

Fluorteste quartärer Knochen in ihrer Bedeutung für die absolute Chronologie des Pleistozäns ¹⁾

VON KONRAD RICHTER, Amt für Bodenforschung, Hannover

Mit 5 Abbildungen im Text

Zusammenfassung. Zwischen den Angaben der C_{14} -Datierungen und den Altersbestimmungen nach den Blei- und Helium-Methoden klafft in der Erdgeschichte eine Lücke, die durch andere geophysikalische und geochemische Methoden bisher nicht befriedigend geschlossen wird. Aufbauend auf relativen Datierungsversuchen im Quartär Westdeutschlands mit Hilfe der Fluormethode, wird in Kombination mit Ergebnissen der erstgenannten Methoden eine Kurve entwickelt, die eine absolute Datierung der Interglazialzeiten (pleistozänen Warmzeiten) gestattet. Vorbehaltlich in Aussicht gestellter Korrekturen würde aufgrund dieser Kurve das Alter des Eem-Interglazials auf 60 000 Jahre und älter, das des Holstein-Interglazials auf ca. 240 000 Jahre, das der Cromer-Warmzeit auf ca. 640 000 Jahre und das der Tegelen-Warmzeit auf $1\,500\,000 \pm 300\,000$ Jahre anzusetzen sein.

Summary. Between the results of the C_{14} datings and the age determinations according to the lead and helium methods, there remains open a gap in earth history which so far has not been satisfactorily closed by other geophysical and geochemical methods. Building on the attempts at relative dating in the Quaternary of western Germany with the help of the fluorine method, in combination with the results of the above-mentioned methods, there is developed a curve which permits an absolute dating of the interglacial intervals (Pleistocene warm intervals). Subject to corrections that might be expected, the age of the Eem interglacial on the basis of this curve is to be placed at 60 000 years and older, the Holstein interglacial at about 240 000 years, the Cromer warm interval at about 640 000 years, and the Tegelen warm interval at $1\,500\,000 \pm 300\,000$ years.

Die absolute Chronologie des Pleistozäns ist eines der großen noch immer nicht befriedigend gelösten Probleme der Quartärforschung. Lange Zeit wurde die Strahlenkurve von MILANKOWITZ als exakte Grundlage für eine Chronologie des Eiszeitalters angesehen. Im letzten Jahrzehnt sind die Bedenken dagegen immer stärker geworden, und selbst eine durch WOERKOM (1953) verbesserte Berechnung wird z. B. von SCHWARZBACH (1954) als Hilfsmittel für eine geologische Zeitskala abgelehnt. WOLDSTEDT (1954) ebenso wie R. F. FLINT (1957) und J. K. CHARLESWORTH (1957) verhalten sich in ihren großen zusammenfassenden Darstellungen bezüglich der Methoden zur absoluten Chronologie des Pleistozäns äußerst vorsichtig. FLINT schließt seine Darstellung 1957 mit dem Satz: „All we can say with confidence is that the last major glaciation has occurred within the last 30.000 yr, and perhaps much more.“

Relativ am zuverlässigsten scheinen Daten der C_{14} -Berechnung, die selbst mit der verbesserten Methode von DE VRIES nur Werte bis etwas mehr als 50 000 Jahre zu erfassen vermag. Zwischen diesem exakt scheinenden Maximalwert und der von HOLMES (1947) dargestellten und auch von ZEUNER (1952) angeführten Zeitskala nach der Blei-Helium-Methode klafft noch eine große Lücke, die von anderen geophysikalischen beziehungsweise geochemischen Methoden bisher nicht überzeugend geschlossen werden konnte. Nach der Zeitskala von HOLMES wird das Quartär vielfach auf 1 Million Jahre angenommen. Einigermaßen zuverlässige Werte liegen aber erst an der Tertiär-Kreide-Wende mit 58 Millionen Jahren vor. Die Abschnitte des Tertiärs werden von HOLMES durch sedimentologische Berechnungen überbrückt, wobei die Miozän-Pliozängrenze recht wahrscheinlich mit 12 Mill. Jahren angesetzt wird, so daß praktisch zwischen ca. 12 Mill. Jahren und 45—46 000 Jahren mehr oder weniger eine Lücke klafft. Hans E. SUESS hat 1956 in Science einen Versuch dargestellt, aus Tiefseebohrkernen durch Kombination von

¹⁾ Erweitertes Manuskript eines auf dem V. INQUA-Kongreß am 14. 9. 1957 in Barcelona gehaltenen Vortrages.

O^{18} -Messungen an Foraminiferen und C^{14} -Daten wenigstens die Dauer der letzten Eiszeit und des letzten Interglazials zu interpolieren. Dabei wird angenommen, daß die Sedimentationsrate älterer Zeitabschnitte entsprechend den durch C^{14} datierbaren sei. Danach würde das letzte Interglazial sein Maximum bei rund 90 000 Jahren und sein Ende bei rund 60 000 Jahren gehabt haben. Gewissermaßen ein Interstadial scheint sich bei rund 45 000 Jahren anzudeuten und könnte möglicherweise in Europa mit dem frühweichsel-eiszeitlichen Mammutjägerfundplatz von Lebenstedt (TODE 1954) identifiziert werden. Die Ablagerungen dieses Fundplatzes wurden von DE VRIES mit C^{14} etwa auf diese Zeit bestimmt.

Anläßlich der vorletzten INQUA-Tagung 1953 in Rom berichtete VAN DER VLERK über seine gemeinsam mit E. NIGGLI und C. J. OVERWEEL nach einer bequemen röntgenographischen Fluor-Datierungs-Methode durchgeführten relativen Chronologie des niederländischen Pleistozäns, die auf den erfolgreichen Arbeiten von OAKLEY (1953 u. a.) aufbaut. Gleichartige Untersuchungen wurden von Franz-Jörg ECKHARDT und Konrad RICHTER im Quartär Westdeutschlands durchgeführt (1956) und erbrachten für Nordwestdeutschland eine Testkurve zur relativen Datierung quartärer Knochen.

Inzwischen haben die letztgenannten Verfasser aus dem Bereich der Bundesrepublik Deutschland, und zwar besonders aus Norddeutschland, insgesamt mehr als 200 Objekte getestet. Die Ergebnisse zeigen, daß vielerlei zu berücksichtigen ist, um zu einer richtigen Ausdeutung zu kommen. Als Beispiel sei die Untersuchung eines neandertaloiden Stirnbeins aus anscheinend pleistozänen Flußkiesen der Weser genannt. Der Fund wurde 1930 durch H. v. BUTTEL-REEPEN als *Homo visurgensis* beschrieben und dem Verfasser 1956 im Neandertal-Jubiläumsjahr von Museumsdirektor Dr. HARTUNG zwecks Fluortestung zur Verfügung gestellt. Bei Zuordnung des Fluortestergebnisses von ECKHARDT zur norddeutschen Normaltestkurve würde der Schädel ins Holozän zu rechnen sein, was nach seinem anthropologischen Habitus recht unwahrscheinlich wäre.

Der Verfasser bemühte sich deshalb, aus Flußkiesen der Weser möglichst viel Knochenfunde zusammenzubringen und zu untersuchen. Diese Arbeiten sind noch nicht abgeschlossen. Es zeigt sich aber schon, daß die Knochen aus den Weserablagerungen in der näheren und etwas weiteren Umgebung des Stirnbeinfundes, also zwischen den Städten Minden und Nienburg, alle eine geringere Fluorierung ergeben, als der paläontologische Befund, z. B. bei Mammutknochen, hätte erwarten lassen. Das Grundwasser fließt hier in Schottern, die nur sehr wenig nordisch-skandinavisches Gesteinsmaterial enthalten. Eine Testkurve würde anscheinend einen mittleren Verlauf zwischen einer solchen aus überwiegend nordischen Schutt enthaltenden Ablagerung und einer solchen ohne nordischen Gesteinsschutt haben. Der Konstruktionsversuch einer solchen Kurve würde das neandertaloide Weserstirnbein wenigstens ins Spätglazial rücken. Zu diesem Zeitpunkt der Untersuchung hatte der Verfasser eine Besprechung mit Dr. Gisela ASMUS, die das Weserstirnbein anthropologisch nachuntersuchte.

Der Verfasser legte das Kurvenergebnis verdeckt auf den Tisch und fragte sie nach ihrer anthropologischen Altersdeutung. Während der eigentliche Neandertaler ins letzte Interglazial beziehungsweise bis in den ersten Teil der Würmeiszeit zu stellen ist, sprach sie sich mehr für Beziehungen zu den Funden von Oberkassel aus und somit für ein jüngeres Alter, wie es auch für andere entsprechende Formen angenommen wird. Erst danach zeigte der Verfasser Dr. ASMUS das verdeckt auf dem Tisch liegende Ergebnis, das mit ihrer Altersdatierung ausgezeichnet übereinstimmt.

Bei regional sehr unterschiedlicher, Sonderfaktoren berücksichtigender Bewertung der Fluorteste scheint also die Methode zur relativen Altersbestimmung sehr brauchbar zu sein.

Wie große Vorsicht notwendig ist, zeigten Fluorteste aus dem unteren Wesertal nördl. Bremen, wo die Fluorierung wesentlich stärker oder andersartig zu sein scheint als selbst im Bereich der sonstigen norddeutschen Landschaft mit überwiegend nordischem Glazial-

schutt. Wir befinden uns nördlich Bremen im Bereich der Gezeiteneinwirkung mit salzreicheren Nordseewässern, die also höheren Cl-Gehalt haben. Bei Untersuchung des Fluorgehaltes von Wässern im nordwestdeutschen Raum stellte Alfons KAESS (1956) fest, daß die höchsten Fluorgehalte in den Cl-reichsten Wässern auftreten, ohne daß daraus bisher eine absolute Gesetzmäßigkeit abzuleiten wäre. Immerhin könnte auf diese Weise nicht nur der Befund bei Bremen, sondern vielleicht auch die Tatsache erklärt werden, daß in den Niederlanden der Endwert der Fluorierung nach NIGGLI & VAN DER VLEEK schon im Altpleistozän, nach unseren bisherigen Untersuchungen in Nordwestdeutschland aber erst im Tertiär praktisch erreicht zu sein scheint. Kürzlich haben GOTTHARDI & TONGIORGI (1957) sehr erfolgreich der röntgenographischen Bestimmung von Chlorapatit besondere Untersuchungen gewidmet, die in diesem Zusammenhang von Bedeutung sein dürften.

Unsere bisherigen norddeutschen Ergebnisse würden eine chronologische Brauchbarkeit der Fluormethode bis mindestens ins Miozän hinein zulassen, solche von ENNOUCHI (1957) bis zur oberen Kreide und ältere, sehr mit Vorsicht zu verwendende Angaben von CARNOT (1893) sogar bis zum Silur. Damit liegt der Versuch nahe, eine Kombination der Ergebnisse geophysikalischer Datierungsmethoden mit der Fluormethode zu versuchen.

Nach den Angaben von CARNOT beträgt der mittlere Fluorgehalt von Knochen im Verhältnis zu Fluorapatit = 1 in den verschiedenen geologischen Perioden:

Gegenwart		0,058	0,058
Quartär		0,36	0,360
Tertiär	Pliozän	0,58	
	Miozän	0,61	0,620
	Oligozän	0,59	
	Eozän	0,70	
Mesozoikum	Kreide	0,92	
	Jura	0,91	0,907
	Trias	0,89	
Paläozoikum	Perm-Karbon	1,06	
	Devon	0,98	0,993
	Silur	0,94	

GOTTHARDI & TONGIORGI (1957) haben erst kürzlich darauf hingewiesen, daß in den Ergebnissen von CARNOT Material zusammengefaßt ist, das sehr heterogenen Fluorierungsbedingungen unterlag. So ist erklärlich, daß in seinen mesozoischen Werten z. B. die Fluorierung in der Trias geringer ist als in der Kreide. Selbst die Mittelwerte der größeren Zusammenfassungen zu Gegenwart — Quartär — Tertiär — Mesozoikum — Paläozoikum müssen daher mit Vorsicht betrachtet werden.

Trotzdem hat Verfasser versucht, diese Werte mit der absoluten Zeitskala der Bleibzw. Helium-Methode nach HOLMES (1947) in Beziehung zu setzen. Das Ergebnis zeigt in Abb. 1 das Bild einer Exponentialkurve. Die Fluorierung geht zunächst sehr schnell, um dann immer langsamer zu werden, so daß die Kurve immer steiler wird. Eine große Genauigkeit ist dieser Kurve in Anbetracht der mangelhaften Unterlagen nicht zuzusprechen.

Aus Marokko hat ENNOUCHI (1957) kürzlich eine Reihe von Fluorapatitbestimmungen veröffentlicht, die den Zeitraum vom Neolithikum bis zum Maastricht einschließen:

Maastricht:	Zähne	von <i>Eodiaphyodus granulosis</i>	. . . . .	3,30	
Eozän:	Zähne	von <i>Lamna obliqua</i>	. . . . .	3,25	
Miozän:	Zahn	von <i>Carcharodon megalodon</i>	. . . . .	2,74	
Pliozän:	Zahn	von <i>Balaena sp.</i>	. . . . .	2,64	
Unteres Pleistozän (Villafranchien):					
	Stoßzahn	von <i>Mastodon</i>	. . . . .	2,61	Mittel 2,33
	Molar	von <i>Elephas africanavus</i>	. . . . .	2,04	
Mittleres Pleistozän:					
	Metacarpus	von <i>Bos primigenius</i>	. . . . .	0,95	
	Mandibel	von <i>Rhinoceros simus</i>	. . . . .	1,20	Mittel 1,4
	Molar	von <i>Elephas atlanticus</i>	. . . . .	1,56	
	Radius	von <i>Equus mauritanicus</i>	. . . . .	1,80	

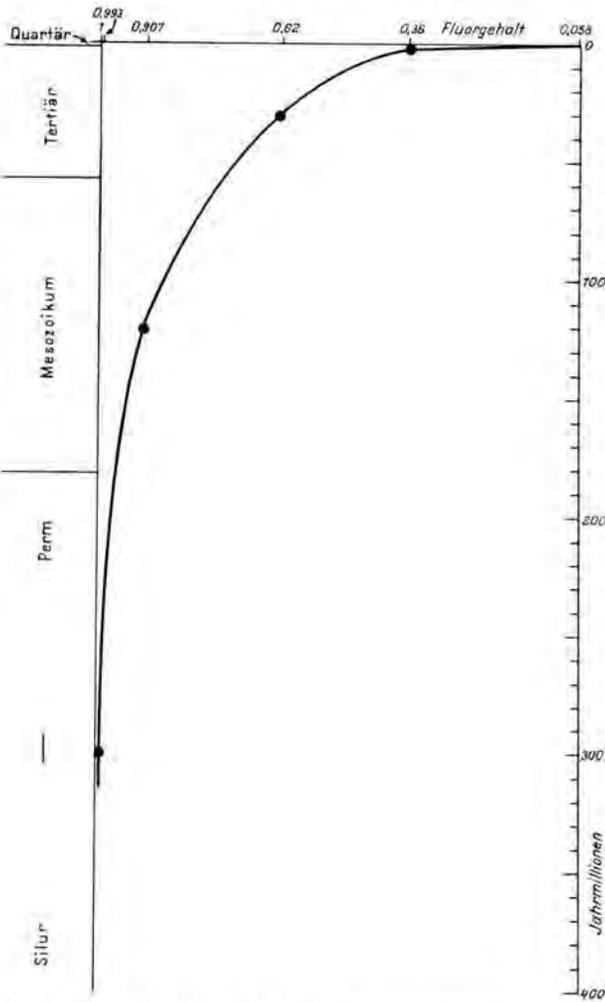


Abb. 1. Zunahme des Fluorgehaltes fossiler Knochen im Verhältnis zu Fluorapatit = 1, in Beziehung gesetzt zur absoluten Chronologie mit Hilfe von C¹⁴ und Blei-Heliumdatierungen. Fluorwerte nach CARNOT. C¹⁴-Daten nach de VRIES, Blei-Helium-Daten nach HOLMES.

Oberes Pleistozän:

Metacarpus von *Alcelaphus bubalis* 0,44

Neolithikum:

menschliches Cranium von Medta 0,12 bis 0,165 Mittel 0,15

Camelus dromedarius 0,19 bis 0,35

Molar von *Elephas africanus* 0,044

Aus diesen Daten wurden die Fluorapatitwerte mit den Zahlen der absoluten Zeitskala von HOLMES und C14-Daten in Beziehung gesetzt (siehe Abb. 2). Die Verbindungslinie der Werte ergibt eine Kurve, die im Prinzip ähnlich ist wie die von Abb. 1 nach den Werten von CARNOT. Einige Schönheitsfehler der Kurve dürften darauf zurückzuführen sein, daß 1. offenbar die Zahl der untersuchten Objekte nur sehr klein ist, 2. sowohl Zähne wie Knochen verwandt sind, und 3. die Punktlage innerhalb eines geologischen Zeitabschnittes nicht genügend sicher angesetzt werden konnte. Der Fluorierungsvorgang geht

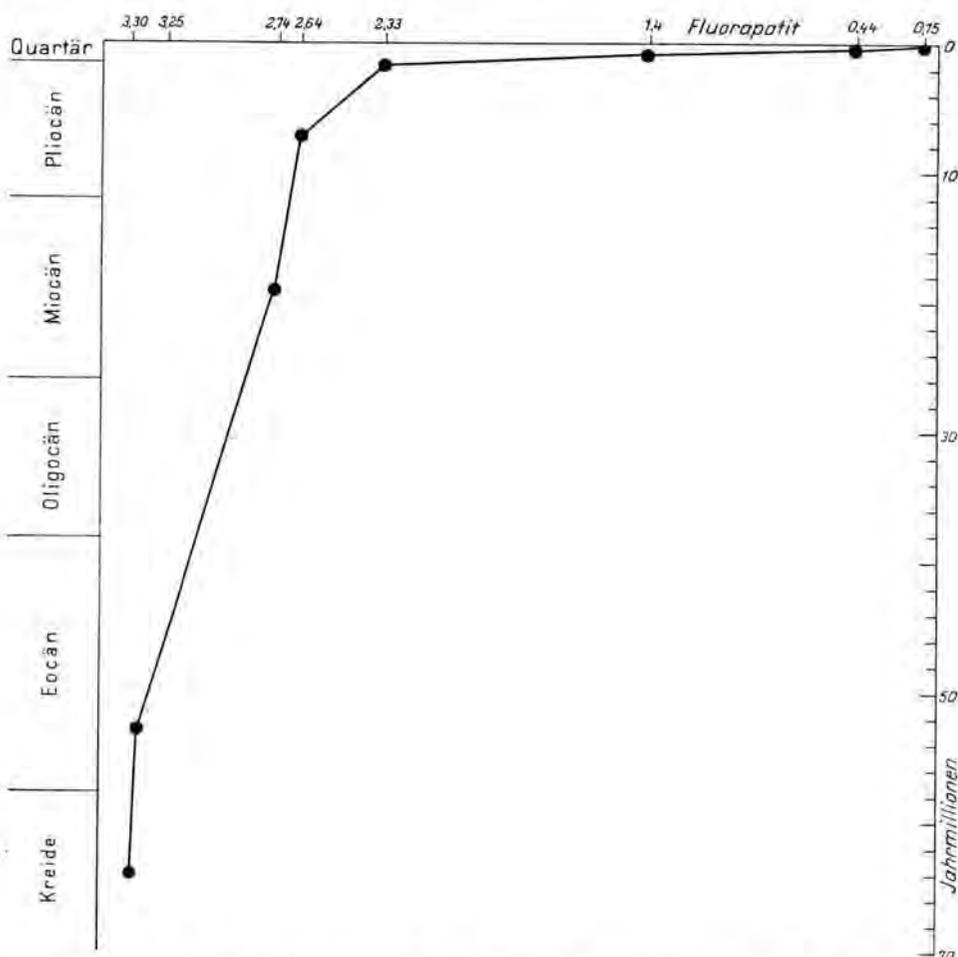


Abb. 2. Zunahme des Fluorgehaltes marokkanischer Knochen nach Fluorwerten von ENNOUCHI, in Beziehung gesetzt zur absoluten Chronologie mit Hilfe von C^{14} und Blei-Helium-Datierungen.

nach K. RICHTER & F. ECKHARDT (1956) offenbar verschieden schnell vor sich, so daß für Knochen und Zähne am zweckmäßigsten getrennte Zeitkurven aufzustellen sind. Immerhin gewinnen wir mit dieser Kurve den Anschluß an die Ergebnisse der Blei-Helium-Methoden der Altersbestimmung.

Mit den bisher aus Nordwestdeutschland vorliegenden röntgenographischen Fluortesten (K. RICHTER & F. ECKHARDT 1956) wurde in Verbindung mit Ergebnissen von C^{14} -Untersuchungen der Anschluß an den Zeitwert der Skala von HOLMES für das Miozän gesucht, der gut in die Kurve von Abb. 1 paßt (siehe Abb. 3).

Das unterste, sehr lange Stück der Kurve ist in der Abbildung fortgelassen. Die Butley-Kaltzeit sollte noch etwas tiefer eingetragen sein.

Als zeitlich feststehende Daten konnten leider nur gerechnet werden: Die Gegenwart, die C^{14} -Datierungen der prähistorischen Fundstellen von Meiendorf und Lebenstedt sowie das ungefähre Alter des Obermiozäns nach HOLMES. In letzterem Fall würde ein Irrtum von 2—3 Mill. Jahren den Kurvenverlauf in einem sehr steilen Teil praktisch nicht ändern. Die zunächst empirisch gezeichnete Kurve B macht rein optisch einen ganz ver-

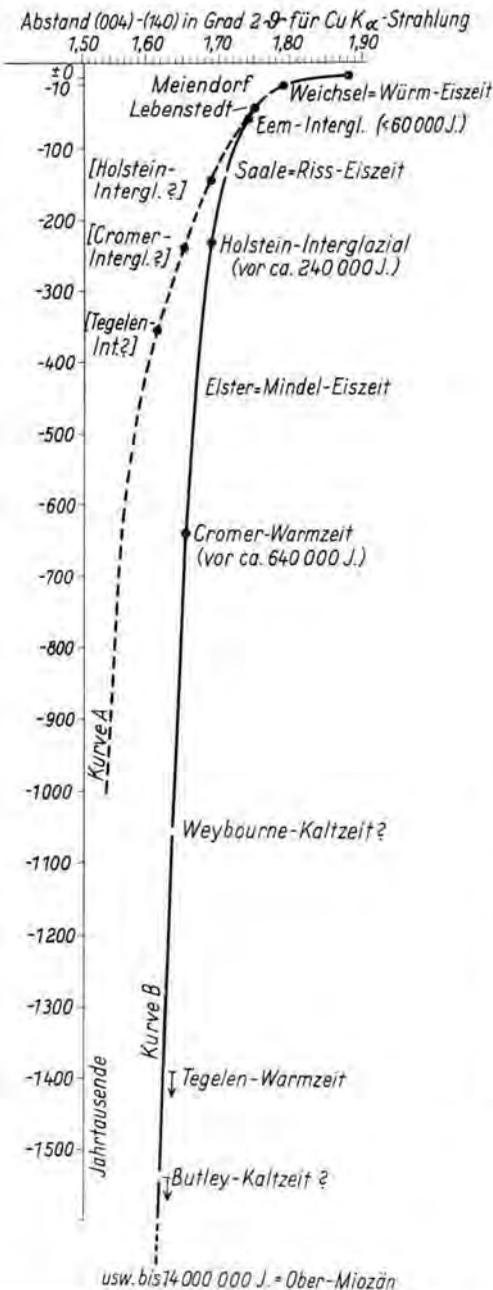


Abb. 3. Zunahme des Fluorgehaltes in quartären Knochen Nordwestdeutschlands nach K. RICHTER & F. ECKHARDT (1956) in Beziehung gesetzt zu C¹⁴-Daten (bis 45—46000 Jahren nach DE VRIES) und weiter in Kurve A zum Tertiär-Quartär-Grenzwert von 1 Mill. Jahren nach HOLMES und in Kurve B zum Miozänwert nach HOLMES und verlängert zum Kreide-Tertiär-Grenzwert der Blei-Heliumdatierung nach HOLMES. Die Einführung der Fluortestwerte stratigraphisch gesicherter Funde aus Nordwestdeutschland ergibt dann die für die pleistozänen Warmzeiten angegebenen ungefähren Jahreszahlen.

trauenerweckenden Eindruck. Das macht aber auch — zwar nicht ganz so schön — eine gestrichelte Kurve A, die mehr willkürlich die Grenze Pleistozän-Pliozän bei 1 Mill. Jahren ansetzt.

Nun wissen wir durch die vorgenannten Untersuchungen von SUSS und DE VRIES, daß das Eem-Interglazial mindestens 60 000 Jahre und älter sein muß. Somit kann Kurve A

nicht stimmen, nach der das Eem schon auf 50 000 Jahre fallen würde. Die Übereinstimmung zwischen Kurve B und den Angaben von SUËSS und DE VRIES ist dagegen eher befriedigend. Lediglich das Tegelen-Interglazial und die davor liegende Butley-Kaltzeit würden älter werden als 1 Mill. Jahre. Diese Zeiträume wurden aber früher noch ins Tertiär gerechnet, so daß wir sowieso geneigt sind, das Alter des Pleistozäns durch die neue Grenzziehung zu erhöhen.

Es ergäben sich damit für die Interglaziale folgende absolute Alterszahlen:

Eem-Interglazial = 60 000 Jahre und älter

Holstein-Interglazial ca. 240 000 Jahre

Cromer-Warmzeit ca. 640 000 Jahre

Tegelen-Warmzeit ca. 1 500 000 Jahre \pm 300 000 Jahre.

Damit ergäben sich keine etwa gleichen Abstände zwischen den Interglazialen. Das kann darauf beruhen, daß wir etwa nach Angaben von ZAGWIJN (1956) noch nicht alle Inter-

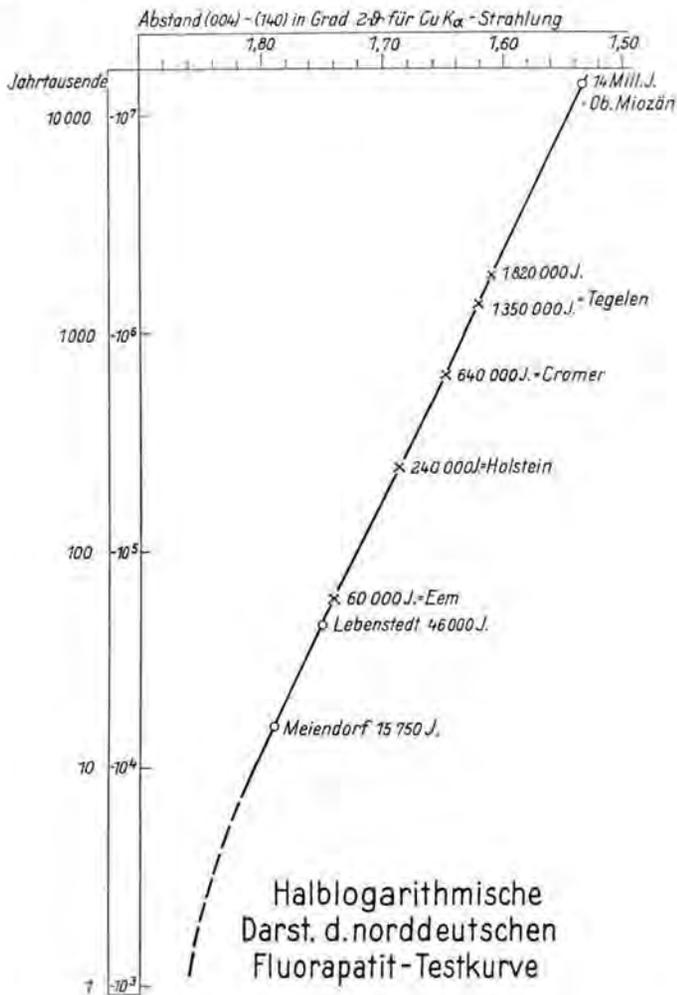


Abb. 4. Darstellung der Exponential-Kurve B von Abb. 3 auf halblogarithmischem Papier. Die Kurve wird erwartungsgemäß zu einer Geraden bis über den Wert von 14 Mill. Jahren hinaus.

glaziale erfaßt haben, oder sich hier etwas Ähnliches zeigt, wie die Beschleunigung der geologischen Prozesse in der Zeitkurve seit dem Präkambrium. Bei der Bewertung der Kurve ist zu berücksichtigen, daß durch Dauerfrostboden während gewisser Abschnitte der Eiszeiten eine Fluorierung im knochenfundhaltigen Grundwasserbereich unterbrochen gewesen sein kann. Das ist in der Kurve durch kleine Unterbrechungen angedeutet. Andererseits ist in den Interglazialen das Klima und somit auch das Grundwasser zeitweise wärmer und somit schneller fluorierter gewesen. Diese beiden Faktoren könnten sich \pm eliminieren. Das müßte bei halblogarithmischer Darstellung der Exponentialkurve B in einer gewissen Stetigkeit der Kurve zum Ausdruck kommen.

Die vorgeführte Kurve B wurde daher auf halblogarithmischem Papier — also mit logarithmischer Verkürzung der absoluten Zeitmarken — noch einmal gezeichnet (siehe Abb. 4). Die Kurve ergibt im entscheidenden Teil eine absolut gerade Linie einer Exponentialkurve und wirkt somit sehr bestechend. Es ist aber zu berücksichtigen, daß wir nur sehr wenige Festwerte haben, und daß andererseits der chemische Prozeß der Umwandlung von Hydroxylapatit in Fluorapatit einen festen Endwert haben müßte.

Es soll versucht werden, in Zusammenarbeit mit den Herren ECKHARDT (Mineraloge), FLATHE (Geophysiker) und HARRE (Chemiker) im Amt für Bodenforschung, Hannover, bei höherer Temperatur, also schnellerer Fluorierung, eine exakte Zeitkurve des Umwandlungsprozesses zu berechnen und damit die vorgelegte Kurvenführung zu überprüfen.

Einen anderen Weg der Zeitkorrelation sind GOTTARDI & TONGIORGI (1957) gegangen. Aus der Grotte del Mezzogiorno untersuchten sie Knochenmaterial aus 12 verschiedenen Niveaus, die sie zu 5 Gruppen ordneten, deren absolutes Alter durch C_{14} -Datierung hinreichend gesichert erscheint. Daraus setzen sie in einem Diagramm die Prozentgehalte an Hydroxylapatit einerseits, mit der Zeit andererseits in Beziehung (siehe Abb. 5). Es wurden aber nicht die direkten Zeitwerte, sondern

$$\frac{\text{Hydroxylapatit}}{\text{Totalapatit}} \times 100 \quad \text{mit der Quadratwurzel}$$

aus der Zeit eingetragen. Mit dieser Art der Eintragung liegen die genannten 5 Gruppen dann im Diagramm annähernd auf einer geraden Linie; d. h. genau betrachtet, ist die Verbindungslinie der Punkte eine schwach gebogene Linie mit Biegung zur Ordinate hin. Auch bei der von mir in Abb. 4 gewählten und üblichen Auftragungsart einer Exponentialkurve auf halblogarithmischem Papier würden die Punkte sogar noch etwas besser auf einer Geraden liegen. Für weiteres, aber offensichtlich hinsichtlich der Fluorierungsgleichartigkeit viel uneinheitlicheres Material von der Gegenwart, Bronzezeit, Eem-Interglazial, Holstein-Interglazial und Villafranchien geben GOTTARDI & TONGIORGI eine gleichartige Darstellung (siehe Abb. 5, Punkt a—g), wobei für die Zeiten ab Eem offenbar die Werte nach der Zeitskala entnommen sind, die sich an die Strahlungskurve von MILANKOWITZ anlehnen. Auch die so datierten Werte liegen dann in der Darstellung der genannten Autoren auf einer Linie, während sie das in halblogarithmischer Darstellung nicht tun. Ist das nun eine indirekte Bestätigung der Richtigkeit der Zeitwerte nach der MILANKOWITZ-Kurve oder liegt hier ein Trugschluß vor? Erfreulicherweise haben GOTTARDI & TONGIORGI recht genau die Herkunft ihres Probenmaterials beschrieben und auch selbst auf die materialbedingten Auswertungsschwierigkeiten mit allem Nachdruck hingewiesen. So sind z. B. in ihrer Gruppe f nach ihren eigenen Angaben Proben aus dem Eem- und aus dem Holstein-Interglazial zusammengefaßt und ein Mittelwert gebildet aus Werten, die zwischen 71 und 36% Hydroxylapatit schwanken. Versucht man die verwerteten Testergebnisse z. B. durch Beschränkung auf Mittelwerte aus jeweils ein und demselben Vorkommen anders zu ordnen, so ergeben sich sofort starke Abweichungen von der linearen Anordnung der Punkte, und zwar charakteristischerweise in Verlagerung zur Ordinate hin (s. Abb. 5). Es läßt sich ohne Zwang eine Gruppierung treffen, bei

der die Punkte annähernd auf einer Linie liegen, wenn man die vom Verfasser in Abb. 3 ermittelten Zeitwerte zur Darstellung auf halblogarithmischem Papier benutzt. Der Verfasser sieht von der Wiedergabe einer solchen Kurve ab, da das benutzte Material nicht ohne genaue stratigraphische Kenntnis der Verhältnisse gruppiert werden kann, die ihm in diesem Falle fehlt. Es dürfte sich aber empfehlen, daß Kenner der italienischen Fundstellen eine entsprechende Prüfung von Umgruppierungen vornehmen. Der Verfasser würde es jedenfalls für näherliegend halten, für die Darstellung einer Exponentialkurve in halblogarithmischer Eintragung eine Gerade zu erhalten. Weitere Versuche mit Proben aus möglichst gleichartigem Fluorierungsmilieu lassen eine endgültige Entscheidung erhoffen. Im Falle von Abb. 3 wurde nur Material aus dem Grundwasser verwendet, wodurch eine größere Sicherheit als bei dem vielseitigeren italienischen Material gegeben scheint.

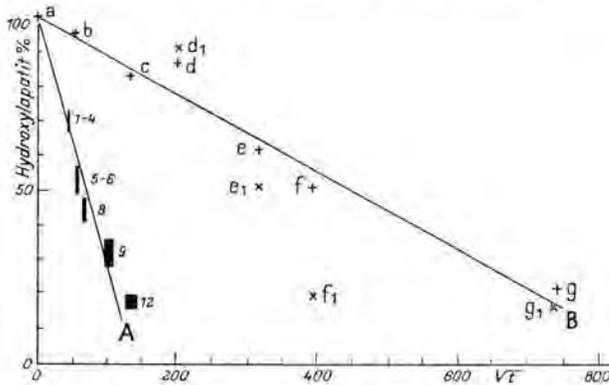


Abb. 5. Röntgenographisch bestimmte Prozentgehalte pleistozäner Knochen aus Italien nach Untersuchungen von GOTTARDI & TONGIORGI (1957), in Beziehung gesetzt zur Zeit durch die Formel

$$\frac{\text{Hydroxylapatit}}{\text{Totalapatit}} \times 100$$

in Quadratwurzel aus der Zeit dargestellt. Um die Gerade A liegen die Werte der Grabungsniveaus 1—12 aus der Grotte del Mezzogiorno, um die Gerade B Durchschnittswerte zahlreicher Proben aus verschiedensten Lokalitäten Italiens von rezenten (a) bis Villafranchien-altrigen (g) Funden; gruppiert in a = Gegenwart, b = Bronzezeit + Neolithikum, c = mesolithisch und paläolithisch, d = Moustérien, e = Eem, f = teils Eem-, teils Holstein-Interglazial und g = Villafranchien, d₁ bis g₁ = Lage der Punkte bei andersartiger Mittelwertbildung durch K. RICHTER. Letztere sind nicht als gesichert zu werten. Sie sollen nur zeigen, daß die Verbindung der Punkte a—g durch eine Gerade sehr unsicher ist.

Versuchen wir weiterhin, uns die gerade Linie der Werte a—g aus Abb. 5 von GOTTARDI & TONGIORGI zu einem möglichen Wert bei etwa 14 Mill. Jahren oder 68 Mill. Jahren zu verlängern, so wäre das selbst mit großem Spielraum der Werte nicht ohne scharfen Knick möglich.

Auch schon bei der in Abb. 3 wiedergegebenen zeichnerischen Konstruktion einer Kurve würde bei Zeitansatz nach der MILANKOWITCH-Kurve dem Prinzip der Verlangsamung des Umwandlungsprozesses von Hydroxylapatit zu Fluorapatit nicht genügend Rechnung getragen. Diese Verlangsamung ist aber in dem durch C₁₄ kontrollierten Anfangsteil der Kurve bis 45 000 bzw. 46 000 Jahren durchaus gesichert. Der Verfasser ist deshalb geneigt, die MILANKOWITCH-Kurve als Grundlage zur absoluten Chronologie des Eiszeitalters abzulehnen und die auf Abb. 3 konstruierten Werte für richtiger zu halten. Eine größere Fülle von Untersuchungsmaterial wird indes sehr wahrscheinlich noch Korrekturen der konstruierten absoluten Zeitangaben zur Folge haben.

Auf zahlreiche methodische Schwierigkeiten konnte im Rahmen dieses Überblicks nicht eingegangen werden. Der Verfasser glaubt aber, einen prinzipiell gangbaren Weg zur

absoluten Chronologie des Pleistozäns gezeigt zu haben. Dieser könnte in sedimentologisch und klimatologisch weniger komplizierten Gebieten der Erde leichter gangbar sein als in Norddeutschland.

Literatur:

- V. BUTTEL-REEFEN, H.: Ein neuer Fund des Urmenschen in Deutschland (*Homo visurgensis*). - *Mannus* 22, Leipzig 1930.
- CARNOT, A.: Recherche du fluor dans les os modernes et les os fossiles. - C. R. Acad. Sci. Paris 114, 1189-1192. 1892(a). - Sur la composition des ossements fossiles et la variation de leur teneur en fluor dans les différents étages géologiques. - C. R. Acad. Sci. Paris 115, 243-246, 1892 (b). - Sur une application de l'analyse chimique pour fixer l'âge d'ossements humains préhistoriques. - C. R. Acad. Sci. Paris 115, 337-339, 1892(c). - Recherches sur la composition général et la teneur en fluor des os modernes et des os fossiles des différents âges. - *Ann. Mines, ser. 9-3*, 155-195, 1893.
- ENNOUCHI, E.: La teneur en fluor des fossiles sert-elle d'horloge géologique? - INQUA V. Congrès international, Madrid-Barcelona, Résumés des communications, S. 54, 1957.
- FLINT, R. F.: *Glacial and Pleistocene Geology*. - John Wiley & Sons, inc., New York, 1957, S. 301.
- GOTTARDI, G., PEDERZOLLI-GOTTARDI, L. & TONGIORGI, E.: La determinazione roentgenografica del contenuto in fluoro dell'apatite delle ossa fossili. - *Rivista di Sci. Preistoriche* 11, S. 1-37, 1957.
- HOLMES, A.: The Construction of a Geological Time-Scale. - *Trans. geol. Soc. Glasgow* 21, 1947.
- KAESS, A.: Beitrag zur Kenntnis des Fluorgehaltes von Wässern im nordwestdeutschen Raum. - *Vom Wasser* 23, Weinheim 1956.
- NIGGLI, E., OVERWEEL, C. J. & VAN DER VLERK, J. M.: An x-Ray Crystallographical Application of the Fluorine-dating Method. - *Proc. Ned. Akad. Wetensch. (B)* 56, Amsterdam 1953.
- OAKLEY, K. P.: Dating Fossil Human Remains. - In KROEBER, A. L.: *Anthropology Today*, S. 43 bis 56. Chicago/Illinois (Univ. Chicago Press) 1953.
- RICHTER, K. & ECKHARDT, F.: Datierungsversuche im Quartär Westdeutschlands mit Hilfe des Fluortestes. - *Eiszeitalter und Gegenwart* 7, S. 21-28, Öhringen/Württ. 1956.
- SCHWARZBACH, M.: Eine Neuberechnung von MILANKOWITCH'S Strahlungskurve. - *Neues Jb. Geol. Paläont., Mh.*, Stuttgart 1954.
- Suess, H. E.: Absolute Chronology of the Last Glaciation. - *SCIENCE* 123, 1956.
- TODE, A.: Mammutjäger vor 100 000 Jahren. - Verlag E. Appelhans & Co., Braunschweig 1954.
- VAN DER VLERK, J. M.: Chemical and x-ray diffraction analyses of Pleistocene Mammalian Remains. - *Actes du IV. Congr. Int. du Quaternaire*, Bd. I, S. 416-420. Rom 1956.
- DE VRIES, H.: ¹⁴C dates for Würm interstadials from different localities. - INQUA V. Congrès international, Madrid-Barcelona, Résumés des communications, S. 197, 1957 (sowie Angaben aus dem auf dieser Tagung gehaltenen Vortrag über dieses Thema).
- WOERKOM, A. J. J. VAN: The astronomical theory of climate changes. - *Climatic change*, edit. by H. SHAPLEY, S. 147-157, Cambridge Mass. 1953.
- WOLDSTEDT, P.: *Das Eiszeitalter*. - 2. Aufl., Bd. I, S. 215 ff. - Ferdinand Enke, Stuttgart 1954.
- ZAGWIJN, W. H.: Zum heutigen Stand der pollenanalytischen Untersuchungen des Pleistozäns in den Niederlanden. - *Geologie en Mijnbouw N. S.* 18, Pag. 426-427, 1956.
- ZEUNER, F. E.: *Dating the Past*. - 3. Edition, Methuen & Co., London 1952.

Manusk. eingeg. 15. 12. 1957.

Anschrift des Verf.: Prof. Dr. Konrad Richter, Amt für Bodenforschung, Hannover, Wiesenstr. 1.