



Forschungsstelle Archäometrie

der Heidelberger Akademie der Wissenschaften
am Max-Planck-Institut für Kernphysik



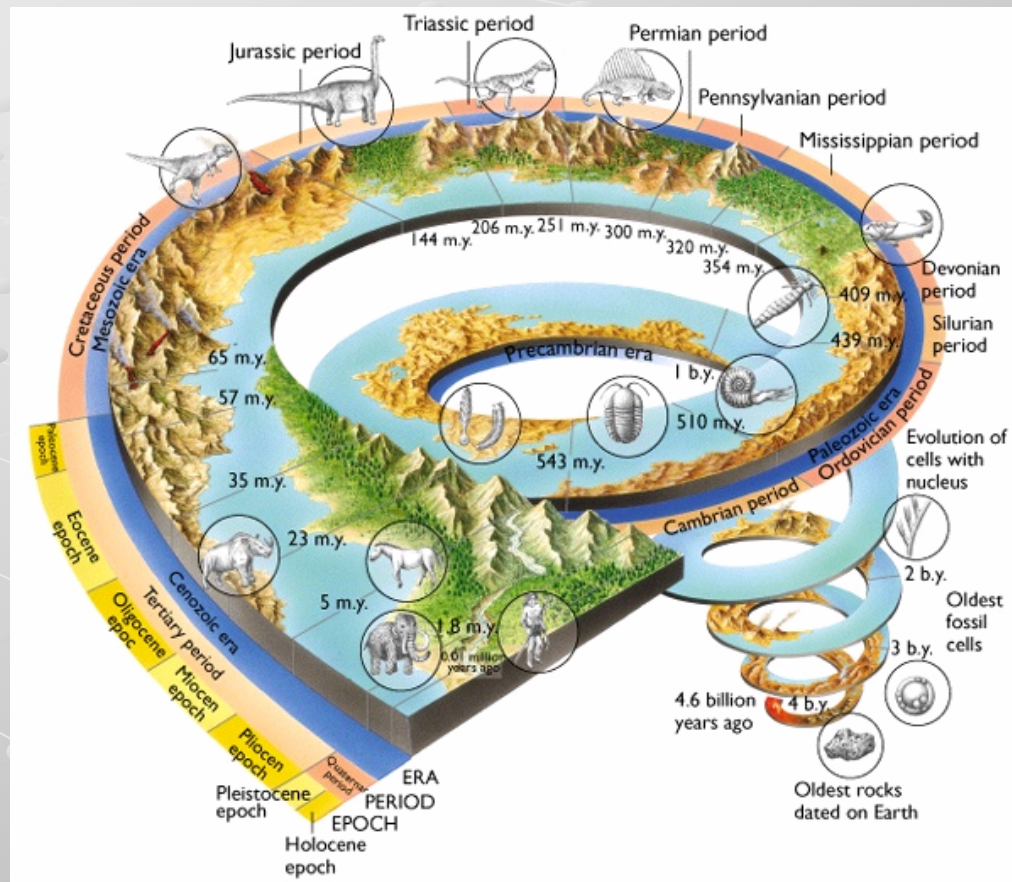
Physik am Samstagmorgen · 19. November 2005

Radioaktivität

Ein unbestechlicher Zeitzeuge

Christiane Rhodius

Archäochronometrie – Warum und wie datieren wir?



- Ereignisse innerhalb der menschlichen Kulturentwicklung und -geschichte in Zeit und Raum in Beziehung setzen

- Radioaktiver Zerfall als natürlicher Zeitmesser



Physik als Wegbereiter zur naturwissenschaftlichen Datierung

- 1896 Entdeckung der „Uran-Strahlung“ durch H. Becquerel

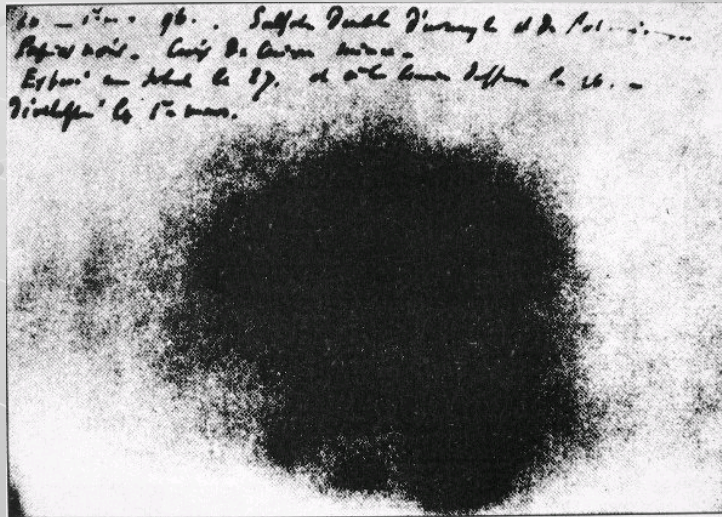
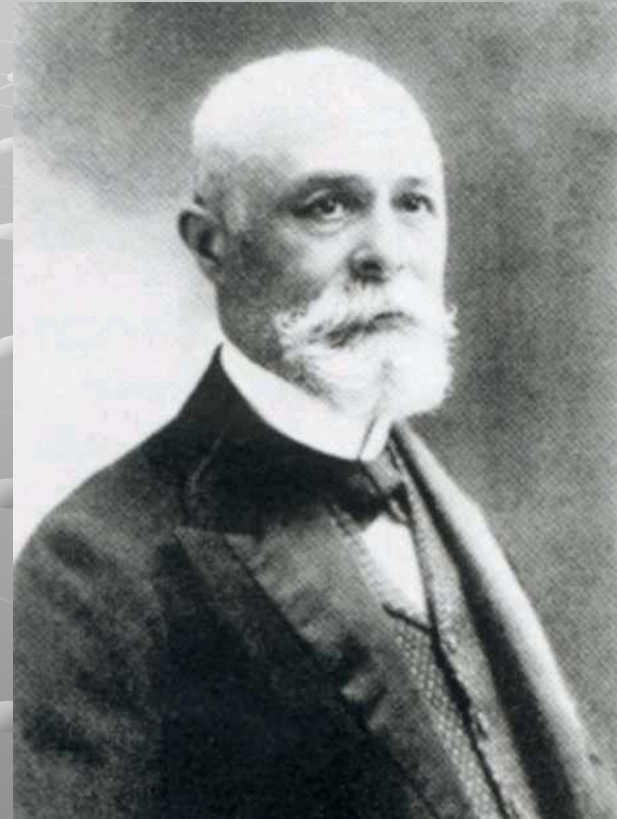
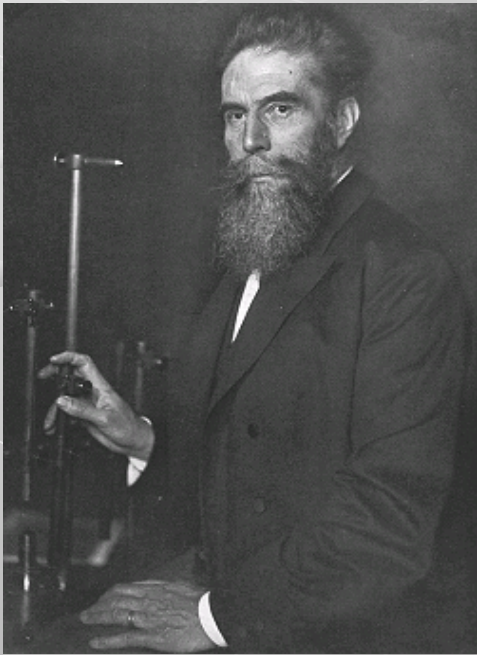


Abb. 2.1.1
Abbildung der Fotoplatte von A. H. Becquerel, geschwärzt durch die von einem Uran-Mineral ausgehende Strahlung, 1. März 1896 (Radiogramm)



Physik als Wegbereiter zur naturwissenschaftlichen Datierung

- 1895 Entdeckung der X-Strahlung durch C. Röntgen

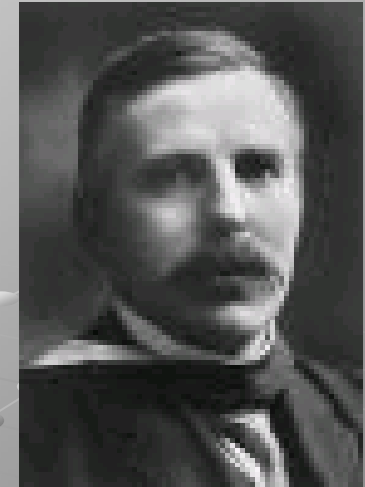


Physik als Wegbereiter zur naturwissenschaftlichen Datierung

- 1898 Begriff Radioaktivität durch M. Curie geprägt



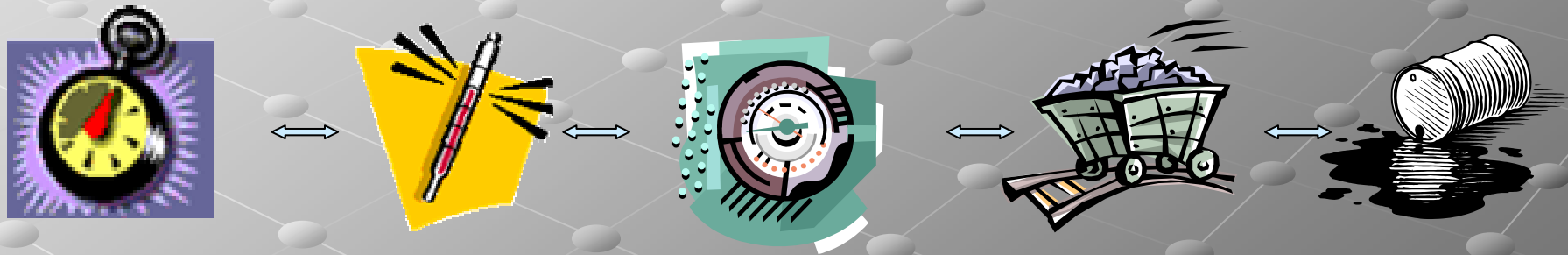
Physik als Wegbereiter zur naturwissenschaftlichen Datierung



- 1895 Entdeckung der X-Strahlung durch C. Röntgen
 - 1896 Entdeckung der „Uran-Strahlung“ durch H. Becquerel
 - 1898 Begriff Radioaktivität durch M. Curie geprägt
- ⇒ Meilensteine in der Entwicklung naturwissenschaftlicher Datierungsmethoden, die das Verständnis vom Alter unseres Sonnensystems, der Erde und nicht zuletzt des Menschen im 20. Jh. nachhaltig geprägt haben
- Die Konzeption der radiometrischen Altersbestimmung geht auf E. Rutherford zurück
 - Entwicklung zahlreicher Datierungsmethoden auf Grundlage der Radioaktivität, z.B. 1947 ^{14}C -Methode

Was ist Radioaktivität?

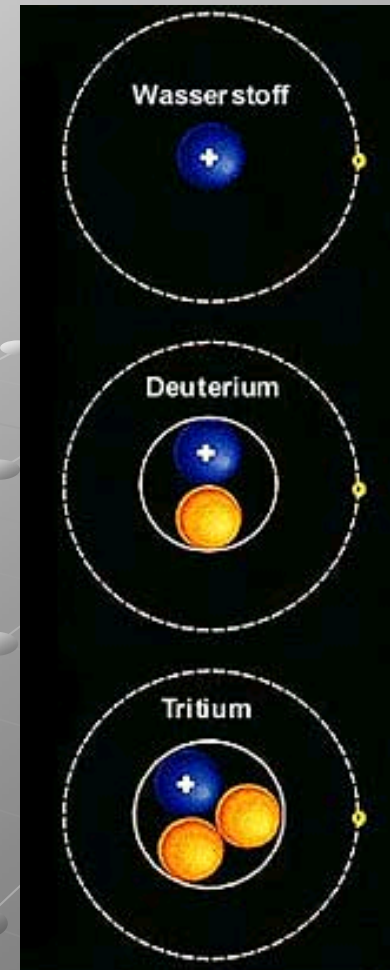
- Natürliche Radioaktivität ist die spontane Kernumwandlung einer Kernart (Mutter N) in diejenige (Tochter T) eines anderen Elements ($N \rightarrow T$) unter Emission von Strahlung und/oder Teilchen
z.B. $^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N} + \text{Elektron}$
- Der radioaktive Zerfall ist zeitabhängig und kann von äußeren Einflüssen (Druck, Temperatur) oder chemischer Bindung nicht beeinträchtigt werden



Was ist Radioaktivität?

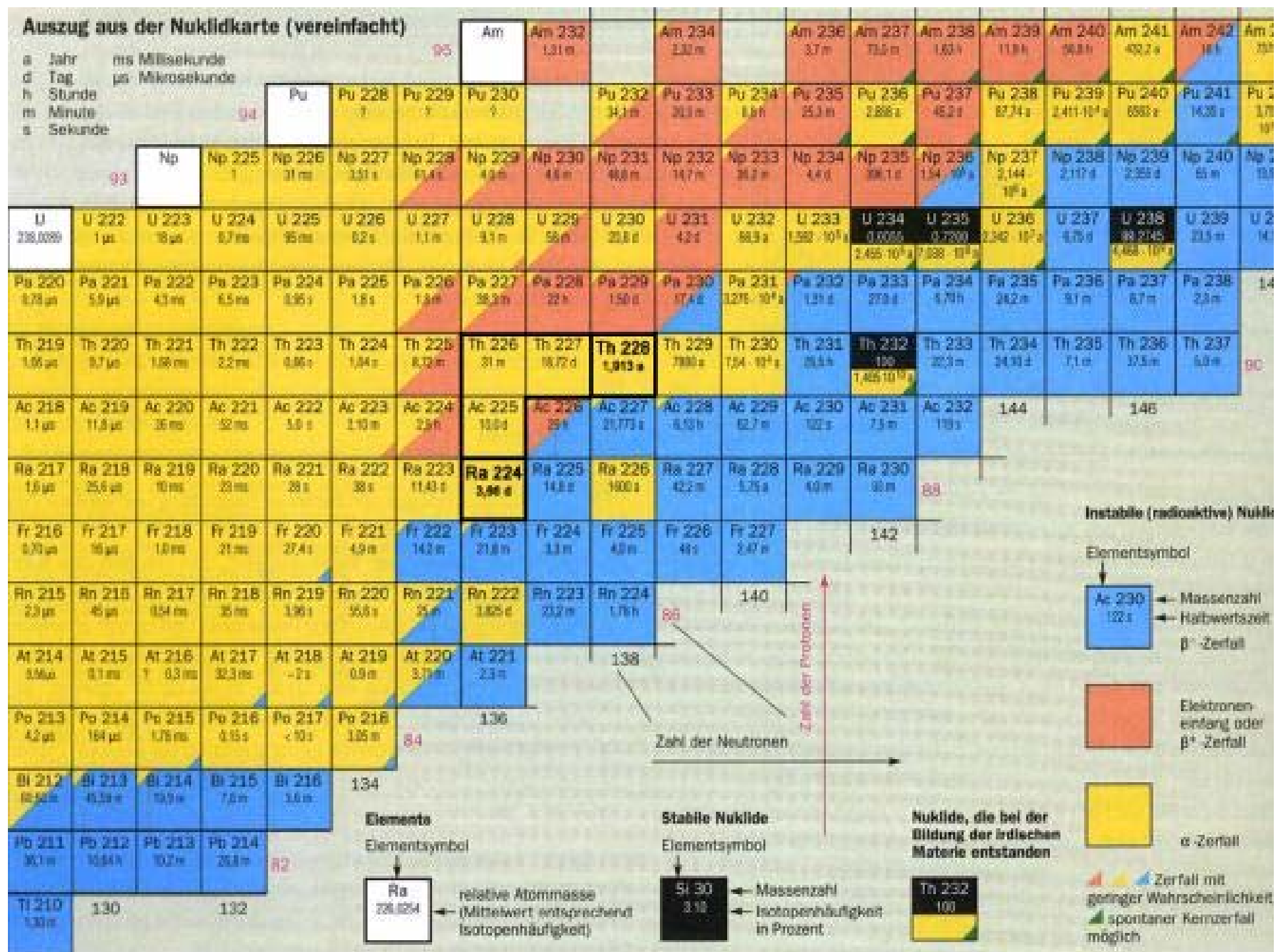
- Ein Element setzt sich aus verschiedenen Atomsorten, den Isotopen zusammen.
- Isotope sind Nuklide (Kernarten) mit definierter Anzahl von Nukleonen (gleiche Protonenanzahl, unterschiedliche Anzahl Neutronen). Instabile Nuklide sind radioaktiv.
z.B. ^1H (1 Proton = 1 Nukleon)
 ^2H bzw. D (1 Proton + 1 Neutronen = 2 Nukleonen)
 ^3H bzw. T (1 Proton + 2 Neutronen = 3 Nukleonen)

Anteil ^1H = 99,985 %, ^2H = 0,0145 %, ^3H = 10^{-16} %



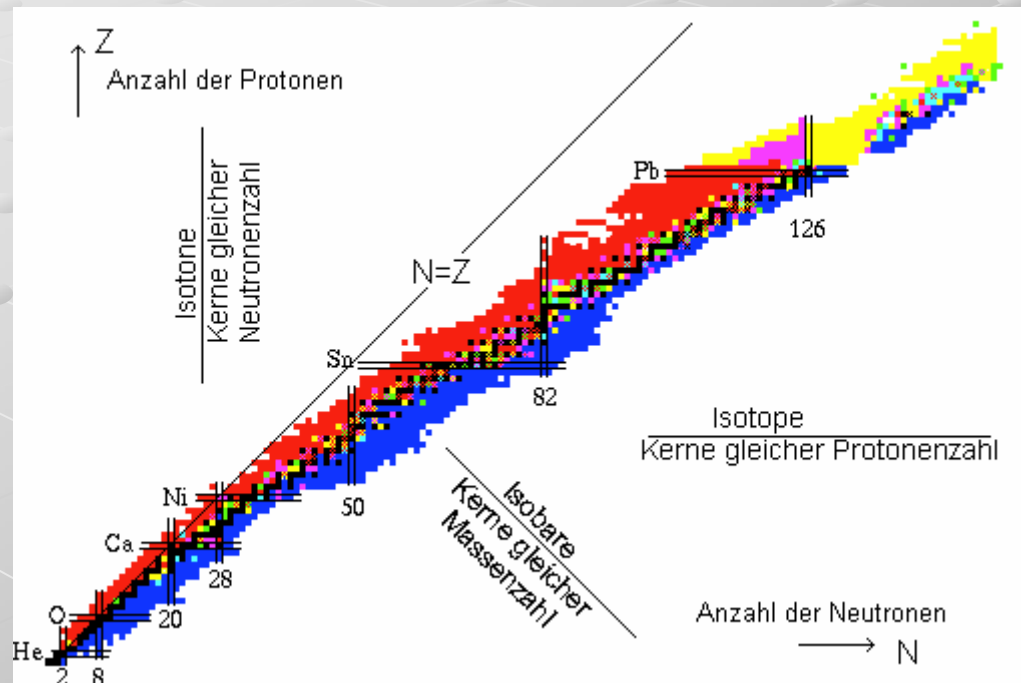
Auszug aus der Nuklidkarte (vereinfacht)

a Jahr
ms Millisekunde
d Tag
µs Mikrosekunde
h Stunde
m Minute
s Sekunde



Nuklidkarte

- vergleichende Darstellung aller bekannten Atomkerne
- über 2500 Nuklide, wovon lediglich ca. 260 stabil sind
- Kerne mit Neutronen- oder Protonenüberschuß zerfallen, sie sind radioaktiv



Stabiles Nuklid	C 12	← Elementsymbol und Nukleonenzahl
	98,89	← Isotopenhäufigkeit in Atomprozent
β ⁻ Zerfall (Negatronen)	Sr 90	← Elementsymbol und Nukleonenzahl
	28,5a	← Halbwertszeit
	β 0,5	← maximale β-Energie in MeV
	γ -	← γ - keine
β ⁺ Zerfall (Positronen)	Sm 142	← Elementsymbol und Nukleonenzahl
	72,4m	← Halbwertszeit
Elektroneneinfang	ε	← Elektroneneinfang
	β ⁺ 1,0	← maximale β ⁺ -Energie in MeV
α - Zerfall	Am 241	← Elementsymbol und Nukleonenzahl
	433a	← Halbwertszeit
	α 5,4	← α -Energie in MeV
	γ ⁺ 60	← γ-Energie in keV
Spontaner Zerfall	Fm 244	← Elementsymbol und Nukleonenzahl
	3,3ms	← Halbwertszeit
	sf	← Spontane Spaltung (fission)
Kern zeigt verschiedene Zerfälle mit gleicher Häufigkeit	Bi 212	← Elementsymbol und Nukleonenzahl
	60,5m	← Halbwertszeit
	α 6,05	← α -Energie in MeV
	β 2,03	← β -Energie in MeV
	γ 0,727	← γ-Energie in keV

Warum zerfallen Kerne?

- Kerne zerfallen, um in ein niedrigeres, stabileres Energiestadium überzugehen
- Dabei kommt es zur spontanen Emission von Teilchen bzw. von Strahlung:

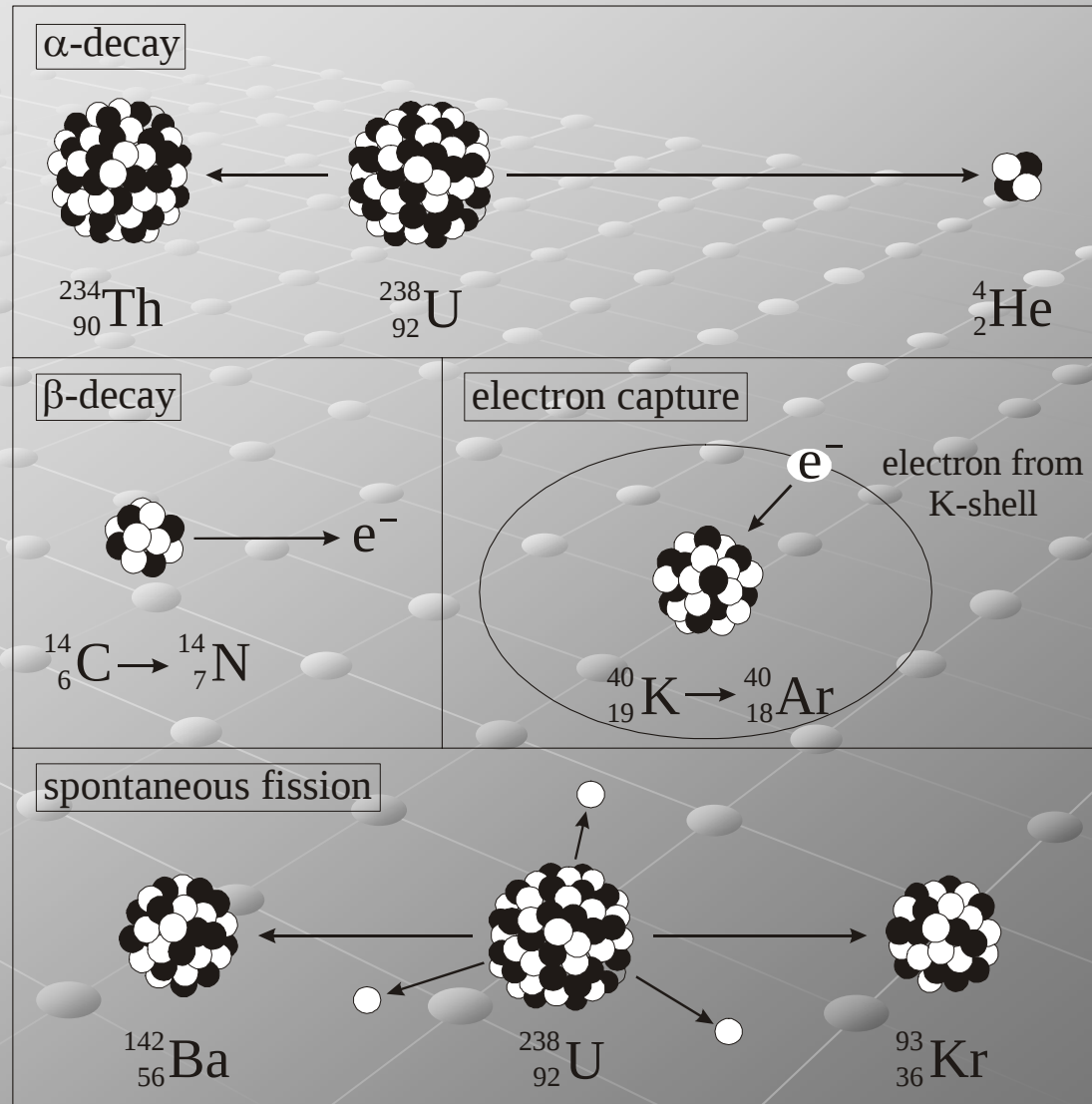
Aussendung von Kernteilchen $\Rightarrow$ α -Zerfall

Umwandlung von Kernteilchen $\Rightarrow$ β -Zerfall (β^+ , β^- und K-Einfang)

Zerbrechen des Kerns $\Rightarrow$ Spaltung

Umorientierung von Kernteilchen $\Rightarrow$ γ -Strahlung

Wie zerfallen Kerne?



Vom radioaktiven Zerfall zum Alter

- Das Zerfallsgesetz beschreibt die Gesetzmäßigkeit, mit der radioaktive Kerne zerfallen. Bei allen Zerfallsarten wandelt sich der instabile, radioaktive Mutterkern N in die stabilen, radiogenen Tochternuklide T um.
- Die Zerfallsgeschwindigkeit $dN/dt = -\lambda \times N$ eines Nuklids ist durch eine charakteristische Zerfallskonstante λ bzw. die Halbwertszeit $t_{1/2}$ ($t_{1/2} = 0,693/\lambda$) gekennzeichnet.
- Die Halbwertszeit ist die Zeit, in der die Zahl der zerfallenden Kerne jeweils auf die Hälfte reduziert ist. Sie ist für jedes Nuklid spezifisch.
- Die Altersgleichung kann aus dem Zerfallsgesetz abgeleitet werden :
 $t = 1/\lambda \times \ln (1 + T/N)$. Aus dem Mengenverhältnis der Tochter- zu den Mutternukliden T/N oder der noch vorhandenen zu den ursprünglichen Mutternukliden N/N_0 kann dann das Alter bestimmt werden.

Der radioaktive Zerfall

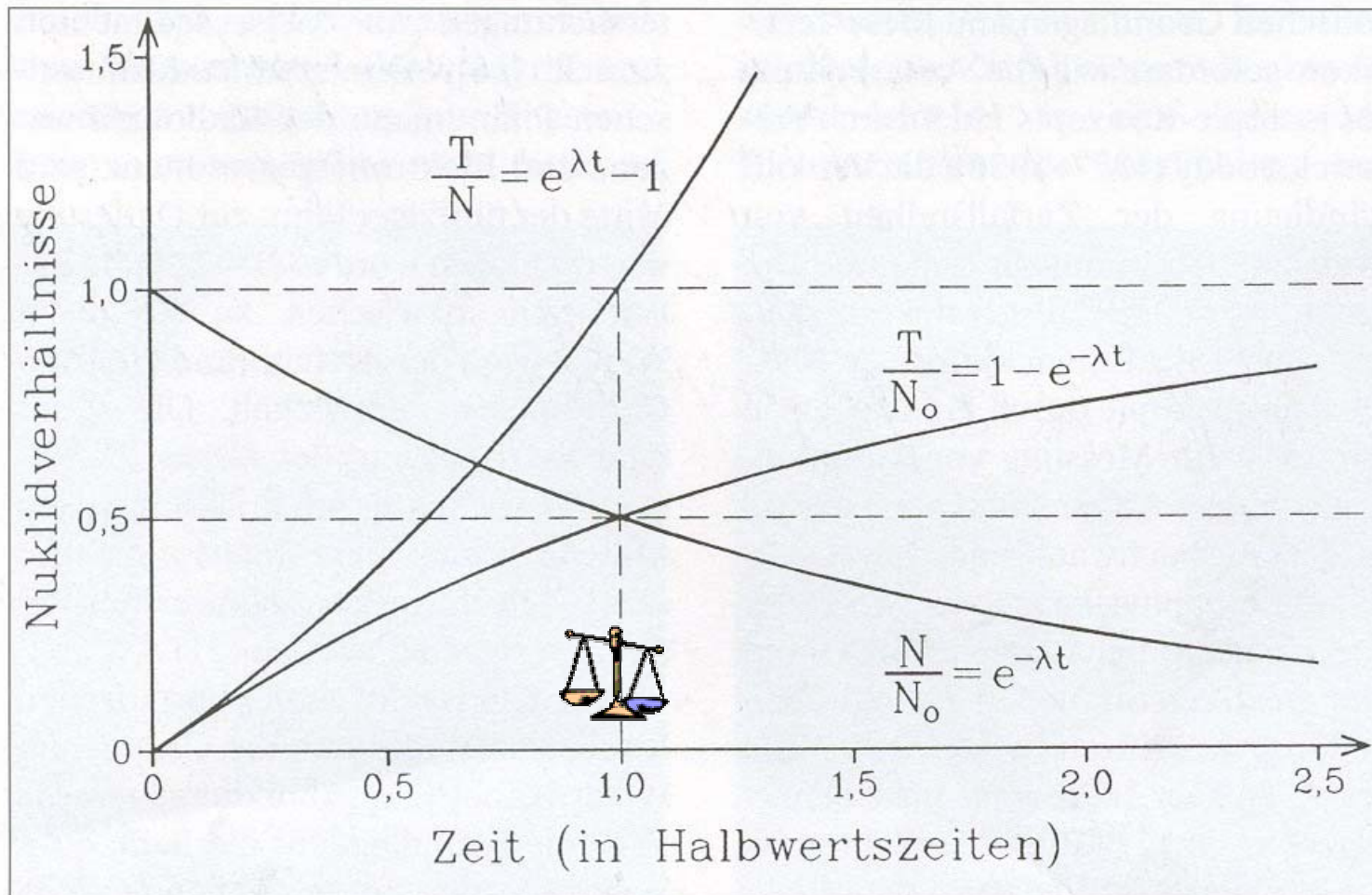


Abb. 7. Durch den radioaktiven Zerfall des Mutternuklids N (Ausgangsmenge N_0) in das Tochternuklid T verändern sich die entsprechenden Nuklidverhältnisse systematisch mit der Zeit t , so dass daraus bei Kenntnis der Zerfallskonstanten λ auf das Alter geschlossen werden kann.

Welche radiometrischen Datierungsmethoden gibt es?

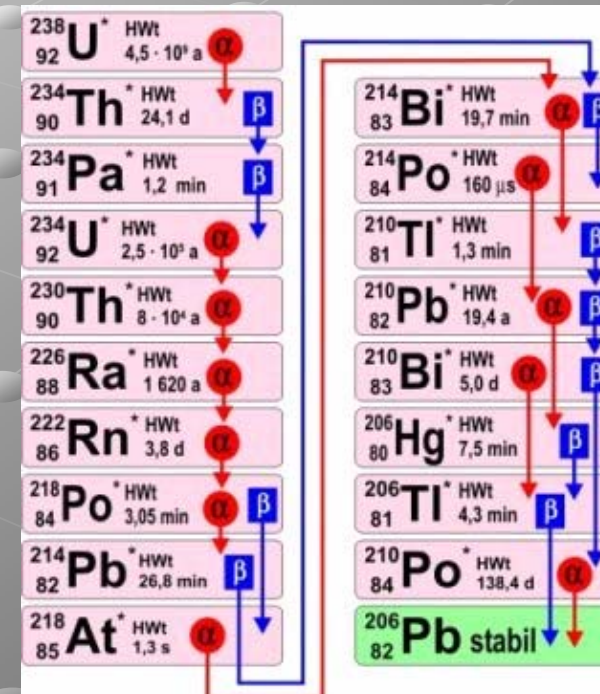
- Die Vielzahl der radioaktiven Nuklide erlaubt aufgrund des Spektrums ihrer Halbwertszeiten die Datierung nahezu aller Altersbereiche in Archäologie und Geologie
- Zur Datierung verwendeten Nuklide werden nach ihrer Entstehung in

a) Urnuklide

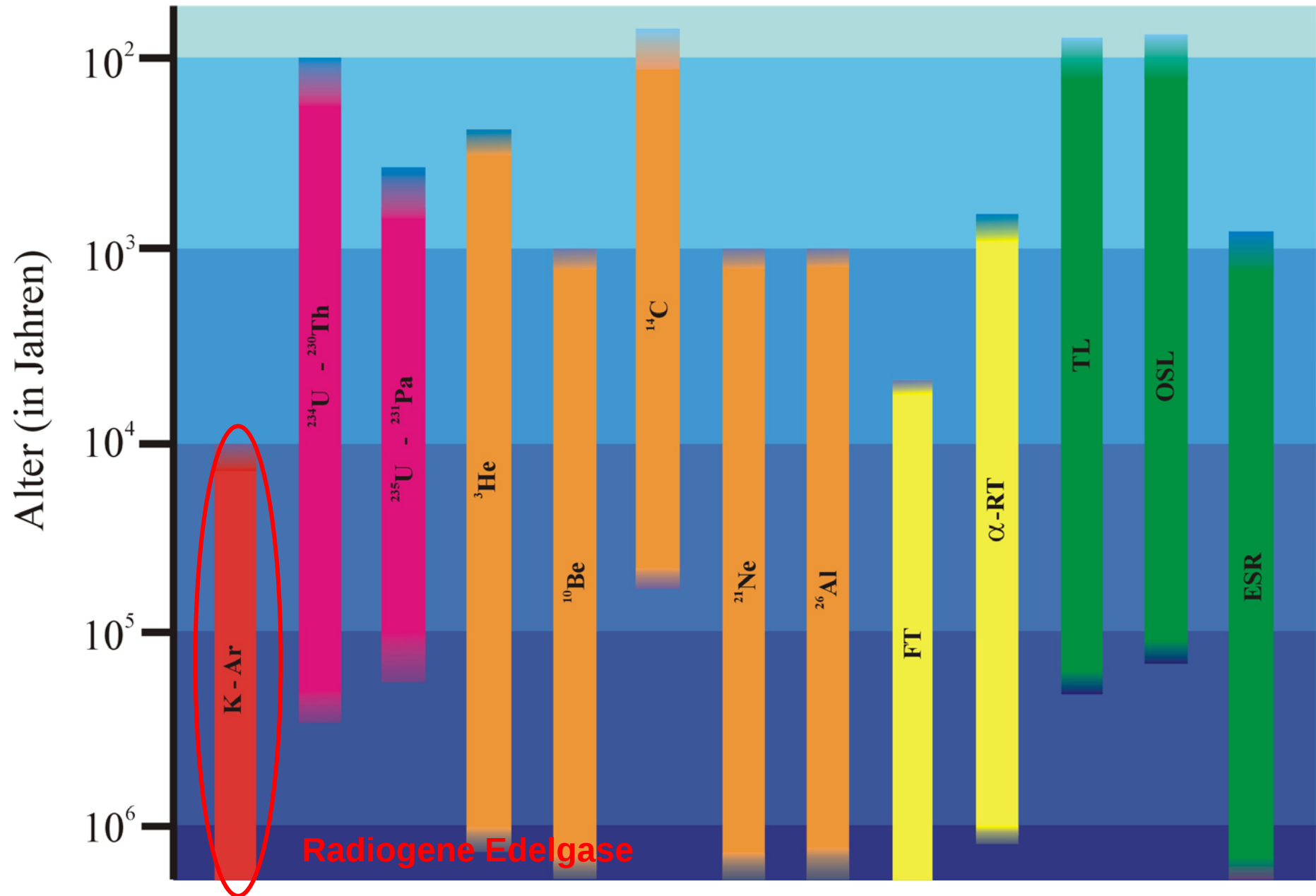
b) Kosmogene Nuklide und

c) Nuklide der Zerfallsreihen

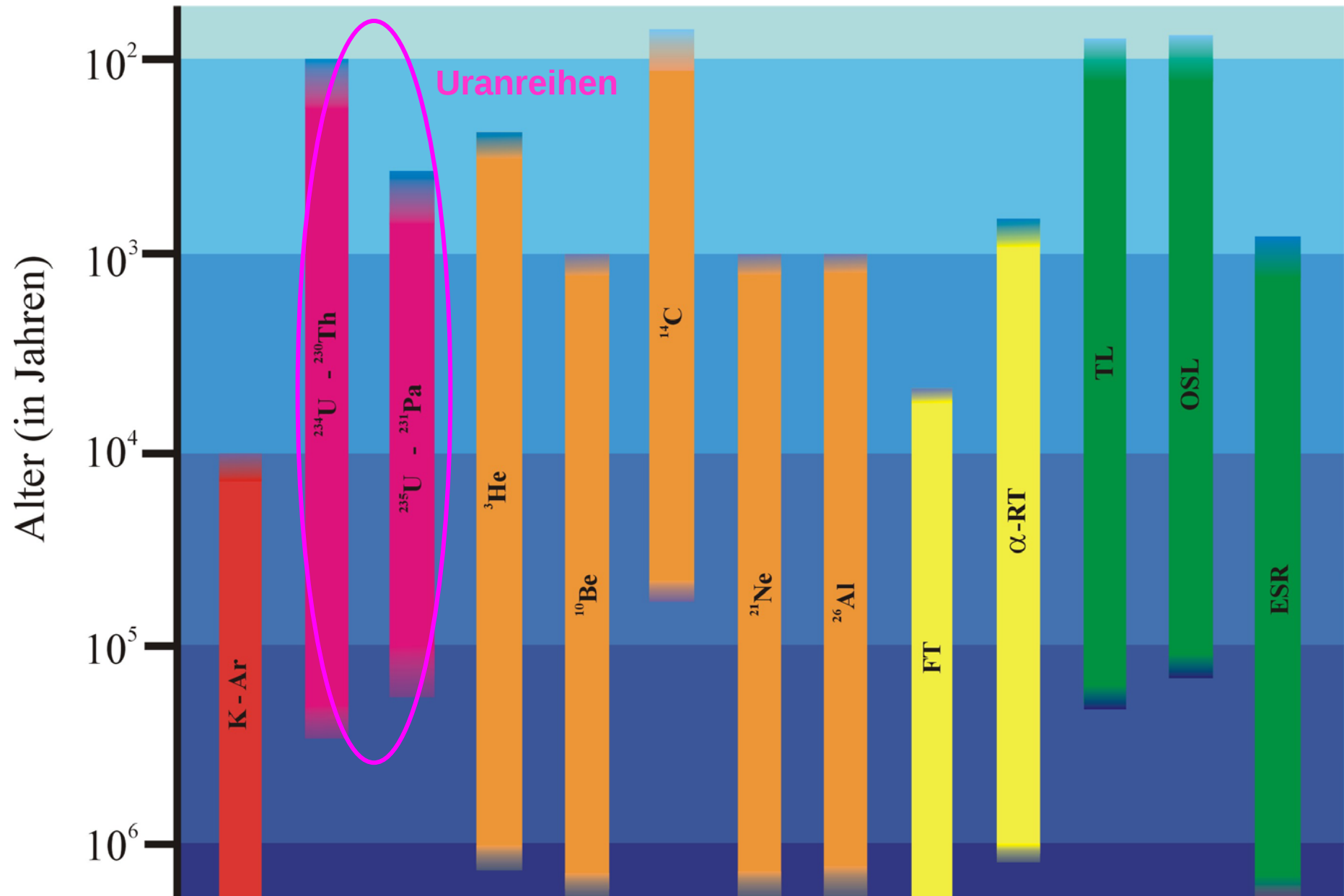
unterteilt.



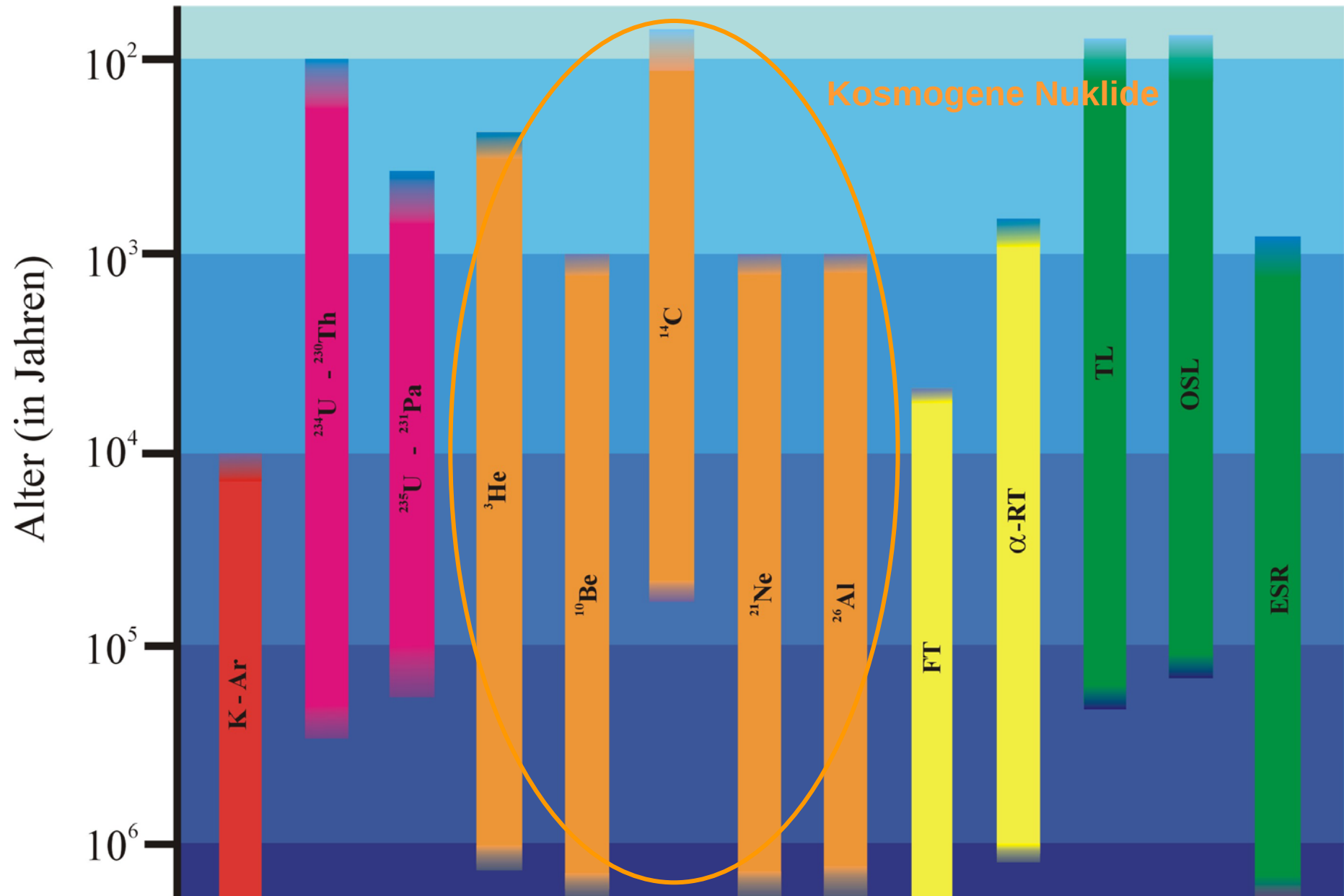
Radiometrische Datierungsmethoden für das Quartär



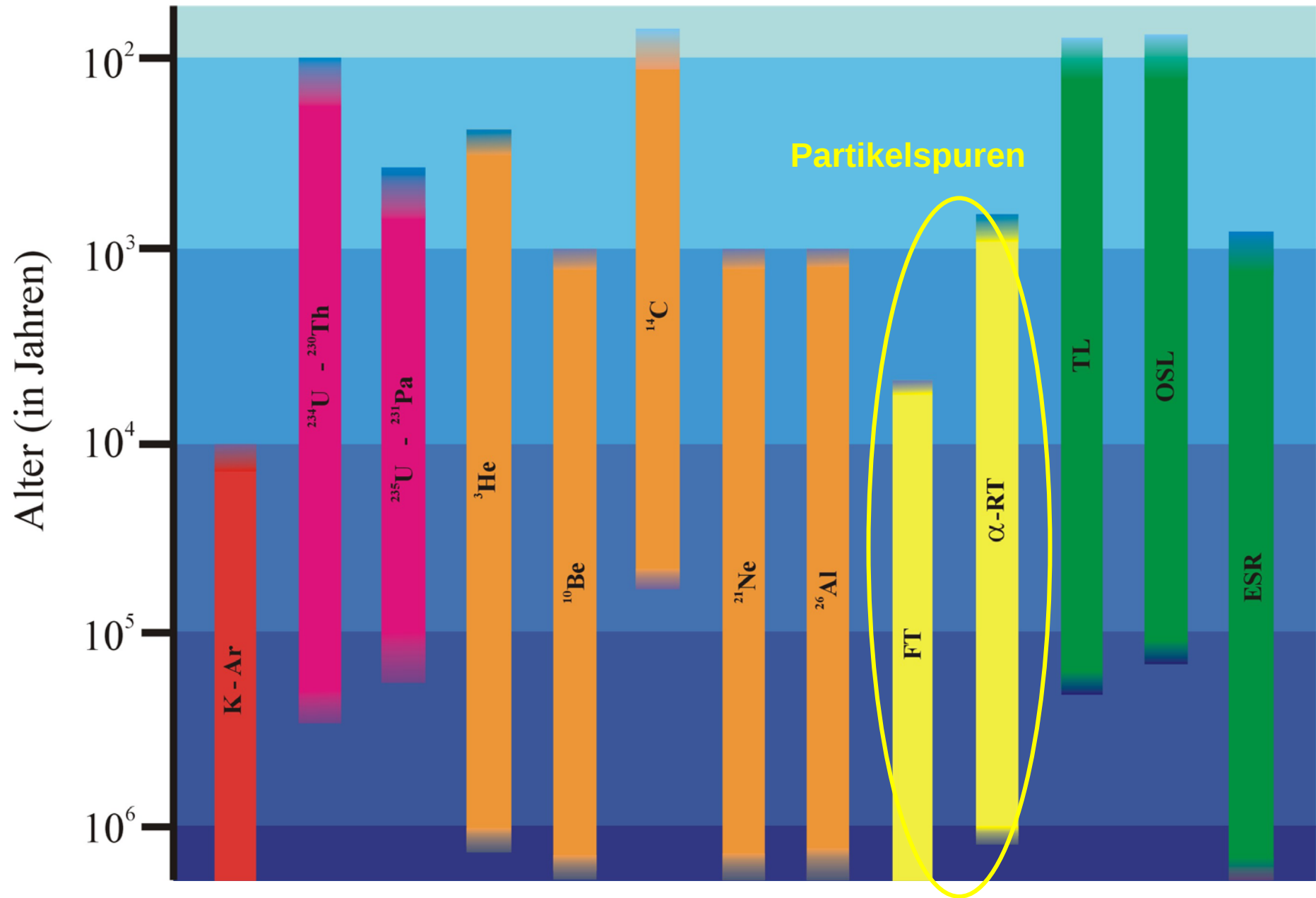
Radiometrische Datierungsmethoden für das Quartär



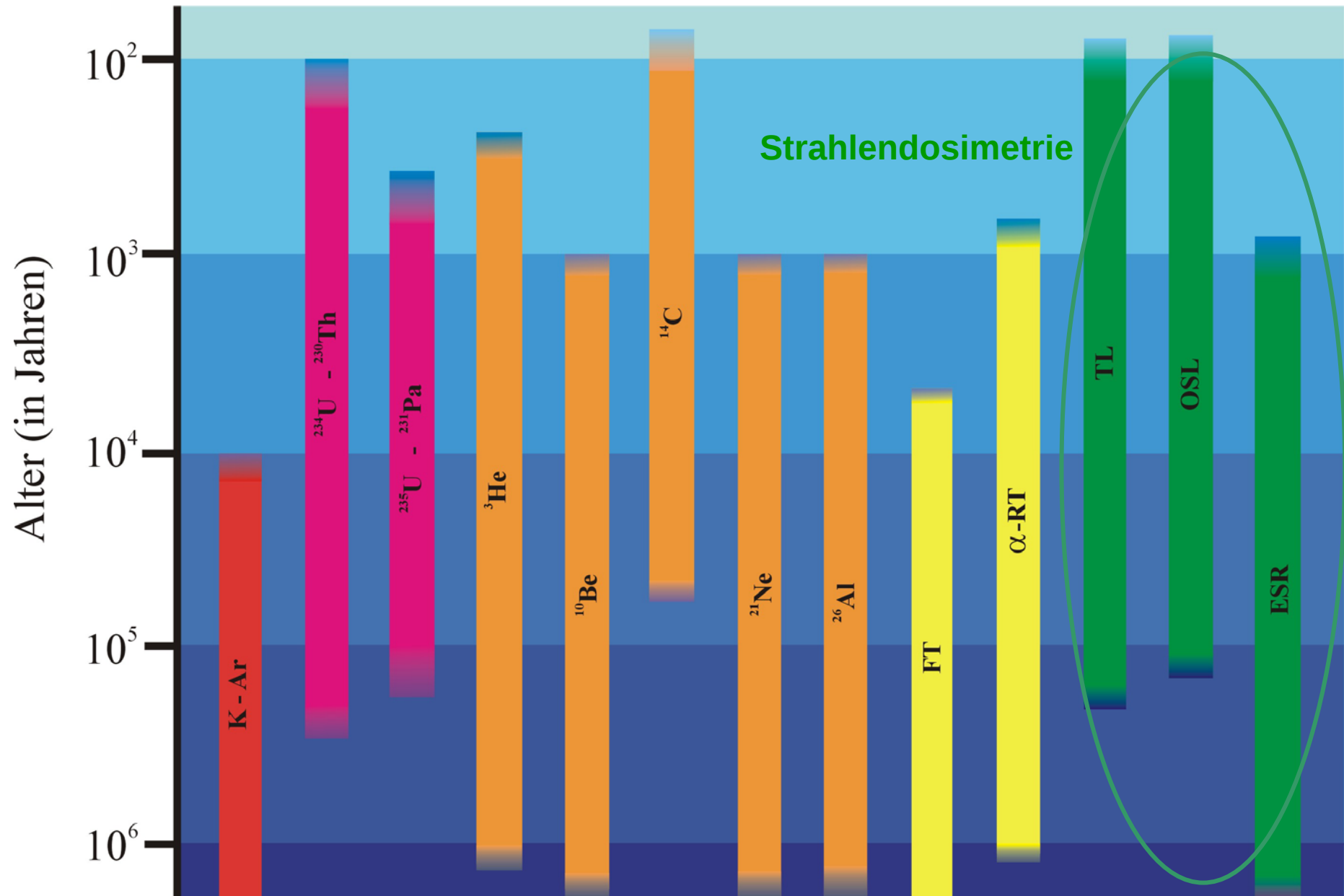
Radiometrische Datierungsmethoden für das Quartär



Radiometrische Datierungsmethoden für das Quartär



Radiometrische Datierungsmethoden für das Quartär



Welche Meßgrößen können ausgenutzt werden?

- Konzentrationsbestimmung der Isotope (Abnahme Mutternuklid $\leftrightarrow$ Zunahme Tochternuklid), d.h. der Grad des Erreichens des radioaktiven Gleichgewichts im System nach einer Störung kann ermittelt werden.
- Die natürliche Radioaktivität hinterläßt im Probenmaterial meßbare Strahlenschäden. Ihre Intensität ist ein Maß für die natürliche Strahlendosis, der die Probe seit seiner Bildung oder letzten Nullstellung des Systems ausgesetzt war.

- ⇒ Lumineszenzdatierung
- ⇒ Fission Track (Spaltspuren)

