# Altersbestimmung

**Archäometrie - Ein multidisziplinärer Wissenschaftszweig**

Die Physik hat in den letzten Jahrzehnten den Archäologen verschiedene Werkzeuge in die Hand gegeben, wie z. B. Thermolumineszenzdatierung, Radiocarbonanalyse, Neutronenaktivierungsanlayse, Röntgenfluoreszenzanalyse, magnetometrische Untersuchungen etc., die es ermöglichen, das Alter, die Zusammensetzung oder die Echtheit eines archäologischen Artefakts zu bestimmen.

Diese neue Wissenschaftsdisziplin der Archäometrie (aus dem Griechischen: archaio: alt, metron: messen) stellt einen multidisziplinären Forschungszweig dar, in dem Physiker, Archäologen, Ur - und Frühgeschichtler, Kunsthistoriker, Geologen etc. Hand in Hand arbeiten, um Licht in unsere dunkle Vergangenheit zu bringen.

Die Thermolumineszenzdatierung zur Bestimmung des Alters von Keramiken wird seit Jahren erfolgreich in Kooperation mit Archäologen auch an Österreichischen Universitäten durchgeführt.

**Entwicklung von relativen und absoluten Methoden**

Mit den verfügbaren Methoden konnte die Geologie noch im 19. Jahrhundert nur eine relative Zeitskala aufstellen. Das tatsächliche Alter der Erde und die  Dauer der Zeiteinheiten konnten nur abgeschätzt werden. Eine Berechnung z. B. Lord  Kelvins von 1862 ergab ein Erdalter von 20 bis 40 Millionen Jahren. Nach der  Entdeckung der Radioaktivität wurden radiometrische Methoden zur Altersbestimmung entwickelt, die es erlaubten, die relative geologische Zeiteinteilung absolut zu datieren.

Nikolaus Steno formulierte 1669 das Grundgesetz der Stratigraphie: Bei ungestörten Schichtfolgen liegen jüngere  Schichten auf älteren. Eine andere Regel besagt, dass sich das Leben auf der Erde „einsinnig" entwickelt hat, dass sich die Formen nicht wiederholen. Auf der Grundlage dieser Prinzipien war es möglich, die Abfolge der  Fossilien und Schichten aufzuzeichnen, in Profilen zusammenzustellen und über größere Räume zu vergleichen. Daraus ergab sich schließlich eine weltweite Einteilung der Erdgeschichte in vier große Zeitalter:

**Präkambrium, Paläozoikum, Mesozoikum und Känozoikum,**

und die weitere Untergliederung in Systeme oder Perioden, so z. B. des Mesozoikums in Trias, Jura und Kreide, und in feinere – dann aber nur noch regional gültige – stratigraphische Einheiten bis hin zu  einzelnen Schichten.

***Alle Altersbestimmungsmethoden sind fehlerhaft und müssen mit anderen Methoden geeicht werden.***

**14C-Altersbestimmung**

In den obersten Luftschichten der Atmosphäre werden durch die Höhenstrahlung des Weltalls ununterbrochen radioaktive Nuklide erzeugt. Atomkerne, die von dieser Höhenstrahlung getroffen werden, zerbrechen in ihre Bestandteile. Mit hoher Geschwindigkeit stieben die Bruchstücke auseinander und kollidieren mit anderen Kernen. ***Es entstehen neue Kerne. Beispiele: 3H, 14C oder 32Si.***

Das radioaktive Nuklid 14C ist dabei von besonderer Bedeutung, weil er über CO2 in den biologischen Kreislauf gelangt, denn durch das Wettergeschehen werden die 14C - Atome gleichmäßig in der gesamten Biosphäre unseres Planeten verteilt.

***14C ist radioaktiv und hat eine Halbwertszeit von 5730 Jahren:
Der Zerfall: 14C --> 14N + e-***

Auf lange Sicht stellt sich ein Gleichgewicht zwischen zerfallenden und neu entstehenden Atomen ein. Eigentlich dürfte es 14C wegen der relativ geringen Halbwertszeit in der Natur gar nicht mehr geben. Da 14C aber zerfällt, gleichzeitig aber immer wieder neu gebildet wird, tritt es im biologischen Kreislauf (CO2, Kohlenhydrate, Zellulose, Fette, Proteine, DNA usw.) immer in gleicher Häufigkeit auf:

Das heißt: Das Mengenverhältnis von 12C:14C ist im biologischen Kreislauf und damit in allen Lebewesen (Bakterien, Pilze, Pflanzen, Tiere, Menschen) immer gleich.
1 Gramm Kohlenstoff eines beliebigen Lebewesens enthält immer so viele 14C-Atome, dass pro Minute 12,5 Atome durch Beta-Zerfall in 14N zerfallen.

Wenn nun ein Tier verendet oder ein Baum geschlagen wird, so wird der biologische Kreislauf verlassen, die Kohlenstoff-Atome werden nicht mehr ersetzt.
Dies bedeutet: 14C zerfällt nun, die Halbwertszeit-Uhr tickt.

Nach einer 14C-Halbwertszeit (5730 Jahre) zerfallen nur noch 6,25 14C-Atome pro Minute, nach 20300 Jahren nur noch 1 Atom pro Minute.

***Man kann also aus der Zahl der radioaktiven 14C-Atome in einem fossilen Lebewesen den Todeszeitpunkt bestimmen. Die Methode funktioniert etwa 30000 Jahre zurück.***

Die Zeitskala mit radioaktivem Kohlenstoff enthält gewisse Unsicherheiten; es können Fehler von 2000 bis 5000 Jahren auftreten. Das größte Problem ist die Verunreinigung nach der Ablagerung, die durch einsickerndes Grundwasser, durch Einlagerung von älterem oder jüngerem Kohlenstoff  sowie durch Kontamination bei der Probennahme oder im Labor zustande kommt.

**Dendrochronologie**

Diese Methode wertet die ***Zahlen und Breiten von Jahresringen*** langlebiger Bäume aus. Damit sind Sedimente, Ereignisse und klimatische Bedingungen der vergangenen 3000 bis 4000 Jahre exakt zu datieren.

**Warvenanalyse**

Eine der ältesten Methoden zur absoluten Altersbestimmung, die  Warvenanalyse, wurde von schwedischen Wissenschaftlern zu Beginn des 20. Jahrhunderts  entwickelt. Eine Warve ist eine Sedimentschicht, die sich innerhalb eines Jahres in einem stehenden Gewässer abgesetzt hat. Um das Alter der eiszeitlichen Ablagerungen aus dem Pleistozän zu bestimmen, wurden Warven  gezählt und miteinander verglichen.

**Thermolumineszenz**

Das Prinzip der Thermolumineszenzdatierung (TL - Datierung) basiert auf der Speicherung von Informationen über die absorbierte Energie ionisierender Strahlung in anorganischen Kristallen (z.B. Quarz oder Feldspat), welche in allen Keramiken enthalten sind. In einem Kristallgitter können durch radioaktive Strahlung freie Elektronen dauerhaft angeregt werden. Werden diese Kristalle im Labor über eine bestimmte Temperatur (etwa 300 °C) erhitzt, so kehren die Elektronen in ihren Ausgangszustand zurück. Dabei wird Licht emittiert. Aus der Temperatur, aus der Intensität und dem Spektrum der  Thermolumineszenz und anderen Parametern lässt sich das Alter der Probe ermitteln. Diese Methode ist für Quarz- und Feldspatkristalle geeignet und findet besonders in der Archäologie bei der Altersbestimmung von  Keramikfunden Anwendung.

**Radiometrische Altersbestimmung**

Die Entdeckung der Radioaktivität (1896) eröffnete die Möglichkeit der radiometrischen Altersbestimmung.

*Grundlegende Theorie* :

Die Atome radioaktiver Isotope, beispielsweise Uran (U) und Thorium (Th), zerfallen gesetzmäßig zu nichtradioaktiven Isotopen. Von 327 natürlich vorkommenden Isotopen sind 55 radioaktiv. (Isotope sind Atome eines Elements, die sich in der Atommasse unterscheiden, aber die gleichen Ordnungszahl besitzen. Isotope haben die gleichen chemischen Eigenschaften.)

Dieser Zerfall wird von einer Emission von Strahlung oder Teilchen (Alphateilchen, Beta- und Gammastrahlen) aus dem Atomkern begleitet. Manche Isotope („Mutterisotope")  zerfallen in einem Schritt zu einem stabilen Endprodukt, (beispielsweise Kohlenstoff-14); bei anderen vollzieht sich der Zerfall bis zur Bildung eines stabilen Isotops über mehrere Schritte, also über mehrere „Tochterisotope". Mehrstufige radioaktive Zerfallsreihen treten z. B. bei Uran 235, Uran 238 und Thorium  232 auf. **In einer bestimmten Zeit zerfällt ein bestimmter Teil des Mutterisotops.**

***Die Zeit,  in der die Hälfte der Ausgangsmenge zerfällt, wird Halbwertszeit genannt. Das können Mikrosekunden sein oder aber auch einige Milliarden Jahre. Zehn radioaktive Isotope besitzen Halbwertszeiten im Rahmen der  Erdgeschichte, sie kommen für die radiometrische Altersbestimmung von Gesteinen in Frage.***

Jedes radioaktive Element besitzt dabei seine eigene Halbwertszeit; die von Kohlenstoff-14 beträgt 5730 Jahre, die von Uran  238 4,5 Milliarden Jahre.

***Bei der radiometrischen Altersbestimmung wird das Mengenverhältnis Mutter-/Tochterisotop in einem Mineral festgestellt. Das Ergebnis  bedarf sorgfältiger geologischer Interpretationen, denn nur unter günstigen Bedingungen ist das radiometrische Alter der Mineralien gleich dem Alter der Gesteine. Dieses radiometrische Alter kann die primäre Bildung aus  einem Magma sein, aber auch eine spätere metamorphe Umwandlung oder eine Beeinflussung durch gebirgsbildende Vorgänge.***

**Kalium-Argon-Methode**

Mit dem Zerfall von radioaktivem Kalium-40 zu Argon-40 und Calcium-40 können Gesteine mit einem Alter von 200 bis 800 Millionen Jahren (mit Argon) bzw. von eins bis zwei Milliarden Jahren (mit Calcium) datiert  werden. Kalium-40 kommt weit verbreitet in häufigen gesteinsbildenden Mineralien wie  Glimmern, Feldspäten und Hornblenden vor. Problematisch ist das Entweichen von Argon, wenn das Gestein Temperaturen über 125 °C ausgesetzt war, denn dadurch wird das Messergebnis verfälscht.

**Rubidium-Strontium-Methode**

Mit dieser zuverlässigen Methode können die ältesten Gesteine datiert werden. Sie basiert auf dem  Zerfall von Rubidium-87 zu Strontium-87 und wird häufig auch dafür eingesetzt, um Kalium-Argon-Datierungen zu überprüfen, da sich  Strontium bei geringer Erwärmung nicht verflüchtigt, wie es beim Argon der Fall ist.

**Thorium-230**

Thorium-Methoden eignen sich zur Datierung von Meeressedimenten. Das Uran im Meerwasser  zerfällt zu Thorium-230, das sich in die Sedimente auf dem  Meeresgrund einlagert.

Thorium-230 ist ein Glied der Zerfallsreihe von Uran-238; es besitzt eine Halbwertszeit von 80000 Jahren. Protactinium-231, das von Uran-235 abgeleitet ist, hat eine Halbwertszeit von 34300 Jahren.

**Methoden mit Blei**

Das „Blei-Alpha-Alter“ wird bestimmt, indem man den Gesamtbleigehalt und die Alphateilchenaktivität (Uran-Thorium-Gehalt) von Zirkon-, Monazit- oder Xenotimkonzentraten spektrometrisch bestimmt. Die Uran-Blei-Methode basiert auf dem  radioaktiven Zerfall von Uran-238 in Blei-206 und von Uran-235 in Blei-207. Mit den  Zerfallsgeschwindigkeiten für Thorium-232 bis Blei-208 kann man drei voneinander unabhängige Altersangaben für die gleiche Probe erhalten. Die  ermittelten Blei-206- und Blei-207-Verhältnisse können in das so genannte Blei-Blei-Alter umgewandelt werden. Die Methode wird am häufigsten für ***Proben aus dem Präkambrium*** benutzt. Als Nebenprodukt der Uran-Thorium-Blei-Altersbestimmung kann zusätzlich ein Uran-Uran-Alter, das aus dem Verhältnis Uran-235 zu Uran-238 abgeleitet wird, berechnet werden.