

Wie alt ?

(Eine Übersicht über Möglichkeiten der Datierung)

Norbert Nordmeyer

Wohl jedem, der sich mit der Paläontologie beschäftigt, ist schon die Frage nach dem Alter von Fossilien gestellt worden. Die Antwort, daß es sich zum Teil um jahrmillionenalte Stücke handelt, stößt auf Skepsis - wie man das denn so genau bestimmen könne, will man wissen.

Dieser Artikel soll nun einen Überblick über die gebräuchlichsten Methoden der Altersbestimmung geologischer Objekte bieten:

A - Relative Chronologie

In der Paläontologie wird vorrangig mit einer relativen Chronologie gearbeitet, die es ermöglicht, zu bestimmen, ob ein Fossil jünger oder älter ist als ein Vergleichsfund. Hierbei wird nichts über das absolute Alter in Jahren ausgesagt. Die Formationstabelle mit der Untergliederung in Kambrium, Ordovicium, Silur, Devon etc. bis Quartär basiert allein auf Fossilfunden. Man nennt diese Methode Biostratigraphie. Rein lithologische Untersuchungen bringen diesbezüglich keine Ergebnisse. Werden die Perioden noch weiter untergliedert, so spielen hier spezielle Leitfossilien eine wichtige Rolle. Sie treten nur kurze Zeit auf, haben aber eine große räumliche Verbreitung. Die mit ihnen gewonnenen Einteilungen z.B. in Zonen (Zone des *Endemoceras noricum* - Unterhau-terive - Unterkreide) werden als Orthochronologie bezeichnet, während man unter Parachronologie die Auswirkungen von Änderungen in der Tier- und Pflanzenwelt allgemein versteht. Die Bearbeitung leitender Fossilien setzt voraus, daß die Funde nicht zu einer anderen Zeit umgelagert wurden - man spricht dann von heterochroner Allochthonie. Ferner muß gewährleistet sein, daß das Lagerungsgesetz erfüllt ist. Es besagt, daß bei ungestörter Ablagerung die älteren Sedimente unten, die später gebildeten oben in einem Profil zu finden sind (Liegendes und Hangendes). Dieses 1669 von Nicolaus Steno gefundene Gesetz bildete die Basis für die erste Gliederung.

Aufgabe der Chronologie ist die weltweite Parallelisierung der Gesteine. Einen wichtigen Beitrag hierzu leistet die Pollenanalyse (Palynologie), da Pollen durch den Wind eine weite Verbreitung erreichen. Hiermit können auch sonst fossilleere Salzvorkommen datiert werden. Die Zeiträume bei der Ausbreitung neuer Formen bis zur weltweiten Ausdehnung (innerhalb eines Klimagürtels) können gegenüber den geologischen Zeiten vernachlässigt werden.

B - Absolute Chronologie

Bei den absoluten Datierungen gibt es verschiedene Methoden mit unterschiedlichem Genauigkeitsgrad. Naturgemäß existieren für die Datierung geologisch jüngerer Funde mehr und genauere Möglichkeiten als für ältere Objekte.

a - Absolute Chronologie mit geologischen Mitteln

Anhand der rezenten Sedimentationsraten als auch aus dem Salzgehalt der Meere hat man versucht, Rückschlüsse auf die Bildung von Sedimentgesteinen zu ziehen, um durch Mächtigmessungen eine Aussage über das Alter zu erhalten. Da diese Werte jedoch nicht als konstant anzusehen sind, können sie nicht zur exakten Altersbestimmung herangezogen werden. Genauer ist die Untersuchung von Sedimenten mit Jahresschichtung. Die Bänderung z.B. bei Tonen kann zurückgehen auf primäre Differenzierung bei der Ablagerung oder auf nachfolgende Veränderungen wie Ausbleichen. Im Vorland von Gletschern bildet sich, bedingt durch die Schneeschmelze im Sommer ein Bänderton. Durch das Auszählen der Jahresschichten (Warven - daher auch Warventon) gelang 1912 in Schweden die zeitliche Festlegung der pleistozänen Eisbewegung.

Eine weitere Möglichkeit der Datierung mit geologischen Mitteln ist die Berücksichtigung der Strahlungsintensität der Sonne in den letzten 600 000 bis 1 Mill. Jahren. Die sogenannte Strahlungskurve fußt auf der Berechnung der langzeitlichen Änderungen der Neigung der Erdachse und der Präzession sowie der Exzentrizität der Erdbahn. Eine 1924 durchgeführte Gegenüberstellung dieser Kurve mit einer anders gewonnenen Eiszeitgliederung zeigte eine gute Übereinstimmung. Während Zeiten großer Strahlungsintensität zog sich das Eis zurück (Interglaziale), bei einer verringerten Strahlungsstärke kam es zu den Kaltzeiten (Glaziale).

b - Absolute Chronologie mit biologischen Mitteln

Wie bei der Warvenchronologie wird bei der Dendrochronologie mit Jahresschichten bzw. hier - ringen gearbeitet. Die relative Dicke der Jahresringe bei Holzgewächsen wurde zur Erstellung eines Jahresringkalenders herangezogen. Jahresringe treten durch den Jahreszeitenwechsel auf. Diese Methode ist zeitlich auf rezente bis jungquartäre Objekte begrenzt, dient hier aber z.B. auch zur Erstellung einer Korrekturkurve für die Kohlenstoffdatierung.

Altersangaben lassen sich auch aus Jahresschichten in Tropfsteinen (Längsschnitte!) gewinnen (PIELSTICKER, 1970)

(Abb. 1)

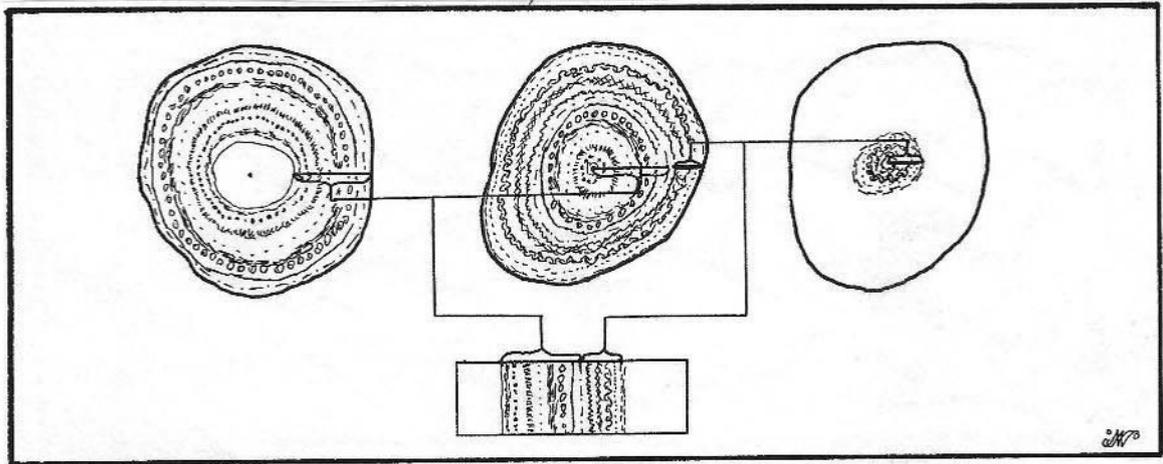


Abb. 1

Dendrochronologie - Erstellung eines 'Jahresringkalenders' mittels Baumscheiben aus sich überlappenden Zeitabschnitten

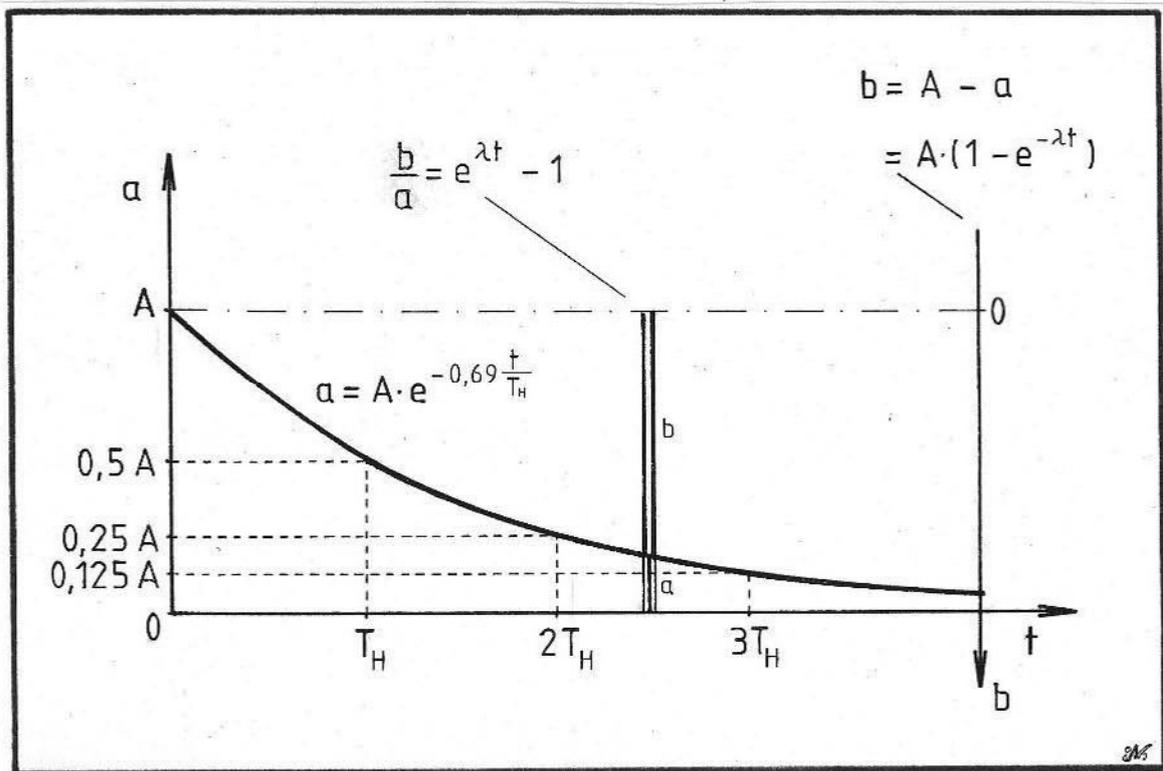


Abb. 2

Allgemeine Form der Zerfallskurve von radioaktiven Substanzen (Exponential-Funktion)
 a bedeutet die aktuelle Menge, A die ursprüngliche Menge des Ausgangsstoffes, b ist die Menge des Zerfallsproduktes, t ist die verstrichene Zeit, T_H die Halbwertszeit.
 Oft wird $0,69/T_H$ als Zerfallskonstante λ (Lambda) bezeichnet.

c - Absolute Chronologie mit physikalischen Mitteln

Die physikalischen Methoden basieren zumeist auf der Bestimmung von Mengenverhältnissen und der Kenntnis der Halbwertszeiten radioaktiver Substanzen. Die Halbwertszeit (Zeit, nach der von dem radioaktiven Ausgangsmaterial nur noch die Hälfte vorhanden, die andere bereits zerfallen ist) ist eine absolute Konstante, die weder zeitlich veränderlich ist, noch in chemischer Bindung des Ausgangsmaterials ihren Wert ändert. Toleranzen bei Angaben der Halbwertszeit beruhen auf der endlichen Genauigkeit der Meßmethoden zu ihrer Bestimmung.

Die allgemeine Gleichung für die aktuelle Menge des Ausgangsmaterials (Abb. 2)

$$a = A \cdot e^{-0,69 \frac{t}{T_H}} = A \cdot e^{-\lambda t}$$

liefert umgeformt schließlich eine Bestimmungsgleichung für die seit der letzten Beanspruchung verstrichene Zeit, wenn die Halbwertszeit T_H und das Mengenverhältnis der Tochteratome zu den T_H verbliebenen Atomen des Ausgangsmaterials bekannt sind:

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left(1 + \frac{b}{a} \right)$$

Es gibt nun verschiedene Elemente, die es erlauben, diese radiometrischen Methoden anzuwenden:

- Radiokarbonmethode (Kohlenstoff-, C^{14} - oder ^{14}C - M.)

Die Atmosphäre enthält einen bestimmten Prozentsatz von radioaktivem Kohlenstoff in Form von CO_2 , der durch Höhenstrahlung aus Stickstoff entstanden ist:



Die Angaben für die Halbwertszeit dieses Kohlenstoffisotops liegen zwischen 5568 und 5730 ± 40 Jahren. Auf die Halbwertszeit bezogen liegt der Fehler aber immer noch unter 3 %. In der gesamten Atmosphäre werden jährlich etwa 10 kg ^{14}C umgesetzt. Nach sechs bis acht Halbwertszeiten ist allerdings nur noch wenig radioaktives Material vorhanden, sodaß der einigermaßen sicher erfaßte Zeitbereich bis maximal 50 000 Jahre reicht.

Wenn aber jährlich neues ^{14}C entsteht, wie kann man Funde trotzdem datieren? - Jedes Lebewesen nimmt entweder durch Assimilation (Pflanzen) oder mit der Nahrung (Tiere) Kohlendioxyd bzw. Kohlenstoff auf. Das Verhältnis von ^{14}C zu dem normalen ^{12}C ist im lebenden Organismus gleich dem in der Luft (ein Billionstel = 10^{-12}); Kohlendioxyd allgemein macht 0,03 Vol.% der Luft aus. Nach dem Absterben wird kein Kohlenstoff mehr aufgenommen, es kommt daher nur noch der Zerfall des in der organischen Substanz enthaltenen radioaktiven Kohlenstoffes zum Tragen. Somit ist die Grundlage für eine Datierung geschaffen.

Neben organischen Resten können mit der Radiokarbonmethode auch Grundwässer oder Tropfsteine datiert werden. Über letztere gewinnt man wieder eine Aussage über Eiszeiten, da sich Sinter nur in Warmzeiten bilden kann, wenn also genügend Wasser für Kalkkorrosion und Transport zur Verfügung steht. Im Sinter wird bei der Ausscheidung ^{14}C aus der im Wasser enthaltenen Kohlensäure abgelagert. Zur exakten Ermittlung des Alters einer Probe sind mindestens 10g erforderlich.

Da die primäre Kohlendioxydkonzentration der Luft durchaus Schwankungen unterlegen haben kann, wurde für die Radiokarbonmethode durch Vergleichsdatierungen mit der Dendrochronologie eine Korrekturkurve ermittelt, die jedoch nur die letzten 7000 Jahre umfaßt. Nach GERWIN (1978) liegt die Abweichung zwischen diesen beiden Methoden bei 10 %!

An weiteren radiometrischen Methoden zur Altersbestimmung sind zu nennen: Uran-Methoden, Isotopenmethode, Kalium-Argon-Methode, Rubidium-Strontium-Methode, Tritiummethode.

- Uran-Methoden

basieren auf dem Zerfall der Mutterisotope ^{238}U , ^{235}U und ^{232}Th zu Blei ($^{206}\text{Pb} + ^4\text{He}$, $^{207}\text{Pb} + ^4\text{He}$, $^{208}\text{Pb} + ^4\text{He}$).

Die Halbwertszeiten betragen dabei zwischen $7,13 \cdot 10^8$ Jahre (^{235}U) und $1,39 \cdot 10^{10}$ Jahre (^{232}Th). Neben der Ermittlung des Verhältnisses Blei zu Uran (Bleimethode) könnte auch das entstandene Helium herangezogen werden (Heliummethode), doch liegt dabei eine große Fehlerquelle in der Möglichkeit der Diffusion von He.

- Rubidium-Strontium-Methode

Hierbei zerfällt ^{87}Rb mit einer Halbwertszeit von $5 \cdot 10^{10}$ Jahren zu ^{87}Sr . Rubidium kommt in verschiedenen gesteinsbildenden Mineralien vor.

Mit der

- Tritium-Methode

können Grundwässer datiert werden. Das Wasserstoffisotop ^3H (Tritium) entsteht ähnlich wie ^{14}C durch Höhenstrahlung aus Stickstoff. Es zerfällt mit einer Halbwertszeit von nur 12,5 Jahren.

Wie bei der Helium-Methode gibt es auch bei der

- Kalium-Argon-Methode

die Fehlerquelle der Möglichkeit der Gasdiffusion. Andererseits hat auch hier die Halbwertszeit von $T_H = 1,27 \cdot 10^9$ a ein günstiges Verhältnis zur Dauer der geologischen Epochen. Ein großer Vorteil dieser Methode liegt in der Häufigkeit von Kalium in allen Gesteinen, also auch in Sedimenten, wodurch eine Korrelierung mit der relativen Altersangabe durch Fossilien möglich ist. Das Verhältnis von aktivem ^{40}K zu ^{39}K beträgt 0,0118 %.

- Isotopenmethoden

berücksichtigen das Verhältnis von verschiedenen schnell zerfallenden Isotopen eines Stoffes (z.B. Blei-Blei-Methode: relative Mengen von ^{206}Pb , ^{207}Pb und ^{208}Pb sowie das nicht durch radioaktiven Zerfall entstandene ^{204}Pb).

Alle bisher erwähnten physikalischen Methoden geben das Alter der letzten thermischen Beanspruchung (stärkere Metamorphose) eines Minerals an.

Durch gemeinsame Anwendung verschiedener Datierungsmöglichkeiten kann man zu relativ sicheren Aussagen über das Alter von Gesteinen kommen. Die Zeiten für die erdgeschichtlichen Perioden sind in kleinen Fehlergrenzen als sicher anzusehen.

Fehlermöglichkeiten sind neben der bereits erwähnten Gasdiffusion z.B. Abtrennungen anderer Tochterprodukte, schwache Aufheizungen und damit verbunden jüngere Altersangaben, schließlich Schwierigkeiten bei der Parallelisierung magmatischer Gesteine mit fossilführenden Sedimenten. Neuere Untersuchungen im Hochgebirge haben nach WUNDERLICH (1969) sogar zu auffälligen Abweichungen bei Zerfallszeitenbestimmungen geführt. Bisher sah man als Beweis für die Konstanz des Zerfallsprozesses die Verfärbung von Gesteinen an. Diese Farbänderungen sind auf die beim Zerfall freiwerdenden Energien zurückzuführen und lassen sich auch nachvollziehen. Neben α , β und γ -Strahlung liefert 1 g Radium z.B. die Wärmemenge von 578 J (= 138 cal) in der Stunde.

- Thermolumineszenz

Neben dem Effekt der Verfärbung durch Wärme werden in dem umgebenden Gestein auch durch die Strahlung Änderungen hervorgerufen. Besonders in der Archäologie hat man das Auftreten der natürlichen Radioaktivität durch Uran, Kalium etc. für eine besondere Datierungsmethode ausnutzen können (GERWIN (1978)). Durch die Gesteinsstrahlung und die Umgebungsaktivität werden z.B. in Ton die Atomhüllen derart beeinflusst, daß die Elektronen ein höheres Energieniveau einnehmen und auch dort verweilen. Erst eine Erwärmung des Materials auf über 200 °C läßt die Elektronen wieder auf ihr ursprüngliches Energiepotential zurückfallen. Bei diesem Vorgang erfolgt eine charakteristische Lichtemission, deren Intensität mit photoelektrischen Elementen gemessen werden kann. Bei Kenntnis der Umgebungsaktivität und der Intensität der Lichtstrahlung durch Erwärmung (Thermolumineszenz) kann auf das genaue Alter z.B. eines Keramikfundes geschlossen werden. Der Fehler der Altersbestimmung liegt bei 7 %.

Mit dieser Methode ist es somit auch möglich, Fälschungen zu erkennen. Das ermittelte Alter ist auch hier immer das Alter der letzten Beanspruchung - also hier des Brennvorganges bei der Herstellung.

Im Gegensatz zu dem Zerfall radioaktiver Elemente liefert die Anreicherung von Fluor in Knochen und Zähnen einen recht ungenauen Beitrag zur Datierung von Fossilien (die Zunahme wird von zu vielen verschiedenen Faktoren beeinflusst); bewährt hat sich der Fluortest aber bei der Erkennung von Fossilfälschungen oder bei der Einordnung verschleppter Fossilreste.

Literatur

- Cuny - Grundlagen der Chemie, Schroedel Verlag, Hannover 1968
- Franke, Herbert W. - Geheimnisvolle Höhlenwelt, dva Stuttgart 1974
- " - Methoden der Geochronologie, Springer-Verlag
- Gerwin, Robert - Strahlenschäden entlarven Antiquitätenfälscher, Kosmos Heft 9 1978
- Geyh, Mebus A.; Schillat, Bodo - Messungen der Kohlenstoffisotopenhäufigkeit von Kalksinterproben aus der Langenfelder Höhle - Mitt. Verb. dt. Höhlen- u. Karstforscher 13,2, München 1967
- Murawski, Hans - Geologisches Wörterbuch, Enke-Verlag 7. Aufl., Stuttgart 1977
- Nikl, Alfred - Entwicklungsgeschichte der Erde und der Lebewesen, Verlag Franz Deuticke, Wien 1974
- Schätz, Heinz - Einführung in die Geowissenschaften, Verlag Franz Deuticke, Wien 1974
- Thenius, Erich - Versteinerte Urkunden, Springer-Verlag Berlin 1972
- Wunderlich, Hans-Georg - Einführung in die Geologie, Bd. II 'Endogene Dynamik', BI Hochschultaschenbücher Mannheim 1969