

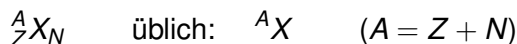
Altersbestimmung mit radioaktiven Isotopen

M. Peplonski

Physikalisches Proseminar, 2013

- 1 Radioaktivität
- 2 Zerfallsgesetz
- 3 Analyse und Isotopentrennung
- 4 Ausgewählte Methoden der Altersdatierung
- 5 Quellenangaben

- lediglich Kern relevant
- setzt sich aus Protonen (Z) und Neutronen (N) zusammen

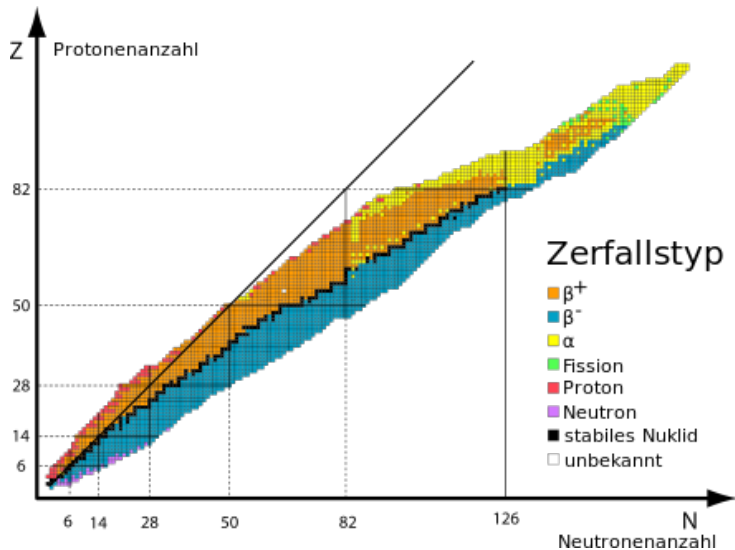


- Isotope: Atome mit gleicher Protonenzahl, aber unterschiedlicher Neutronenzahl

- neben stabile gibt es radioaktive Isotope
- meiste Isotope künstlich erzeugt
- wenige natürliche Isotope haben derart große Halbwertszeiten, dass sie im Laufe der Erdgeschichte noch nicht zerfallen sind:
 ^{40}K , ^{87}Rb , ^{147}Sm , ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U
- werden routinemäßig für radiometrische Altersdatierung herangezogen

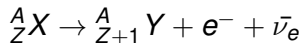
- Gesamtheit der Nuklide in Nuklidkarten verzeichnet
- x-y-Darstellung, wobei Anzahl der Neutronen auf der x-Achse und der Protonen auf der y-Achse sind
- enthält weitere Informationen: stabil oder instabil, ggf. Zerfallsart, Halbwertszeit, natürliches Vorkommen

Radioaktivität



Beta-Minus-Zerfall

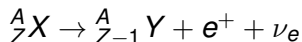
$$n \rightarrow p + e^{-} + \bar{\nu}_e$$



- hauptsächlich bei Neutronenüberschuss
- Elektron und Antineutrino verlassen Kern, da sie nicht der starken Wechselwirkung unterliegen

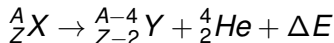
Beta-Plus-Zerfall

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$$



- Protonenüberschuss
- nah verwandte Zerfallsart des Elektroneneinfangs

Alpha-Zerfall



-
- letztes stabiles Isotop: ${}^{209}_{83}\text{Bi}$
 - ab dieser Grenze nur sehr kurzlebige Isotope
 - lediglich ${}^{232}\text{Th}$, ${}^{235}\text{U}$ und ${}^{238}\text{U}$ sind noch nicht vollständig zerfallen
 - Weg von Mutterisotop zum stabilen Tochterisotop bildet ganze Zerfallsreihen

A	Reihe	Mutterkern	$T_{1/2}$
4n	Thorium	^{232}Th	$1,4 \cdot 10^{10} a$
4n + 1	Neptunium	^{237}Np	$2,14 \cdot 10^6 a$
4n + 2	Uranium	^{238}U	$4,47 \cdot 10^9 a$
4n + 3	Aktinium	^{235}U	$7,04 \cdot 10^8 a$

Tabelle: Natürliche Zerfallsreihen

Formel zur Bestimmung des Alters:

$$t = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \left(\frac{D^*}{N} + 1 \right)$$

t : Zeit seit Beginn des Zerfalls

λ : Zerfallskonstante

D^* : Menge des neu entstandenen Tochterisotops

N : Restmenge des Mutterisotops

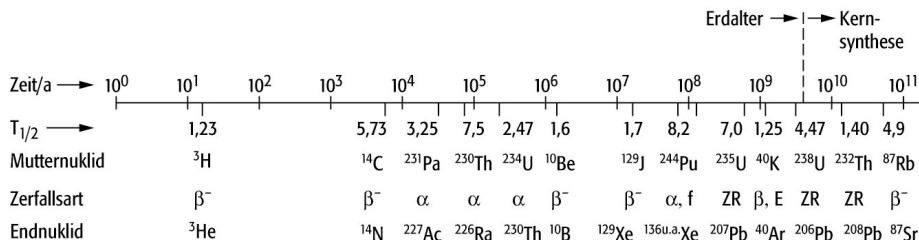
Wesentliche Voraussetzungen:

- zum Zeitpunkt $t = 0$ galt $D^* = 0$
- isotopisches System muss geschlossenes System darstellen (keine Abfuhr/Zufuhr von Material von N oder D^*)
- Zerfallskonstante muss möglichst genau bekannt sein
- N und D^* müssen möglichst genau bestimmt werden

- Gesteinsprobe wird im Säureaufschluss, meist Flusssäure, gelöst
- Trennung der Elemente erfolgt in chromatographischen Säulen
- Lösung wird eingedampft und die ausgewählte Probe somit auf ein Filament aufgebracht

- Probe wird durch das Filament stark erhitzt und dadurch ionisiert
- Ionen werden in einem Hochspannungsfeld beschleunigt und fokussiert
- Ionenstrahl gelangt in ein Trennrohr mit einem Magneten (Magnetfeldlinien senkrecht zur Flugbahn der Ionen)
- verschiedene Kollektorbecher registrieren ankommende Ionen

Ausgewählte Methoden der Altersdatierung

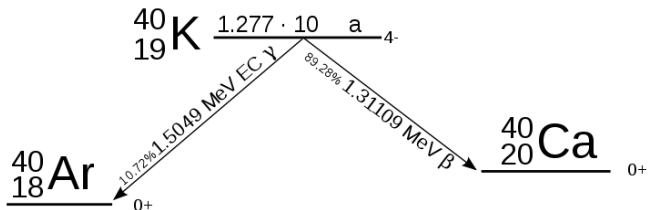


1. K-Ar-Methode (200 - 800 Ma)

- 1935 entdeckte der Physiker Nier das natürliche auftreten von ⁴⁰K
- 1948 erbrachte er den Nachweis, dass geologisch alte Minerale ⁴⁰Ar enthalten

Ausgewählte Methoden der Altersdatierung

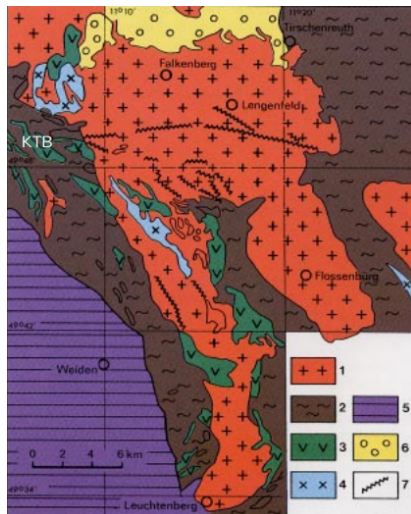
^{39}Ca 859.6 MS ϵ : 100.00%	^{40}Ca $>3.0\text{E}+21$ Y 96.94% 2ϵ	^{41}Ca $1.02\text{E}+5$ Y ϵ : 100.00%	^{42}Ca STABLE 0.647%	^{43}Ca STABLE 0.135%	^{44}Ca STABLE 2.09%
^{38}K 7.636 M ϵ : 100.00%	^{39}K STABLE 93.2581%	^{40}K $1.248\text{E}+9$ Y 0.0117% β^- : 89.28% ϵ : 10.72%	^{41}K STABLE 6.7302%	^{42}K 12.321 H β^- : 100.00%	^{43}K 22.3 H β^- : 100.00%
^{37}Ar 34.95 D ϵ : 100.00%	^{38}Ar STABLE 0.0632%	^{39}Ar 269 Y β^- : 100.00%	^{40}Ar STABLE 99.6003%	^{41}Ar 109.61 M β^- : 100.00%	^{42}Ar 32.9 Y β^- : 100.00%



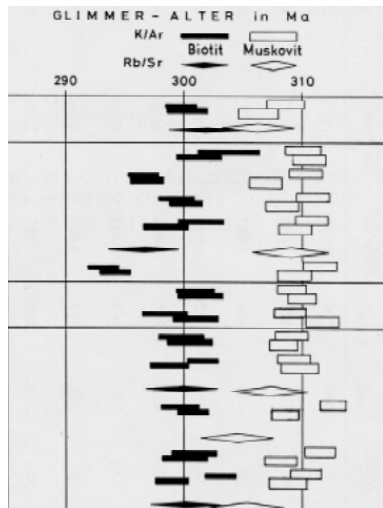
- Voraussetzung, dass kein Ar zu $t = 0$ vorhanden ist, erfüllt
- entgast wie alle Edelgase ab gewisser Temperatur aus einem geologischen System
- "Radiometrische Uhr" wird unterhalb der Schließungstemperatur sozusagen auf 0 gestellt

Ausgewählte Methoden der Altersdatierung

Beispiel - Falkenberger Granit:



Ausgewählte Methoden der Altersdatierung



- Proben unterschiedlicher Lokalitäten
- Muskovit und Biotit wurden als reine Konzentrate abgetrennt und analysiert
- K-Ar-Methode war bis Mitte 80er Jahre gängigste Datierungsmethode

2. Ar-Ar-Methode

- Weiterentwicklung der K-Ar-Methode
- ^{40}K wird durch Neutronenbestrahlung in einem Kernreaktor in ^{39}Ar überführt
- ^{39}Ar und ^{40}Ar können in einem Massenspektrometer durch einen einzigen Messvorgang parallel analysiert werden

Durchaus größerer Vorteil: Stufenaufschluss

- Probe wird nach und nach stückweise verdampft
- kann anschließend auf inhomogene Ar-Verteilung überprüft werden (Erebttes Ar, Öffnung des Systems)
- wenn Ar-System vollkommen homogen und ungestört, ergibt sich für jede Aufheizstufe dasselbe Alter
- teurer und aufwändiger als K-Ar-Methode, aber genauer und Aussage über Zuverlässigkeit

3. Radiokarbonmethode (300 - 60.000 a)

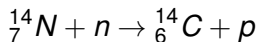
- 1946 vom Chemiker und Physiker Libby entwickelt

Kohlenstoffgehalt in der Luft:

$^{12}\text{C} :$	$^{13}\text{C} :$	$^{14}\text{C} :$
98,89 %	1,11 %	$10^{-10} \%$

- lediglich ^{14}C ist radioaktiv ($T_{1/2} = 5730\text{a}$)

- Verhältnis zwischen ^{12}C und ^{14}C bleibt konstant
- ständige Neubildung in oberer Schicht der Erdatmosphäre durch kosmische Strahlung



- bis zum Tod nehmen pflanzliche und tierische Zellen sowohl ^{12}C als auch ^{14}C auf

Ausgewählte Methoden der Altersdatierung

Beispiel 1 - Turiner Grabtuch:



- Leinentuch zeigt Vorder- und Rückseite eines Menschen
- wird von vielen Gläubigen als das Tuch verehrt, in dem Jesus begraben wurde
- Radiokarbonmethode ergab Erstehungszeitraum von 1260 bis 1390

Beispiel 2 - Ötzi:

- 1991 von Wanderer in den Ötztaler Alpen entdeckt
- erste Annahme, dass der Mann vor wenigen Jahren starb
- Radiokarbonmethode ergab ein Alter von ca. 5000 Jahren

4. Alter der Erde

- erstmals 1970 wurde ein zuverlässiges Alter auf Basis radiometrischer Datierung von Meteoriten ermittelt
- Meteoriten sind bis auf wenige Ausnahmen Bruchstücke aus unserem Sonnensystem
- erlebten kaum Differentiationsereignisse
- zahlreiche Meteoriten wurden mit Sm-Nd-Methode untersucht und ergaben im Durchschnitt ein Alter von 4,55 bis 4,60 Milliarden Jahren

- M.A. GEYH (1980): Einführung in die Methoden der physikalischen und chemischen Altersbestimmung
- <http://www.dmg-home.de/pdf/Radioakt.pdf>
- <http://www.wissenschaft-online.de/abo/lexikon/physik/409>
- <http://www.bio.vobs.at/evolution/e04-alter.htm>
- M. PEPLONSKI: Mitschrift zur Vorlesung Prof. Schnack zum Thema "Kernphysik". Wintersemester 2012/2013. Universität Bielefeld

Bilderverzeichnis:

- Nuklidkarte (S. 6):
<http://de.wikipedia.org/wiki/Nuklidkarte>
- Zeitstrahl (S. 15): <http://www.wissenschaft-online.de/abo/lexikon/physik/409>
- Kalium, Nuklidkarte (S. 16):
http://en.wikipedia.org/wiki/Table_of_nuclides
- ^{40}K , Zerfallsschema (S. 16):
<http://de.wikipedia.org/wiki/Kalium>
- Erzkarte Falkenberg (S. 18), Mineralanalyse (S. 19): I. WENDT, H. KREUZER, P. MÜLLER, H. SCHMID (1986): Gesamtgesteins- und Mineraldatierungen des Falkenberger Granits
- Turiner Grabtuch (S.24): <http://wegwahrheitleben.wordpress.com/category/valtorta-selbstzeugnis/>