

Altersbestimmungen mit Hilfe der C14-Methode

Autor(en): **Oeschger, Hans**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Jahrbuch der Schweizerischen Gesellschaft für Urgeschichte =
Annuaire de la Société suisse de préhistoire = Anuario della
Società svizzera di preistoria**

Band (Jahr): **47 (1958-1959)**

PDF erstellt am: **23.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-114603>

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.

Altersbestimmungen mit Hilfe der C₁₄-Methode

Von Hans Oeschger

Die Geschichtswissenschaft stützt sich für die absolute Datierung urgeschichtlicher Perioden einerseits auf archäologisch-historische, andererseits auf naturwissenschaftliche Methoden. Innerhalb der eigentlichen urgeschichtlichen Forschung läßt sich eine ständige Verbesserung der Arbeitsmethoden und Ergebnisse konstatieren. Seit dem Dreiperiodensystem von Chr. Thomsen ist man mit der evolutionistischen typologischen Methode von O. Montelius, der regionalen Stufenteilung P. Reineckes nach geschlossenen Grabfunden, der genetischen Siedlungslehre G. Kossinnas und zuletzt mit der komparativ-stratigraphischen Chronologie zu verbindlicheren Resultaten gelangt.

Seit jeher suchte man außerhalb des eigenen Arbeitsbereiches eine Bestätigung der gewonnenen absolutchronologischen Bestimmungen bei den naturwissenschaftlichen Disziplinen. So sind durch die Quartärgeologie, durch die astronomische Berechnung der Eiszeit, die Warven-Zählung und durch die Pollenanalyse vielfach die historisch-archäologischen Ergebnisse gesichert oder ergänzt, oft aber auch in Frage gestellt worden. Keine bisherige naturwissenschaftliche Methode jedenfalls hat sich als ganz zulänglich erwiesen. Erst seit den epochalen Entdeckungen mit C₁₄ ist ein Mittel gefunden worden, das der absoluten Datierung zu einer besseren Grundlage zu verhelfen verspricht. Die Radiokarbonmethode ist augenblicklich in der Entwicklung begriffen und steht deshalb in einzelnen Punkten noch zur Diskussion.

Der nachfolgende Beitrag von Dr. Hans Oeschger, dem Leiter des C₁₄-Labors des Physikalischen Instituts der Universität Bern, ist aus einem Vortrag vor dem Berner Zirkel für Prähistorie, Ethnologie und Anthropologie hervorgegangen und beschränkt sich auf das atomphysikalische Problem. Für die historischen Fragen verweisen wir auf folgende Literatur: *F. Johnson*, Radiocarbon Dating (Mem. Soc. Amer. Archaeol. 8, 1951). – *H. Gross*, Die Radiokarbon-Methode, ihre Ergebnisse und Bedeutung für die spätquartäre Geologie, Paläontologie und Vorgeschichte (Eiszeitalter und Gegenwart 2, 1952). – *K. J. Narr*, Radiokarbonbestimmungen und Kontrolldaten (Anthropos 48, 1953). – *F. Libby*, Radiocarbon Dating, Chicago 1955. – *V. Milojevic*, Zur Anwendbarkeit der C₁₄-Datierung in der Vorgesichtsforschung (Germania 35, 1957 und 36, 1958). – *H. Tauber*, Difficulties in the application of C-14 results in archaeology (Archaeologia Austriaca 24, 1958). – *H. Schwabedissen* und *K. O. Münnich*, Zur Anwendung der C₁₄-Datierung und anderer naturwissenschaftlicher Hilfsmittel in der Ur- und Frühgeschichtsforschung (Germania 36, 1958).
Rudolf Degen

Entstehung und Verteilung des C₁₄

Die Bildung des C₁₄ erfolgt durch die Einwirkung der kosmischen Strahlung auf die Atmosphäre.

Mit hoher Energie prallen die Partikel der kosmischen Strahlung (hauptsächlich Wasserstoff- und Heliumkerne, aber auch schwerere Kerne) auf die Atomkerne des Stickstoffs und Sauerstoffs usw. auf. Unter den Kernbruchstücken, die bei diesen Zusammenstößen entstehen, finden sich auch Neutronen, die dann größtenteils vom Stickstoff ¹⁴ eingefangen werden. Dabei wird ein Proton emittiert, so daß der radioaktive Kohlenstoff ¹⁴ entsteht. Der Kohlenstoff ¹⁴ (C₁₄) ist ein β -Strahler und zerfällt mit einer Halbwertszeit von 5568 ± 30 Jahren.

Die so entstandenen C₁₄-Atome werden innerhalb kurzer Zeit zu C₁₄O₂ oxydiert und vermischen sich mit dem übrigen CO₂ der Atmosphäre.

Der Kohlenstoff ¹⁴ gelangt deshalb in das ganze Kohlenstoffreservoir, das sich mit dem CO₂ der Atmosphäre im Austausch befindet. Die Pflanzen nehmen ihn bei der Assimilation auf. Die Tiere ernähren sich von den Pflanzen, bauen also auch radioaktiven Kohlenstoff ein. Das CO₂ der Atmosphäre steht aber auch im Austausch mit den Carbo-

naten und Bicarbonaten der Ozeane und dieser in den Ozeanen enthaltene C¹⁴-Anteil macht mehr als 90 % des gesamten C¹⁴-Vorkommens aus.

Das Prinzip der C¹⁴-Methode

Die C¹⁴-Methode beruht nun auf der Annahme, daß der relative Anteil des C¹⁴ im CO₂ der Atmosphäre und damit auch in den Pflanzen und Tieren schon seit langer Zeit derselbe war wie heute. Dies bedeutet, daß schon vor 1000 oder 10 000 Jahren im Kohlenstoff der Pflanzen und Tiere gleich viele C¹⁴-Kerne zerfallen sind, wie im Kohlenstoff der heutigen Lebewesen.

Wenn aber eine Pflanze oder ein Tier stirbt, setzt die Zufuhr an radioaktivem Kohlenstoff aus, und der C¹⁴-Anteil im Kohlenstoff klingt nach dem Gesetz des radioaktiven Zerfalls ab.

Dieses Gesetz kann beschrieben werden durch den Ausdruck:

$$(1) N = N_0 \frac{1}{2^{t/T_{1/2}}} \text{ wobei } N = \text{Anzahl der radioaktiven Atomkerne zur Zeit } t$$

$$N_0 = \text{Anzahl der radioaktiven Atomkerne zur Zeit } t = 0$$

$$T_{1/2} = \text{Halbwertszeit (beim C}^{14} = 5568 \pm 30 \text{ Jahre)}$$

Dieses in Fig. 1 dargestellte Gesetz wird aus der Aussage erhalten, daß die Anzahl der radioaktiven Zerfälle pro Zeiteinheit immer proportional der Anzahl noch vorhandener Atomkerne ist. Beim Kohlenstoff¹⁴ merkt man sich, daß in 80 Jahren immer 1 % der noch vorhandenen Kohlenstoffatome zerfallen.

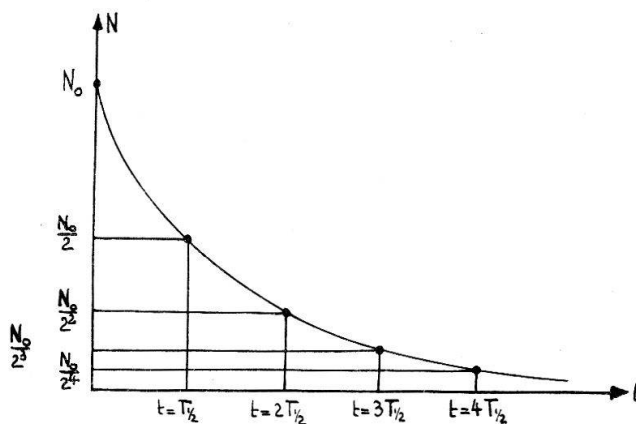


Fig. 1.

Da die Anzahl der Zerfälle einer radioaktiven Substanz immer proportional der Anzahl der vorhandenen radioaktiven Atomkerne ist, darf unter N bzw. N_0 auch die Anzahl der Zerfälle, die pro Zeiteinheit stattfinden, verstanden werden.

Die Altersbestimmung besteht aus folgenden Schritten:

1. Messung der Zerfälle pro Zeiteinheit einer bestimmten Menge Kohlenstoffs, die aus einer heute lebenden Pflanze gewonnen wurde. Die so gemessene Zerfallsrate sei mit N_0 bezeichnet. Sie stellt, wenn unsere Annahme richtig ist, auch die Zerfallsrate irgendeiner Pflanze zu ihrer Lebenszeit dar.

2. Messung der Zerfälle pro Zeiteinheit einer bestimmten Kohlenstoffmenge, die aus einer Pflanze unbekannter Lebenszeit gewonnen worden ist. Diese Zerfallsrate wird mit N bezeichnet.
3. Mit Hilfe der Beziehung (1) kann nun berechnet werden, in welcher Zeit t die ursprüngliche Zerfallsrate N_0 auf den Wert N abgeklungen ist. Die Zeit t stellt dann das Alter der Pflanze dar, das heißt, t entspricht der Zeit, die vom Absterben der Pflanze bis heute verflossen ist.

Graphisch sieht diese Zeitbestimmung folgendermaßen aus:

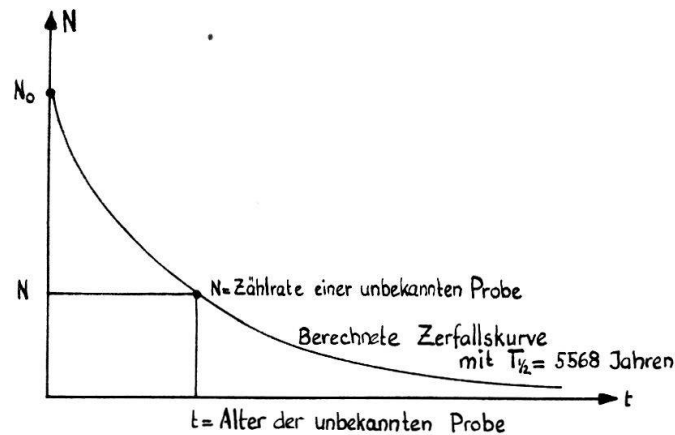


Fig. 2.

Die Brauchbarkeit der C_{14} -Methode

Die geforderte Konstanz des C_{14} -Anteils im Kohlenstoff der Biosphäre ist an die folgenden Bedingungen geknüpft: Die Intensität und Zusammensetzung der kosmischen Strahlung und damit die C_{14} -Produktion muß während langer Zeit konstant gewesen sein, so daß sich ein Gleichgewicht zwischen Produktion und Zerfall einstellen konnte. Weiter muß das gesamte Kohlenstoffreservoir, in dem sich der Kohlenstoff $_{14}$ verteilt, konstant gewesen sein. Kleinere Schwankungen des C_{14} -Anteils können aber auch auftreten, wenn sich die Größe der einzelnen Reservoirs gegeneinander und die Verteilungsgeschwindigkeiten verändern, so daß auch deren Konstanz gefordert werden muß.

Die beste Kontrolle für die Gültigkeit unserer Forderung und damit der C_{14} -Methode überhaupt, ist der Vergleich des historischen Alters einer Probe mit dem an ihr bestimmten C_{14} -Alter. Ebenso interessant ist der Vergleich mit anderen Datierungsmethoden, wie Dendrochronologie (Auszählen von Jahrringen) und Warven-Chronologie. Letztere ermöglicht Vergleiche bis 9000–10 000 v. Chr. (Alleröd-Wärmeschwankung des Spätglazials). Alle diese Vergleiche zeigen eine sehr gute Übereinstimmung und beweisen damit die Brauchbarkeit der C_{14} -Datierungsmethode. Bei diesen Vergleichen ist allerdings die Genauigkeit der C_{14} -Alter richtig zu berücksichtigen. Diese werden bis etwa 12 000 Jahre auf etwa ± 80 bis ± 200 Jahre genau datiert. Dabei bedeutet dieser zu jeder Messung angegebene mittlere statistische Fehler von z. B. 100 Jahren, bei der Altersangabe von 5000 Jahren, daß der richtige Wert mit guter

Wahrscheinlichkeit innerhalb von 4900 und 5100 Jahren liegt (Wahrscheinlichkeit 67 %). Mit schon sehr großer Wahrscheinlichkeit (95 %) liegt der richtige Wert innerhalb der doppelten Fehlergrenze, also innerhalb von 4800 und 5200 Jahren. Innerhalb von 4700 und 5300 Jahren, also der dreifachen Fehlergrenze liegt das wahre Alter mit praktisch hundertprozentiger Sicherheit (99,95 %). Immerhin konnte gezeigt werden, daß bei besonders präziser Messung der C¹⁴-Aktivitäten von Jahrringproben Schwankungen auftreten, die nicht durch diese statistische Ungenauigkeit erklärt werden können. Diese Abweichungen müssen als Schwankungen der Zerfallsrate N_0 angesehen werden. Abweichungen während der letzten 100 Jahre als Folge der Industrialisierung (Verdünnung des C¹⁴ im CO₂ der Atmosphäre durch fossiles CO₂ als Verbrennungsprodukt fossiler Brennstoffe) sowie thermonukleare Reaktionen (starke Neutronen- und damit C¹⁴-Produktion) spielen bei Datierungen älterer Proben keine Rolle.

Meßtechnik (Taf. 11 A und B)

Die Schwierigkeit bei der Messung der natürlichen C¹⁴-Aktivitäten liegt einerseits in der geringen Zerfallsrate pro g Substanz und andererseits im geringen Durchdringungsvermögen der beim Zerfall emittierten β -Strahlen. Die heute gebräuchlichste Meßmethode besteht darin, den Kohlenstoff der Probe in Gasform (CO₂, C₂H₂, CH₄) überzuführen und dieses Gas direkt als Zählgas eines Proportionalzählrohres zu verwenden.

Die Zahl der Impulse des Zählrohres (Taf. 11, A), die von der Strahlung aus der Umgebung sowie der Höhenstrahlung ausgelöst werden, beträgt aber ein Vielfaches der Zahl der C¹⁴-Impulse einer rezenten Probe. Dieser Strahlungsuntergrund muß also so weit wie möglich herabgesetzt werden. Die weiche Komponente der kosmischen Strahlung und die radioaktive Umgebungsstrahlung werden abgeschirmt, indem man das Zählrohr mit Eisen oder Blei (ca. 200 mg/cm²) umgibt. Die durchdringenden Partikel der Höhenstrahlung werden dadurch eliminiert, daß man das Zählrohr mit einem Kranz von Antikoinzidenzzählrohren umgibt. Ein durchdringendes Teilchen löst dann nicht nur das die Probe enthaltende Zählrohr, sondern auch eines oder zwei der Antikoinzidenzzählrohre aus. Durch eine elektronische Schaltung wird nun erreicht, daß nur Impulse vom inneren Zählrohr registriert werden, falls nicht gleichzeitig eines oder mehrere Antikoinzidenzzählrohre ansprechen. Auf diese Weise lassen sich Nulleffekte erzielen, die erheblich unter dem C¹⁴-Effekt für rezenten Kohlenstoff liegen.

Fehlermöglichkeiten

Neben dem schon erwähnten statistischen Fehler, der davon herrührt, daß während einer Messung nur eine beschränkte Anzahl von Zerfällen registriert werden kann, bestehen noch andere Fehler und Fehlermöglichkeiten, die hier kurz erwähnt werden sollen.

a) Fehler der Halbwertszeit

Alle C¹⁴-Alter werden mit einer Halbwertszeit von 5568 gerechnet. Der Fehler dieser Halbwertszeit wird mit ± 30 Jahren angegeben. Er fällt beim Vergleich von C¹⁴-Altern

untereinander heraus, muß aber berücksichtigt werden, wenn C_{14} -Alter mit nach anderen Methoden bestimmten Altern verglichen werden sollen. Er ist aber meistens viel kleiner als der statistische Fehler. Werden Alter, die mit Hilfe verschiedener Methoden bestimmt worden sind, untereinander verglichen, so kann damit auch die C_{14} -Halbwertszeit kontrolliert werden.

b) Fehler des Eichwertes

Wegen der schon erwähnten Folgen der Industrialisierung auf den C_{14} -Gehalt der Atmosphäre müssen zur Eichung Proben genommen werden, die aus der Zeit vor dem Einsetzen der Industrialisierung stammen.

Ältere Messungen (vor 1954) sind in der Regel auf moderne Proben (um 1950) bezogen, so daß, falls diese Korrektur noch nicht angebracht worden ist, zu diesem Alter rund 200 Jahre zu addieren sind. Meistens wird der Eichwert als Mittelwert einiger ungefähr 100 Jahre alter Proben bestimmt.

c) Isotopenanreicherungseffekte

Es zeigt sich, daß die C_{14} -Gehalte gleichzeitig lebender Pflanzen nicht gleich zu sein brauchen. Es können Isotopenanreicherungseffekte bei der Assimilation auftreten, die teils individueller, teils klimatischer Natur sind. Diese Effekte geben aber nur Abweichungen von einem Mittelwert von einigen ‰, maximal von 1 % (im Alter ausgedrückt 80 Jahre). Diese Effekte können mit Hilfe einer C_{13}/C_{12} -Analyse korrigiert werden. Meist wird diese Korrektur aber unterlassen, da sie gegenüber dem statistischen Fehler vernachlässigt werden kann.

d) Schwankungen des C_{14} -Gehaltes des CO_2 der Atmosphäre

Diese Frage wird momentan in verschiedenen Laboratorien geprüft. Wie schon erwähnt wurde, konnten Schwankungen festgestellt werden, die größer sind als die statistisch zu erwartenden. Sie belaufen sich in den letzten 1000 Jahren auf bis zu 2 %, was einer Abweichung von 160 Jahren im Alter entspricht.

e) Schwierigkeiten bei Probenentnahme und Probenaufarbeitung

Bei der Probenentnahme und Probenaufarbeitung muß dafür gesorgt werden, daß nur diejenigen Kohlenstoffatome berücksichtigt werden, die wirklich zur Probe gehören und so ihr Alter repräsentieren können.

Als Beispiele von Fehlermöglichkeiten seien nur die Schwierigkeiten bei der Bestimmung der Alter von Knochenproben erwähnt. Hier hat sich gezeigt, daß nur der organische Anteil richtige Alter ergibt, während die Carbonate infiltrierten oder ausgetauschten fremden Kohlenstoff enthalten. Wurde der anorganische Anteil für Datierungen verwendet, so ergaben sich Fehler bis zu einigen zehntausend Jahren.

Bereich der C_{14} -Methode

Das Datieren alter Proben wird dadurch beschränkt, daß mit zunehmendem Alter der Nettoeffekt einer Probe klein wird gegenüber dem Nulleffekt, oder mit anderen

Worten, daß der Bruttoeffekt einer solchen Probe nicht mehr vom Nulleffekt (Effekt einer fossilen Probe) unterschieden werden kann. Diese Grenze liegt bei den heutigen Apparaturen ungefähr bei 30 000–50 000 Jahren. Es wird aber versucht, mit Hilfe von Isotopenanreicherung den Meßbereich auf etwa 70 000 Jahre auszudehnen. Dabei muß jedoch beachtet werden, daß solche Datierungen höchst empfindlich werden auf Verunreinigungen mit modernem Kohlenstoff.

Die Beschränkung gegen junge Alter entsteht dadurch, daß jüngere Proben sich immer weniger von ganz modernen Proben unterscheiden. Hinzu kommen noch die erwähnten Störungen des C 14-Gehaltes der Atmosphäre im Laufe der letzten 100 Jahre, so daß z. B. eine 1950 gewachsene Pflanze 200 Jahre alt scheint, älter als eine 1850 gewachsene Pflanze, deren Alter richtig wiedergegeben wird. Proben, die etwa 500 Jahre alt sind, können aber mit Sicherheit von modernen unterschieden und ihr Alter auf etwa 80 Jahre genau angegeben werden.

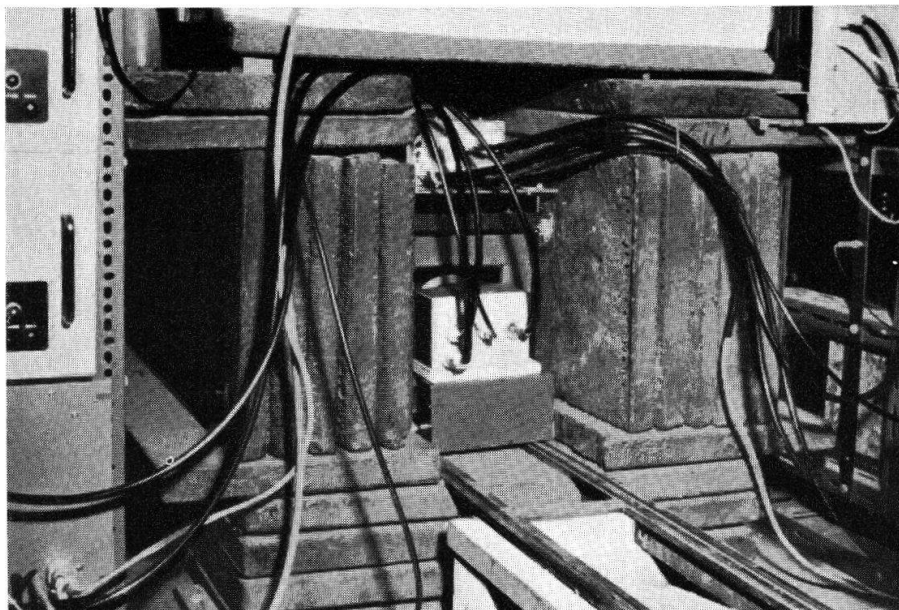
Routinemessungen

Die Zeit, die für eine Routinemessung benötigt wird, beträgt 2 Tage. Dazu kommen noch Kontrollmessungen, so daß es einem normal ausgerüsteten Laboratorium (1 Meßapparatur) möglich ist, pro Jahr rund 100 Datierungen durchzuführen. Dividiert man die jährlichen Ausgaben eines solchen Laboratoriums (Unterhalt, Apparatur, Löhne usw.) durch diese Zahl, so erhält man für die Kosten einer Datierung einen Betrag von etwa 400–500 Franken.

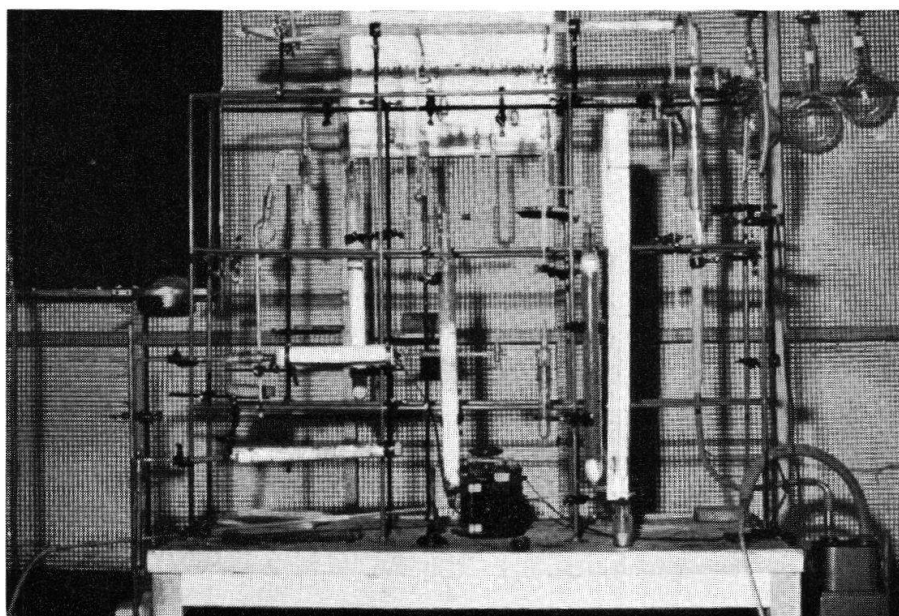
Normalerweise soll eine zu untersuchende Probe etwa 4 g Kohlenstoff enthalten. Auch kleinere Proben bis etwa 0,5 g C können in kleineren Zählrohren bei längerer Meßdauer mit genügender Genauigkeit datiert werden.

Bisher wurden die C 14-Daten hauptsächlich in den Zeitschriften «Science» und «Nature» veröffentlicht. Neuerdings sollen die Publikationen im «Radiocarbon Supplement» des «American Journal of Science» erscheinen.

Das Physikalische Institut der Universität Bern (Direktor: Prof. Dr. F. G. Houtermans) hat, unterstützt vom Schweizerischen Nationalfonds in den letzten Jahren ein C 14-Labor aufgebaut, das unter der Leitung des Schreibenden steht. Nachdem bisher in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. M. Welten (Paläobotanik) und Prof. Dr. H.-G. Bandi (Urgeschichte) vor allem Kontrollmessungen zur Abklärung der Leistungsfähigkeit der Anlage durchgeführt worden sind, dürfte es in Zukunft in vermehrtem Maße möglich sein, den Wünschen anderer Forscher nach C 14-Messungen zu entsprechen. Mit Rücksicht auf den erheblichen Arbeitsaufwand und die beträchtlichen Kosten jeder Messung müssen sich jedoch die Verantwortlichen in jedem Fall den Entscheid, ob und unter welchen Bedingungen solche Gesuche angenommen werden können, vorbehalten.



Tafel 11. A. Zwei Zählrohre in der geöffneten Eisenabschirmung.



Tafel 11. B. Chemie-Anlage zur Aufarbeitung der Proben.