichen Eingrenzung von Kulturepochen in der Ur- und Frühgeschichte dürfte mit den beiden Beispielen deutlich gemacht worden sein. Es bleibt, auf den Nutzen für die Arbeit der ^{14}C -Labors hinzuweisen. Liegt für eine Ausgrabungsstätte einmal eine chronologische Gliederung der Funde vor, sind weitere ^{14}C -Analysen mit geringerer Genauigkeit und mit kleinerem Aufwand durchführbar, weil die zeitliche Einstufung der Funde erleichtert ist.

Literatur

- Deichmüller, J., 1968: Die neolithische Moorsiedlung Hüde I, Grafschaft Diepholz. Abschlußbericht. – Nachr. Nieders. Urgeschichte 37, 106–110.
- Geyh, M. A., 1969: Versuch einer chronologischen Gliederung des marinen Holozäns an der Nordseeküste mit Hilfe der statistischen Auswertung von ^{14}C -Daten. – Ztschr. deutsch. geol. Ges. 118, 351–360.
- Suess, H. E., 1969: Die Eichung der Radiokohlenstoffuhr. – Bild der Wissenschaft 6, 121–127.

- Suess, H. E., 1970: Bristle pine calibration of the radiocarbon time scale 5200 B. C. to the present. - Radiocarbon Variations and Absolute Chronology, ed. by I. Olsson, Uppsala, 303-311.
- de Vries, Hl., 1958: Variations in concentration of radiocarbon with time and location on earth. - Proc. Koninkl. Nederl. Akad. von Wetenschappen 61, Ser. B, 1-9.
- Walton, A., und Baxter, M. S., 1968: Calibration of the radiocarbon time scale. - Nature 220, 475-476.