

harusgrab aus Apahida wurde bisher allgemein den Gepiden zugewiesen und als der früheste Beleg ihres Vordringens nach Siebenbürgen gewertet⁵¹. Somit müßte auch der Goldschatz aus Cluj gepidisch sein. Dabei wird aber die Rolle und Bedeutung der Ostgoten vor ihrer Niederlassung in Pannonien nicht in ausreichendem Maße berücksichtigt. Die beiden Schatzfunde aus dem etwa 60 km entfernten Şimleul Silvaniei (Szilágysomló) sind zwar etwas älter, stammen aber gleichfalls erst aus dem 5. Jahrhundert und erschließen einen weiteren ostgermanischen Herrschaftsmittelpunkt, der wohl ostgotisch, aber kaum gepidisch sein kann. Das Gleiche gilt von dem großen Schatzfund aus Pietroasa, der anscheinend in die Zeit Attilas umdatiert werden muß und vermutlich erst während der Wirren nach seinem Tode verborgen wurde⁵². Weiter wäre noch zu erwägen, wo die Wohnsitze der Ostgoten während der Hunnenzeit lagen und ob sie sich alle geschlossen in Pannonien ansiedelten. Für die historische und ethnische Deutung des Schatzes aus Cluj und des ostgermanischen Herrschaftsbereiches, zu dem er gehört, ergibt sich somit die Frage, ob er noch ostgotisch oder bereits gepidisch ist. Eine eindeutige Entscheidung kann nicht getroffen werden, doch wird man die Möglichkeit einer ostgotischen Zuweisung in Betracht ziehen oder einer solchen Lösung vielleicht sogar den Vorzug geben müssen⁵³. In Verbindung mit der Veröffentlichung des zweiten Fürstengrabes aus Apahida wird dieses Problem von neuem zu erörtern sein.

K. H.

⁵¹ K. Horedt, Untersuchungen zur Frühgeschichte Siebenbürgens (1958) 81f.

⁵² Horedt, Acta Musei Napocensis 6, 1969, 549ff.

⁵³ In diesem Falle würden erst die frühen Reihengräber auf dem rechten Ufer des Kleinen Somesch gegenüber der Fundstelle des Schatzes (Abb. 1 Nr. 4) mit den Gepiden zusammenhängen. Vgl. Horedt (wie Anm. 51) 75ff.

Möglichkeiten der ¹⁴C-Datierung

Von Horst Willkomm, Kiel

Einleitung

Die Altersbestimmung mit Hilfe des radioaktiven Zerfalls des Kohlenstoffisotops ¹⁴C hat in den letzten Jahren immer mehr Bedeutung gewonnen¹. In dem Maß jedoch, wie sich der Kreis derjenigen erweitert, die die ¹⁴C-Datierung benutzen oder mit ihren Ergebnissen in Berührung kommen, wächst auch die Gefahr von Fehleinschätzungen ihrer Ergebnisse. Die Skala reicht von der unkritischen Benutzung des angegebenen Mittelwertes als exakte, auf das Jahr genaue Datierung bis zu dem Vorschlag, die ¹⁴C-Daten so lange völlig zu ignorieren, bis alle mit dieser Methode verbundenen Unsicherheiten geklärt

¹ Die nachstehenden Ausführungen geben einen Vortrag wieder, den Verf. auf der Jahrestagung des Nordwestdeutschen und des Süd- und Westdeutschen Verbandes für Altertumsforschung am 5. 6. 1968 in Schleswig gehalten hat.

sind. Aus diesem Grunde erscheint der Versuch sinnvoll, einmal kritisch zu untersuchen, wie weit die Möglichkeiten der ^{14}C -Methode gehen und wo ihre Grenzen liegen.

Die Genauigkeit einer ^{14}C -Altersbestimmung ist durch eine Reihe von Einflüssen eingeschränkt, die auf die Probe einwirken und damit das Ergebnis der Datierung verfälschen können. In *Tabelle 1* sind die verschiedenen Schritte, die der Kohlenstoff von der Atmosphäre über die Assimilation bis zur Messung im Zählrohr durchläuft, dargestellt. Dabei deuten die waagerechten einfachen Pfeile die Ursachen für mögliche Veränderungen des ^{14}C -Gehaltes an.

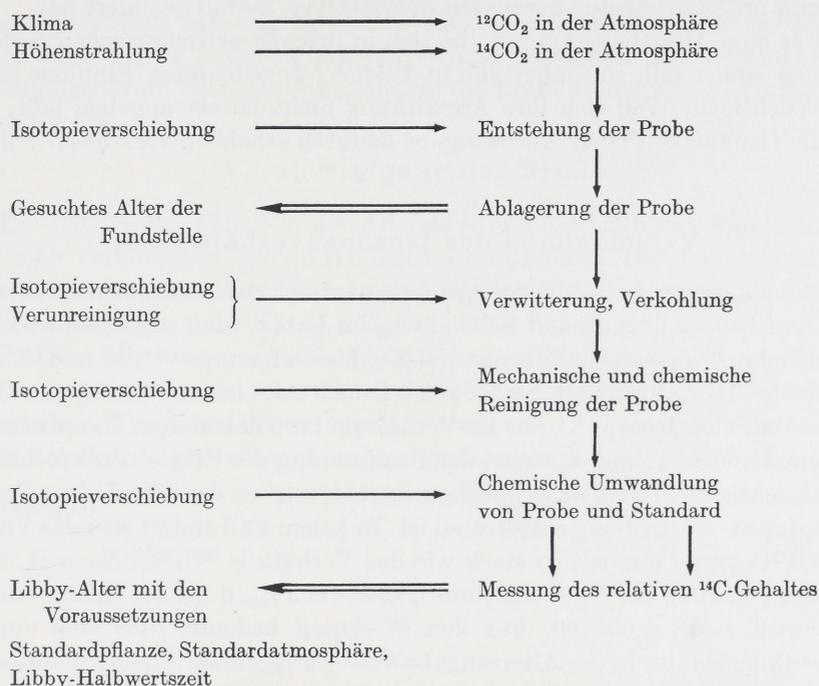


Tabelle 1. Entwicklung einer Kohlenstoffprobe.

Aktivitätsmessung

Die eigentliche Aktivitätsmessung, sie entspricht den beiden untersten, senkrechten Pfeilen in *Tabelle 1*, liefert zur gesamten Ungenauigkeit nur einen relativ kleinen Anteil, der von den statistischen Fehlern der Zählraten für die Probe, für den Rezentstandard und für den Nulleffekt herrührt. Dieser statistische Fehler wird üblicherweise zusammen mit dem Alter angegeben. Routinemäßig werden heute etwa folgende Genauigkeiten erreicht:

Alter der Probe	Statistischer Fehler
0 Jahre	70 Jahre
10 000 "	100 "
20 000 "	250 "
30 000 "	700 "
40 000 "	2500 "

Bei Proben, die 50 000–60 000 Jahre alt sind, beträgt die spezifische Aktivität nur noch 1‰ des Rezentwertes, und die Probe unterscheidet sich nicht mehr signifikant vom Nulleffekt. Die Datierung ergibt dann nur noch ein Mindestalter, z. B. 45 000 oder 50 000 Jahre, je nach Genauigkeit der betreffenden Messung.

Diese „ideale“ ^{14}C -Altersbestimmung, die zum „Libby-Alter“ führt, geht davon aus, daß die zu untersuchende Probe bei ihrer Entstehung einen bestimmten, für alle Proben aus allen Zeiten einheitlichen ^{14}C -Gehalt besessen hat, und daß sich dieser ^{14}C -Gehalt von der Entstehung der Probe bis zu ihrer Messung im Zählrohr nur durch den radioaktiven Zerfall geändert hat.

Für eine Altersbestimmung, die sich in unseren astronomischen Kalender einfügen lassen soll, sind aber alle in *Tabelle 1* angedeuteten Einflüsse mit zu berücksichtigen. Weil sich ihre Auswirkung nicht immer angeben läßt, kann sich die Genauigkeit einer Altersangabe dadurch erheblich verschlechtern.

Verschiebung des Isotopenverhältnisses

Bei allen chemischen Vorgängen, also bei der Assimilation und Verwitterung und bei der chemischen Behandlung im Labor, muß man damit rechnen, daß sich das Mengenverhältnis der drei Kohlenstoffisotope ^{12}C , ^{13}C und ^{14}C etwas verschiebt. Diese Verschiebung läßt sich jedoch mit einem Massenspektrometer an dem stabilen Isotop ^{13}C , das im Verhältnis 1:90 neben dem Hauptisotop ^{12}C vorkommt, messen und dann bei der Bestimmung des ^{14}C -Gehaltes rechnerisch berücksichtigen². Dabei ist es gleichgültig, bei welchen der chemischen Prozesse die Isotopenverschiebung eingetreten ist. In jedem Fall ändert sich das Verhältnis $^{14}\text{C}:^{12}\text{C}$ genau doppelt so stark wie das Verhältnis $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$. Nach H. Craig³ schwankt in Holz der ^{13}C -Gehalt um höchstens 3‰ , d. h. aus dem Verhältnis 1:90 wird z. B. 1,003:90. Für den ^{14}C -Anteil bedeutet das eine doppelte Schwankungsbreite in der Altersangabe von $\pm 6\text{‰}$ entsprechend ± 50 Jahren. Dieser Fehler wird normalerweise durch die statistische Ungenauigkeit überdeckt. Daher sind bei Datierungen von Holzproben im allgemeinen keine ^{13}C -Messungen erforderlich.

Bei Gras und Blättern fand H. Tauber⁴ größere Schwankungen, die um $\pm 1\%$ im ^{13}C vom Mittelwert abweichen können. Der daraus folgenden Schwankung von $\pm 2\%$ im ^{14}C entspricht ein Altersfehler von ± 160 Jahren.

Der Isotopieeffekt kann sich auch bei der Herstellung des Standardgases auswirken. Je nach Verfahren ergaben sich Abweichungen von ± 3 bis $\pm 6\text{‰}$ vom ^{13}C -Mittelwert, das würde zu Fehlern in der Altersbestimmung von 50 bis 100 Jahren führen⁵.

² Für das Mengenverhältnis gilt etwa $^{12}\text{C}:^{14}\text{C} = 1:10^{-12}$ für rezente Proben und $^{12}\text{C}:^{14}\text{C} = 1:10^{-14}$ für 38 000 Jahre alte Proben.

³ H. Craig, The Geochemistry of the stable carbon isotopes. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 3, 1953, 53 ff.

⁴ H. Tauber, Geographic Variations in Atmospheric ^{14}C -Activity. *Radiocarbon* 9, 1967, 246 ff.

⁵ Craig, Mass-Spectrometer Analysis of Radiocarbon Standards. *Radiocarbon* 3, 1961, 1 ff.

Auch wenn man die Ergebnisse der ^{14}C -Messungen von Landpflanzen nicht durch ^{13}C -Messungen korrigiert, liegen daher die entstehenden Fehler in der Größenordnung von 100 Jahren, so daß sie bei jüngeren Proben wenig und bei Proben, die älter als 15 000 Jahre sind, gar nicht zum Gesamtfehler beitragen.

Probenablagerung

Die Frage, wieweit ein Stückchen Holzkohle oder der Rest eines Pfostens wirklich das Alter der Schicht, in der die Probe gefunden wurde, ergibt, ist mehr ein archäologisches als ein kernphysikalisches Problem. Nur der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß eine Holzprobe bei einer ^{14}C -Datierung selbstverständlich die Jahre ergibt, in denen ihre Jahresringe gewachsen sind, und nicht etwa das Fällungsdatum oder das Jahr, in dem die Probe in die jetzige Fundschicht gekommen ist.

Verunreinigung der Probe

Ein sehr großer Fehler in der Altersbestimmung kann sich ergeben, wenn die Probe verunreinigt ist, z. B. durch nachträgliche Durchwurzelung oder durch Einschwemmen von Material mit einem anderen Alter. In Grenzen ist zwar eine Reinigung der Probe möglich, etwa indem man aus pflanzlichem Material den eingedrungenen Kalk mit Salzsäure herauslöst oder aus Torf die Huminsäuren entfernt und nur die Gerüstzellulose datiert, aber es ist praktisch unmöglich, z. B. jüngere Wurzeln quantitativ aus einer Probe zu entfernen. Die in den *Abb. 1-3* gezeichneten theoretischen Kurven sollen einen Eindruck ver-

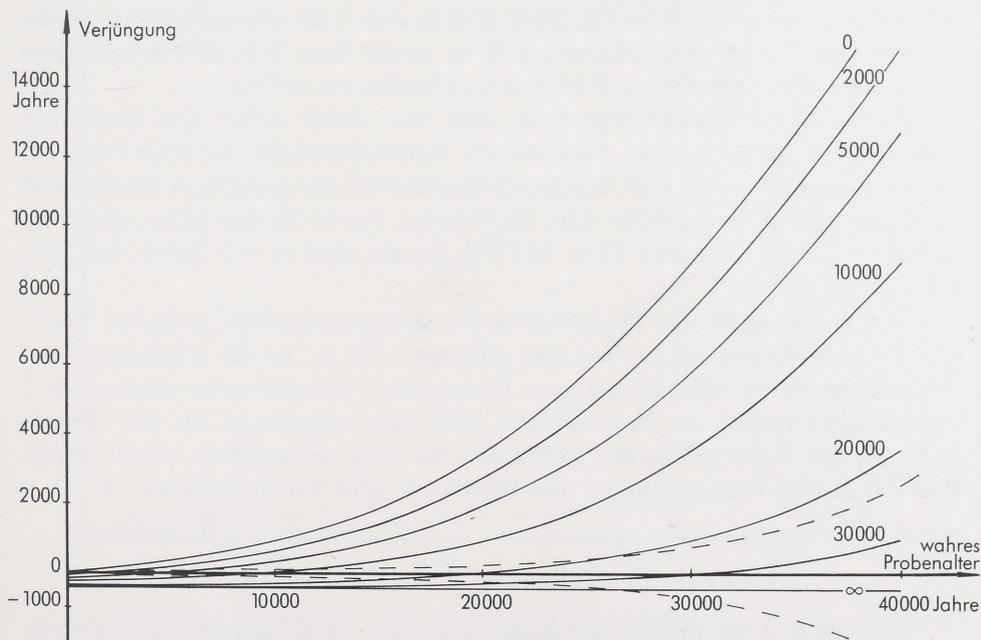


Abb. 1. Altersverschiebung von ^{14}C -Proben durch Beimischung von 5% Material mit falschem Alter. Parameter: Alter der Verunreinigung. Zum Vergleich wurde der statistische Fehler der Aktivitätsmessung eingezeichnet (gestrichelt).

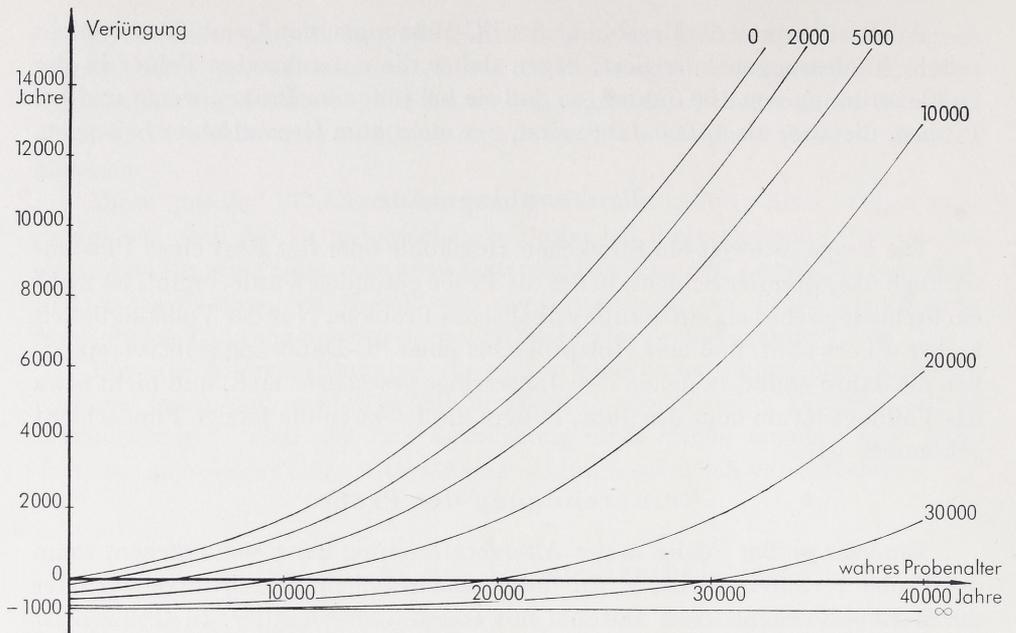


Abb. 2. Altersverschiebung von ^{14}C -Proben durch Beimischung von 10% Material mit falschem Alter. Parameter: Alter der Verunreinigung.

mitteln, wie groß diese Altersverfälschung bei verschiedenen starken Verunreinigungen sein kann. Zum Vergleich sind in *Abb. 1* die eingangs angegebenen statistischen Fehler eingezeichnet, weil es wenig Sinn hat, durch besondere Reinheitsforderungen diesen Fehler unterschreiten zu wollen.

Aus *Abb. 1* entnimmt man z. B., daß eine 20000 Jahre alte Probe um 2000 Jahre jünger erscheint, wenn sie 5% Material enthält, das 5000 Jahre alt ist. Sehr altes Material, z. B. Konservierungsmittel aus inaktivem Kohlenstoff (Chemikalien auf Steinkohlen- oder Erdölbasis), macht Proben jeden Alters um eine feste Zahl von Jahren älter. Bei 5% Zusatz sind es 410 Jahre, bei 10% 830 Jahre.

Wenn man statt des Probenalters den Altersunterschied zwischen Probe und Verunreinigung auf der x-Achse aufträgt (*Abb. 3*), ist die scheinbare Verjüngung der Probe unabhängig vom Probenalter. Beispielsweise machen 20% Beimischung von einem Material, das 8000 Jahre jünger ist als das Hauptmaterial, das Meßergebnis um 2300 Jahre zu jung, ganz gleich, ob die Probe 8000 Jahre (die Verunreinigung also rezent ist) oder 50000 Jahre alt ist.

Veränderungen der Rezentaktivität

In *Tabelle 1* ist durch die beiden obersten Pfeile angedeutet, daß das Verhältnis von ^{14}C zu ^{12}C in der Atmosphäre, das sich bei der Assimilation auf die Pflanzen als „Rezentwert“ überträgt, von zwei verschiedenen Faktoren abhängt. Der Gehalt an normalem Kohlendioxyd ($^{12}\text{CO}_2$ und $^{13}\text{CO}_2$) ist vom

Klima abhängig, insbesondere von der Temperatur der Ozeane. Das $^{14}\text{CO}_2$ wird dagegen von der Höhenstrahlung erzeugt.

Verschiedene Labors haben inzwischen den ^{14}C -Gehalt von Baumringen der *Sequoia Gigantea* und der *Pinus Aristata*, deren tatsächliches Alter dendrochronologisch bestimmt wurde, gemessen und daraus die ^{14}C -Konzentration in vergangenen Jahrtausenden berechnet. Diese Meßergebnisse liegen den Abb. 4–7 zugrunde. Auf der x-Achse ist das durch Auszählen der Jahresringe bestimmte Kalenderjahr aufgetragen, in dem sich der betreffende Jahresring gebildet hatte. Aus der heute gemessenen ^{14}C -Aktivität wurde die Aktivität errechnet, die der Jahresring während seiner Entstehung hatte⁶. Ist dieser Wert größer als die Standard-Rezentaktivität, so ist das ^{14}C -Alter geringer als das

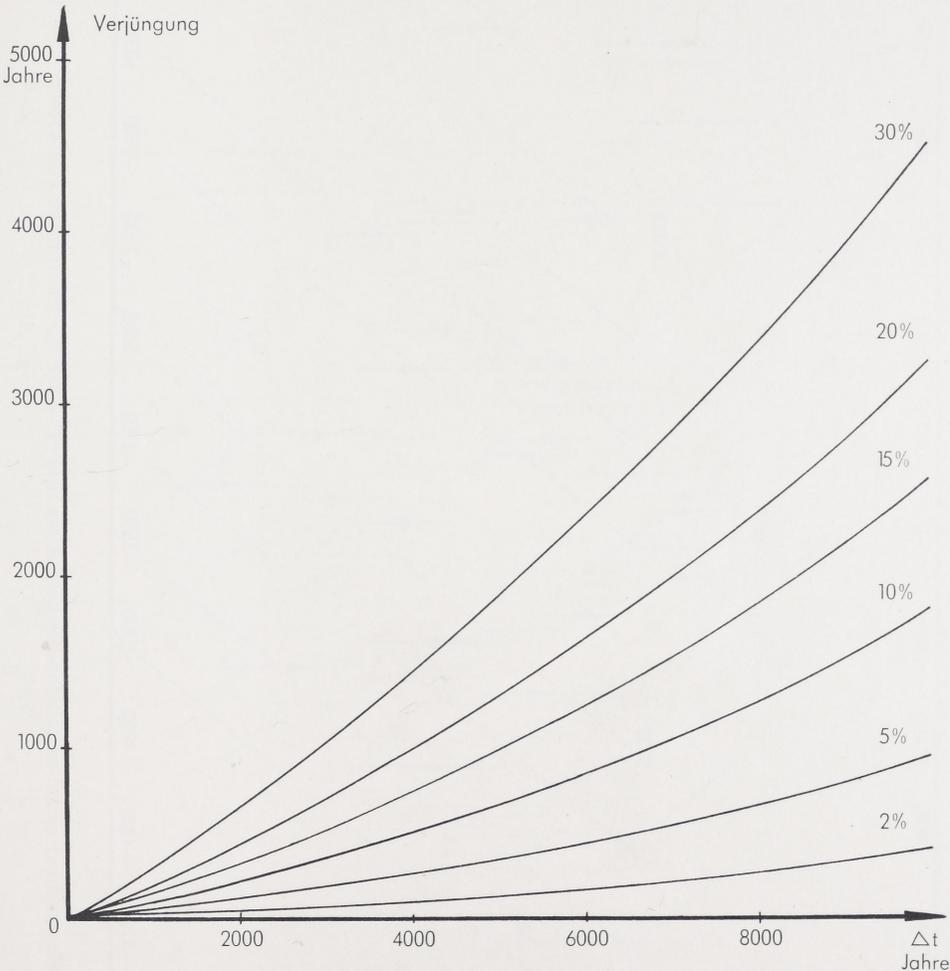


Abb. 3. Scheinbare Verjüngung einer ^{14}C -Probe durch Material, das Δt Jahre jünger ist. Parameter: Relativer Anteil der Verunreinigung.

⁶ Zur genauen Berechnung vgl. Willkomm, Absolute Altersbestimmung mit der ^{14}C -Methode. Die Naturwissenschaften 55, 1968, 415 ff.

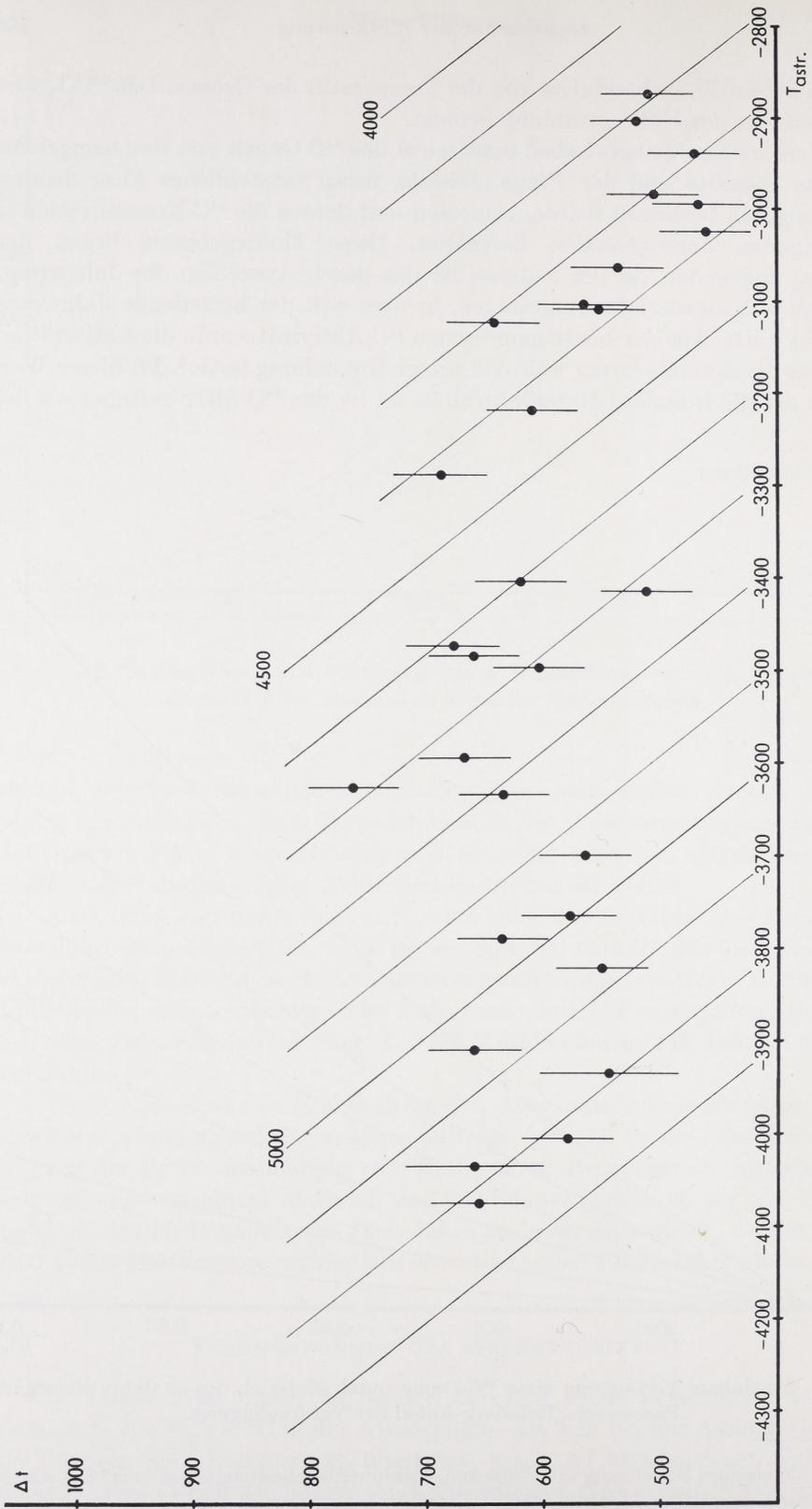


Abb. 4. Unterschied zwischen astronomischem Alter und ^{14}C -Alter für Baumringe von 4100 v. Chr. bis 2800 v. Chr. Zur näheren Erklärung vgl. Abb. 7.

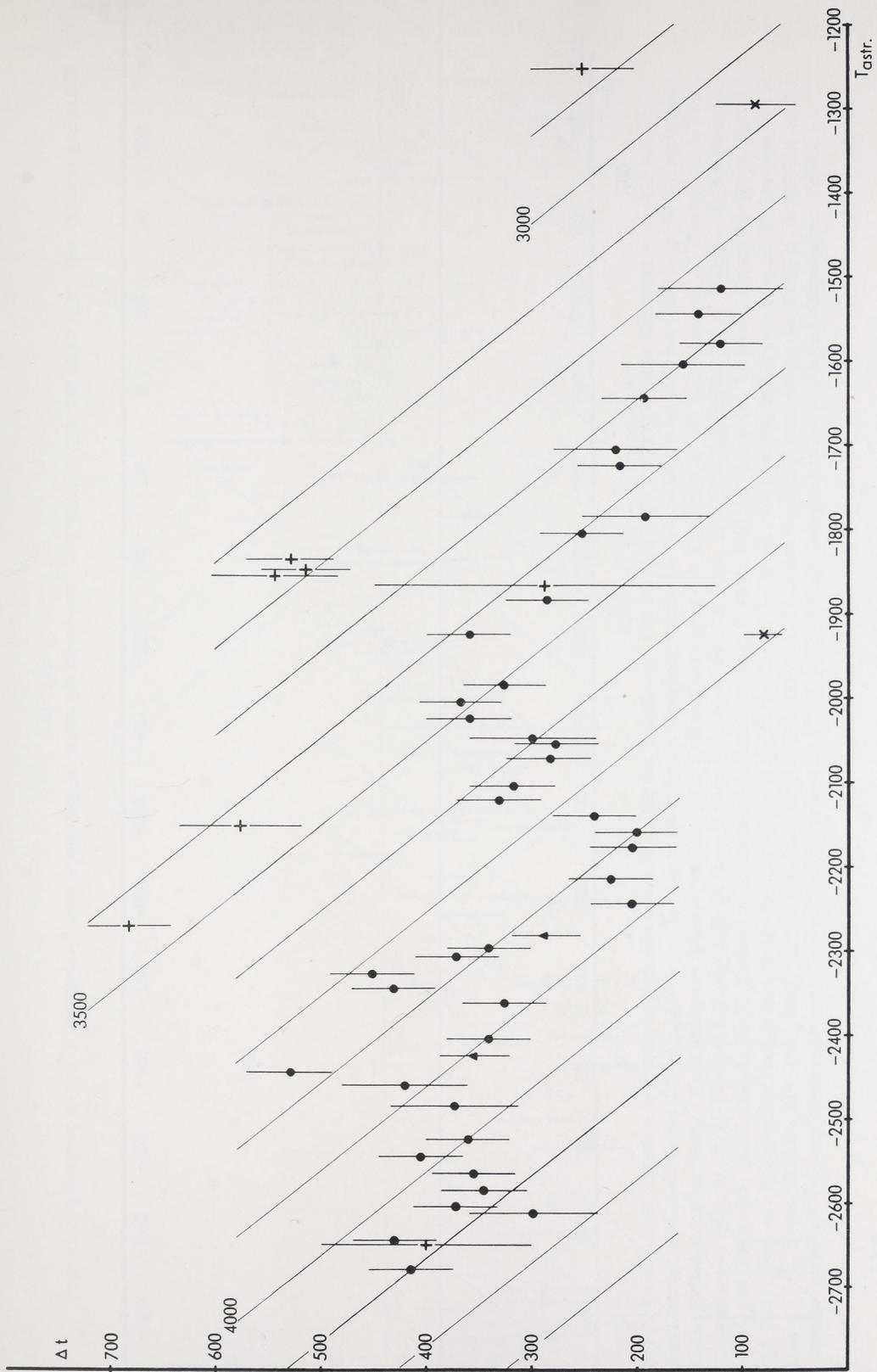


Abb. 5. Unterschied zwischen astronomischem Alter und ^{14}C -Alter für Baumringe von 2800 v. Chr. bis 1200 v. Chr. Zur näheren Erklärung vgl. Abb. 7.

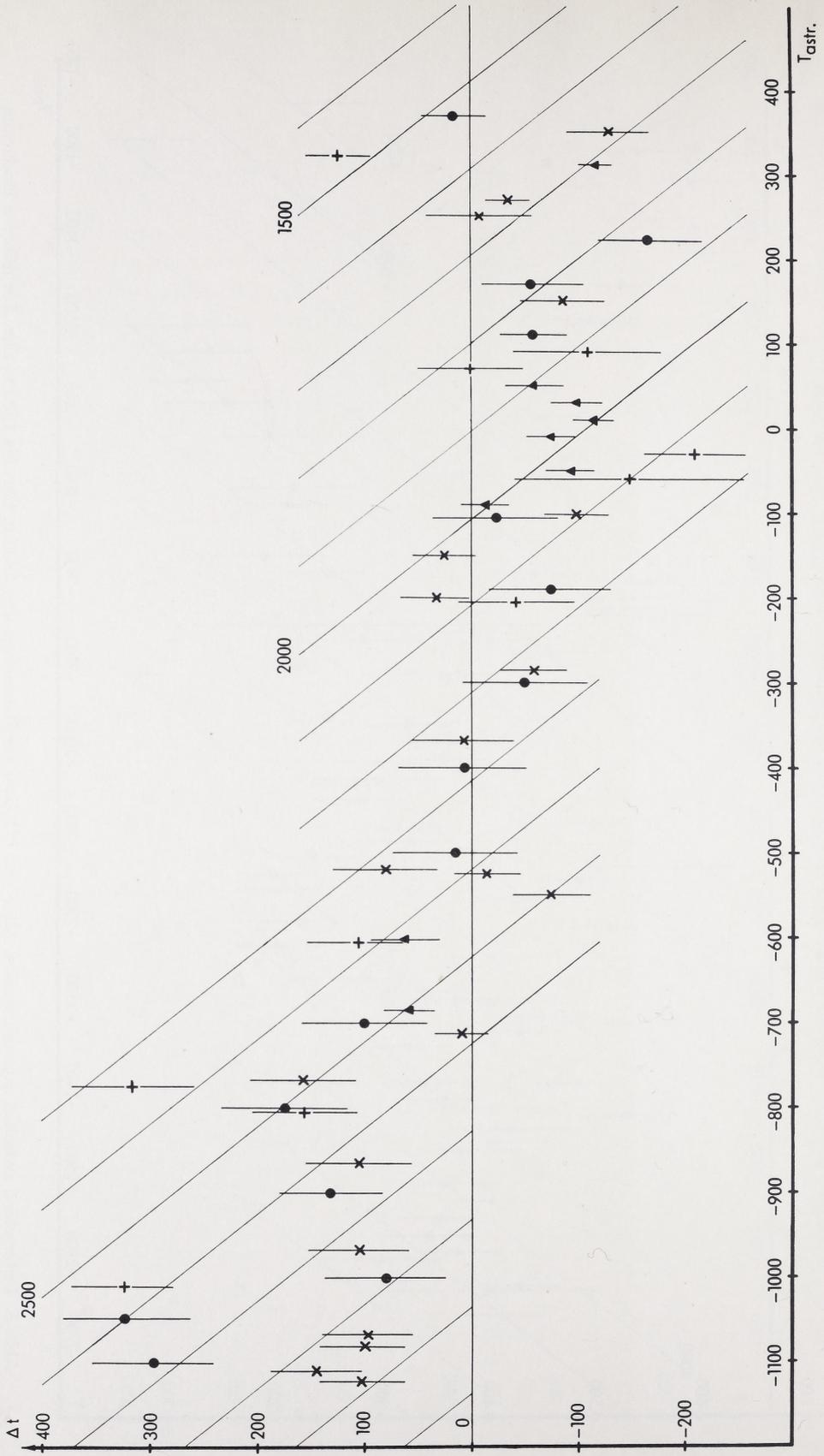


Abb. 6. Unterschied zwischen astronomischem Alter und ^{14}C -Alter für Baumringe von 1200 v. Chr. bis 400 n. Chr. Zur näheren Erklärung vgl. Abb. 7.

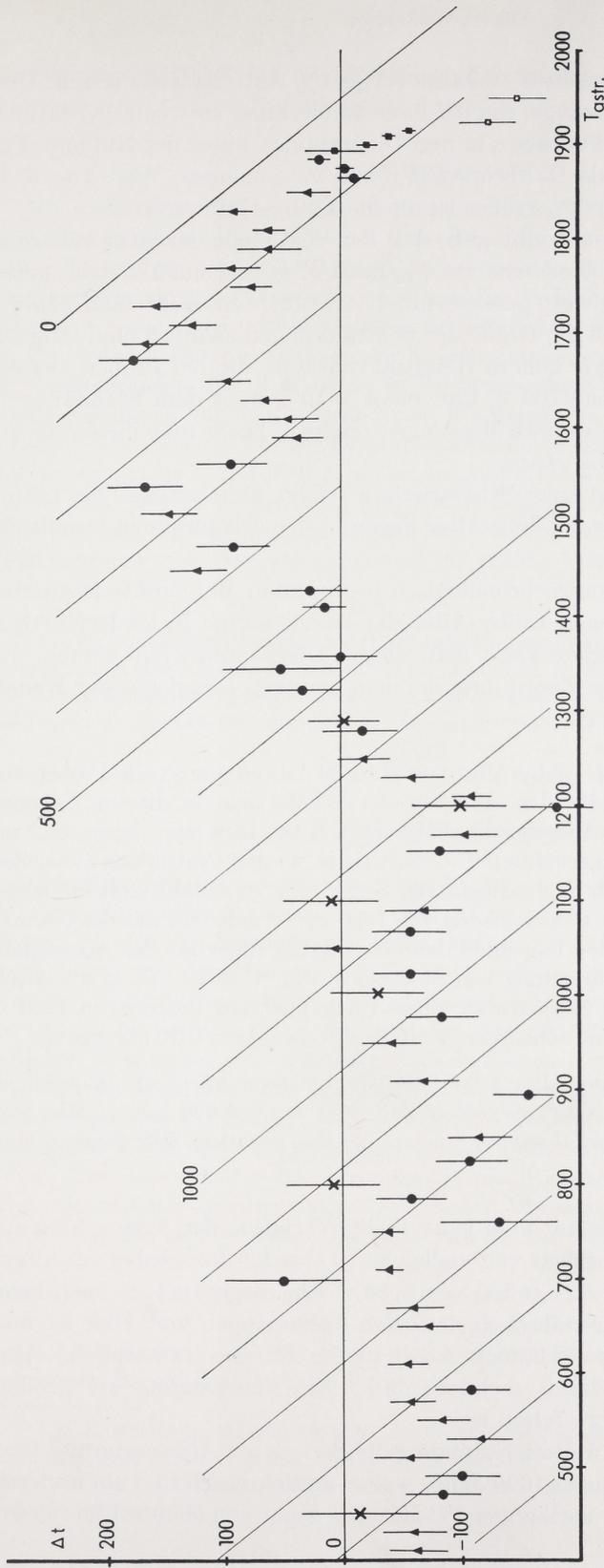


Abb. 7. Unterschied zwischen astronomischem Alter und ^{14}C -Alter für Baumringe von 400 bis 1950 n. Chr. Für den Zeitraum von 4100 v. Chr. bis 400 n. Chr. vgl. *Abb. 4-6*. Es ist $\Delta t = t_{\text{astron}} - t_{^{14}\text{C}}$. Als Parameter (schräge Geraden) wurde das Libby-Alter von 5300 bis 0 BP (vor 1950) eingetragen. Nähere Erläuterung im Text. — Es wurden die Messungen folgender Autoren verwertet: \dagger Damon u. a. (P. E. Damon, C. V. Haynes u. A. Long, Radiocarbon 6, 1964, 91; P. E. Damon, A. Long u. D. C. Grey, Journ. Geophys. Res. 71, 1966, 1055); \times Ralph u. a. (E. K. Ralph u. R. Stuckenrath, Nature 188, 1960, 185; E. K. Ralph, H. N. Michael u. J. Gruninger, Radiocarbon 7, 1965, 179); \bullet Suess (H. E. Suess, Journ. Geophys. Res. 70, 1965, 5937; ders. in: Radioactive Dating and Methods of Low-Level Counting, I.A.E.A. [Wien 1967] 143ff.; \blacksquare Lermon u. a. (J. C. Lermon, W. G. Mook u. J. C. Vogel, Nature 216, 1967, 990); \square Willkomm u. a. (H. Willkomm u. H. Erlenkeuser, Radiocarbon 10, 1968 H. 2, 328ff.); \blacktriangle Zusammengefaßte Werte aus Messungen von Damon, Ralph, Suess (a.a.O.). Die Strichlänge entspricht dem einfachen statistischen Fehler.

wahre Alter, und zwar um etwa 80 Jahre für je 1% Aktivitätsüberschuß. Umgekehrt erscheinen Jahresringe, die bei ihrer Entstehung zu wenig ^{14}C enthielten, älter. Diese Meßpunkte liegen in den Diagrammen unter der Nulllinie. Für die Berechnung wurde als Halbwertszeit der z. Z. genaueste Wert von 5730 Jahren angenommen, der 3% größer ist als die Libby-Halbwertszeit.

Aus den Diagrammen ergibt sich, daß der ^{14}C -Gehalt der Atmosphäre in den letzten 2600 Jahren höchstens um 2% nach oben und um 1% nach unten gegenüber dem Standardwert geschwankt hat. Außerdem sieht man aus der Lage der Meßpunkte, daß die Größe der Schwankungen ziemlich eindeutig ist. Vor 600 v. Chr. finden wir höhere Rezentaktivitäten, die bei Proben aus der Zeit von 3100 v. Chr. bis 4100 v. Chr. etwa 7–10% über dem Standardwert liegen. Hier müssen noch weitere Messungen erfolgen, bevor man die Größe der Abweichung genau angeben kann.

Die Altersangabe bei einer ^{14}C -Datierung erfolgt üblicherweise als Libby-Alter. Proben mit gleichem Libby-Alter liegen in den Diagrammen jeweils auf einer der schrägen Linien.

Aus der Lage der dendrochronologisch bestimmten Meßpunkte kann man sich zu einem vorgegebenen Libby-Alter das dazugehörige Kalenderjahr herausuchen, und insbesondere kann man diesen Diagrammen entnehmen, mit welcher Genauigkeit diese Zuordnung bei dem heutigen Stand unserer Kenntnisse überhaupt möglich ist.

1. Beispiel: Zu einem Libby-Alter von etwa 80 Jahren passen alle Proben von 1700–1920. Umgekehrt heißt das, daß mit der ^{14}C -Methode in diesem Zeitraum prinzipiell keine genauere Altersbestimmung möglich ist. Dies liegt daran, daß um 1700 die Atmosphäre einen erhöhten ^{14}C -Gehalt hatte, so daß Proben aus dieser Zeit erst nach 170 Jahren durch den radioaktiven Zerfall die Normalaktivität erreichten und sich nicht von Proben unterschieden, die 1870 von vornherein mit der Normalaktivität entstanden. In den folgenden Jahren sank die Aktivität der Atmosphäre durch die industrielle Verbrennung von Steinkohle, die ^{14}C -freies CO_2 in die Atmosphäre brachte, unter den Normalwert (Suess-Effekt), so daß Proben von 1920 zu wenig Aktivität besitzen und scheinbar ebenfalls aus dem Jahr 1870 stammen.

2. Beispiel: Das Libby-Alter 2500 ± 100 Jahre ist vereinbar mit Jahresringen von 1075 v. Chr. bis 500 v. Chr., also einem Zeitraum von fast 600 Jahren. Hier wird man weitere Eichmessungen abwarten müssen, die eine genauere Zuordnung ermöglichen.

Bis zu 4100 v. Chr. kennt man jetzt die ^{14}C -Variation der Atmosphäre und kann sie mit einer Unsicherheit von vielleicht 100 bis 200 Jahren bei der Altersangabe berücksichtigen. Aus Zeiten vor 4100 v. Chr. liegen jedoch noch keine Meßwerte von dendrochronologisch datierten Jahresringen vor. Hier ist man auf das Libby-Alter als vorläufige Abschätzung für das tatsächliche Alter angewiesen, muß aber damit rechnen, daß diese Abschätzung um größenordnungsmäßig 1000 Jahre falsch ist.

Inzwischen wurden weitere Stämme gefunden, deren Alter aufgrund ihrer Jahresringe mindestens noch 1000 Jahre weiter zurückreicht, und ein isoliertes Stück stammt nach einer vorläufigen ^{14}C -Messung sogar von 9000 v. Chr., so daß

die Hoffnung besteht, daß man in einigen Jahren den ganzen nacheiszeitlichen Zeitraum dendrochronologisch eichen kann⁷.

Zusammenfassung

Es werden die Fehlerquellen besprochen, die zu Unterschieden zwischen dem tatsächlichen Alter einer Probe und dem aufgrund ihrer ¹⁴C-Aktivität errechneten Libby-Alter führen können. Während der statistische Fehler der Aktivitätsbestimmung und eine mögliche Isotopenverschiebung bei Assimilation, Verwitterung oder im Chemielabor nur einen untergeordneten Einfluß haben, können die Verunreinigung der Probe durch Durchwurzelung oder Einschwemmung von fremdem Material und die Veränderungen des ¹⁴C-Gehaltes in der Atmosphäre zu großen Fehlern in der Altersbestimmung führen. Aufgrund von ¹⁴C-Messungen von dendrochronologisch datierten Jahresringen wurden Diagramme zusammengestellt, mit denen man die ¹⁴C-Variationen der letzten 6000 Jahre bei der Altersberechnung berücksichtigen kann. Für die Zeit vor 4100 v. Chr. liegen jedoch noch keine Werte für den atmosphärischen ¹⁴C-Gehalt vor, so daß man bei Proben aus dieser Zeit mit Abweichungen in der Größenordnung von 1000 Jahren zwischen ¹⁴C- (Libby-)Alter und tatsächlichem Alter rechnen muß.

⁷ C. W. Ferguson, Bristlecone Pine: Science and Esthetics. Science 159 (H. 3817) 1968, 839 ff. – Korrekturzusatz: Messungen von E. K. Ralph und H. N. Michael (Radiocarbon 11, 1969, 469) haben inzwischen ergeben, daß zwischen 4100 und 4400 v. Chr. das ¹⁴C-Alter um 600 bis 800 Jahre und zwischen 4800 und 5100 v. Chr. um 800 bis 1000 Jahre zu jung ausfällt.

Kleine Mitteilungen

Die Mikrolithen-Kerbruchtechnik im Pavlovien von Dolní Věstonice (Mähren).

Die Herstellung mikrolithischer Geräte durch Zerbrechen gekerbt retuschierter Feinklingen ist eine im Mesolithikum wohlbekanntete Technik, der besonders im Zusammenhang mit den Microburins (Kerbruchresten) eine umfangreiche Literatur gewidmet wurde. Eine ähnliche Herstellungsweise wurde an jungpaläolithischen Geräten nie beobachtet, und es schien, daß dies ein spezifisch mesolithischer technologischer Vorgang sei, eine neue Errungenschaft jener Kulturperiode.

Erst vor kurzem konnte H. L. Movius jr. zeigen, daß bereits im Protomagdalénien (Périgordien VII nach F. Bordes) von Abri Pataud mittels einer intentionellen Bruchtechnik Kleingeräte hergestellt wurden¹. Diese Arbeiten und anregende Hinweise J. Trzeciakowskis² vom Standpunkt der mesolithischen Technologie veranlaßten mich, die im Anthropos-Institut des Mährischen Museums aufbewahrten Geräte von Dolní Věstonice zu überprüfen. Dabei konnte ich feststellen, daß sich darunter tatsächlich eine Reihe absichtlich entstandener Bruchreste befinden. Diese Artefakte werden hier nach technologischen Kriterien in fünf Gruppen geordnet vorgelegt (Abb. 1). Der Punkt unterhalb der Zeichnung markiert die Lage des erhaltenen Schlagbuckels, der senkrechte Pfeil einen normalen Bruch, der schräge Pfeil einen gerichteten Bruch in der Art der Microburins.

¹ H. L. Movius jr., Quartär 19, 1968, 239 ff.; H. L. Movius jr., N. C. David, H. M. Bricker, R. B. Clay, Bull. School of Prehist. Research, 26, 1968, 1 ff.

² Herrn Dr. J. Trzeciakowski, Warschau, bin ich für seine wichtigen Hinweise zu besonderem Dank verpflichtet.