

Zerfallsgesetze



... zeitliche Beschreibung radioaktiver Zerfälle

Der Zerfall radioaktiver Isotope kann durch die kernphysikalische Größe **Aktivität** beschrieben werden.

Die Aktivität gibt an, wie viele Kerne eines radioaktiven Stoffes in einer Zeiteinheit zerfallen.

Definition:

$$A = - \frac{dN}{dt}$$

$$[A] = 1 \text{ Bq (Becquerel)}$$

(Anzahl der Kernzerfälle je Sekunde)

Die Aktivität kann mit Hilfe eines Geiger-Müller-Zählers gemessen werden.

► *Zählrate*

Die ohne radioaktives Präparat gemessene Aktivität A_0 bezeichnet man als Nullrate

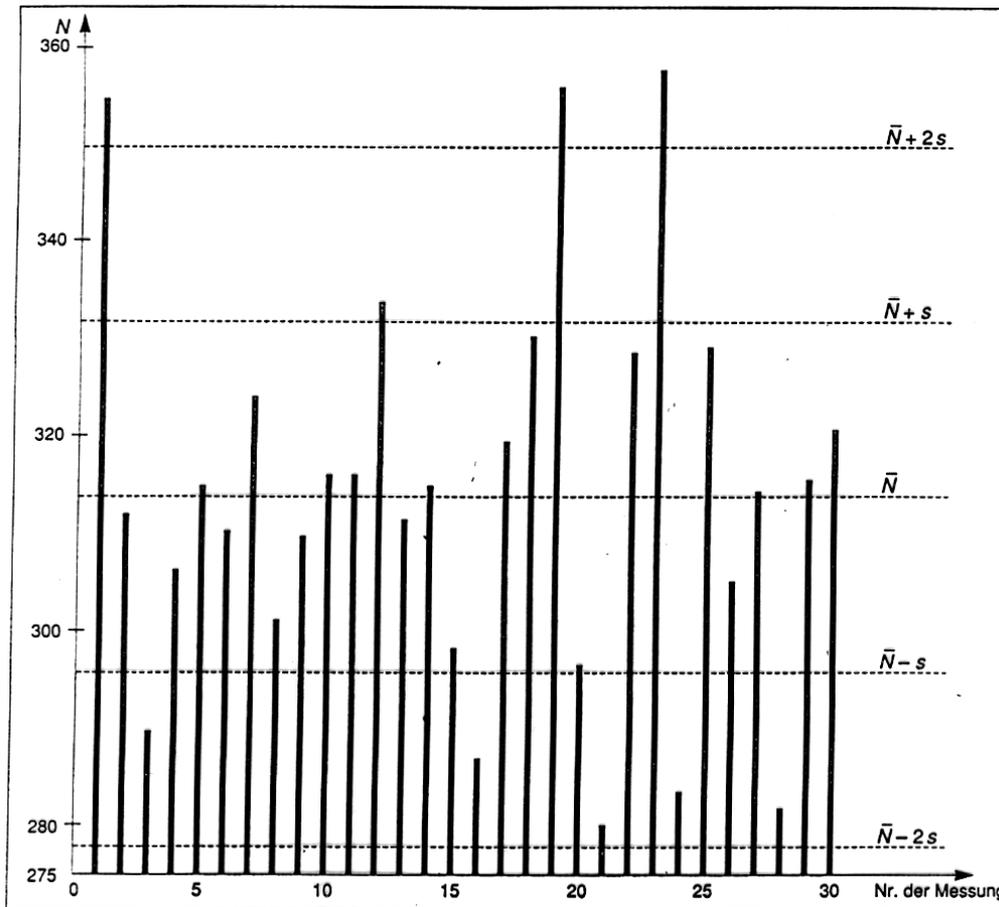
► natürliche Radioaktivität

Ursprung:

- radioaktive Isotope in Gesteinen und Baustoffen (z.B. Zerfall von Uran)
- Atmosphäre (Radon, C-14, H-3)
- kosmische Strahlung

Messung der Kernzerfälle je Zeiteinheit an einem radioaktiven Präparat:

→ *unterschiedliche Aktivitäten*



Der Zerfall radioaktiver Kerne eines Präparates kann nur mit Hilfe **statistischer Gesetze** beschrieben werden.

- keine exakte Aussage, welcher Kern eines Präparats zerfällt,
- keine exakte Aussage, wann ein bestimmter Kern zerfällt

→ Wahrscheinlichkeit eines Zerfalls

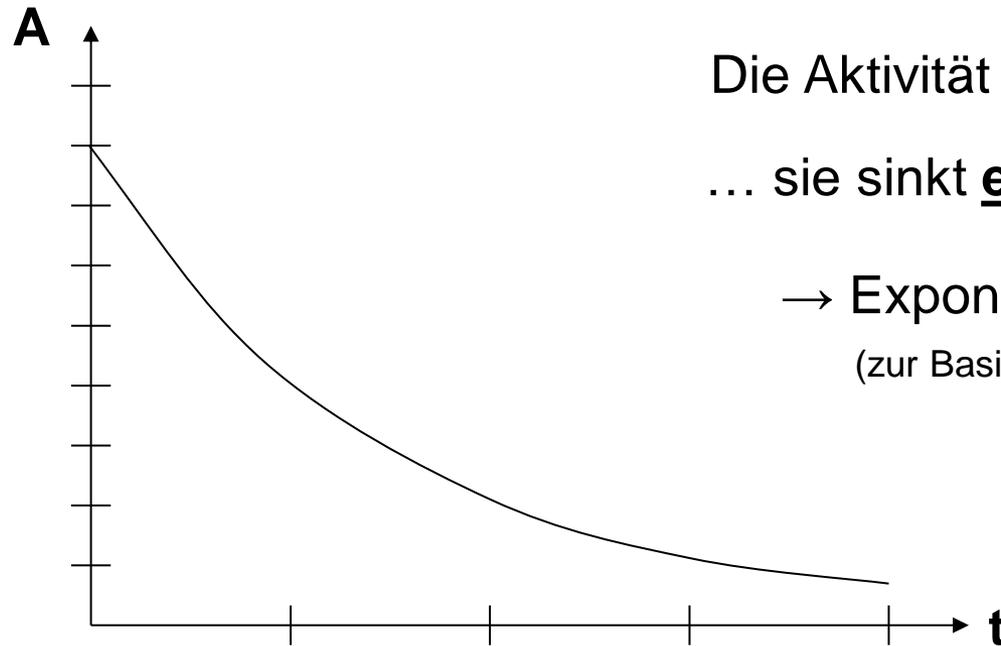
→ Mittelwert der Aktivität

aber: Die Anzahl der radioaktiven Isotope einer Probe nimmt mit der Zeit ab, d.h. die Aktivität müsste mit zunehmender Zeit sinken.



zeitlicher Verlauf des Zerfalls radioaktiver Atomkerne:

experimentelle Auswertung



Die Aktivität A nimmt mit der Zeit ab.

... sie sinkt **exponentiell** mit der Zeit

→ Exponentialfunktion

(zur Basis e)

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

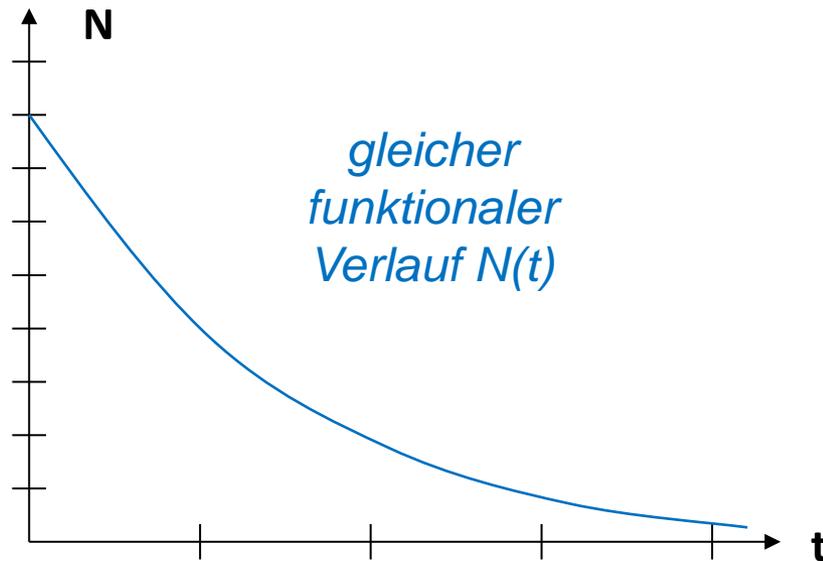
Die Schnelligkeit des Zerfalls wird durch die **Zerfallskonstante** λ beschrieben.

Einheit: $[\lambda] = 1/\text{s} = \text{s}^{-1}$

Die Zerfallskonstante λ ist eine kernspezifische Größe.

Zerfallsgesetz:

Die Anzahl N der radioaktiven Kerne ändert sich gleichermaßen wie die Aktivität des Präparates, d.h. es gilt: $N \sim A$.



Es gilt:
$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

N_0 ... Anzahl der radioaktiven Kerne zu Untersuchungsbeginn

$N(t)$... Anzahl der noch nicht zerfallenen Atomkerne nach der Zeit t

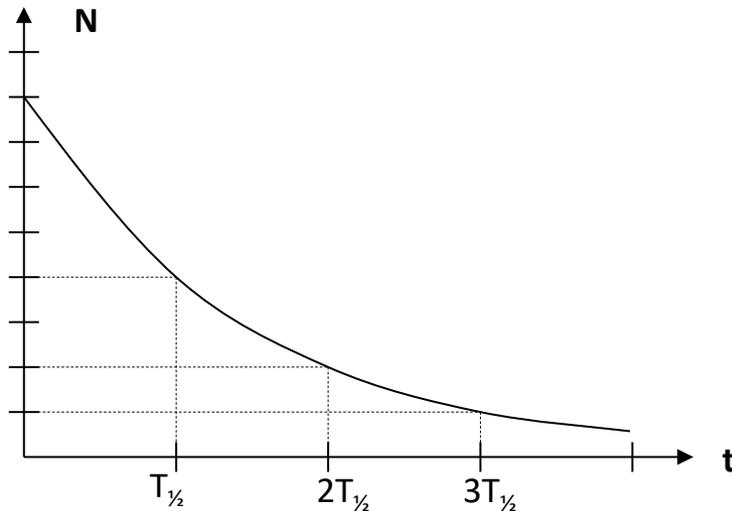
► **Zerfallsgesetz**

Bei stofflichen Untersuchungen werden oft auch die Massen m der radioaktiven Kerne betrachtet.

Da die Masse proportional zur Anzahl der Kerne ist, gilt auch:

$$m(t) = m_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

Exponentialfunktion !?



In jeweils gleichen Zeitintervallen zerfallen jeweils die gleichen Anteile an radioaktiven Kernen.

Die Zeit, in der genau die Hälfte der Kerne zerfallen ist, nennt man die **Halbwertszeit** $T_{1/2}$.

Der radioaktive Zerfall kann auch mit Hilfe der Halbwertszeit $T_{1/2}$ beschrieben werden.

Für λ und $T_{1/2}$ gilt der Zusammenhang:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Damit ergibt sich für die Anzahl N der Kerne bei einem radioaktiven Zerfall:

$$N(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

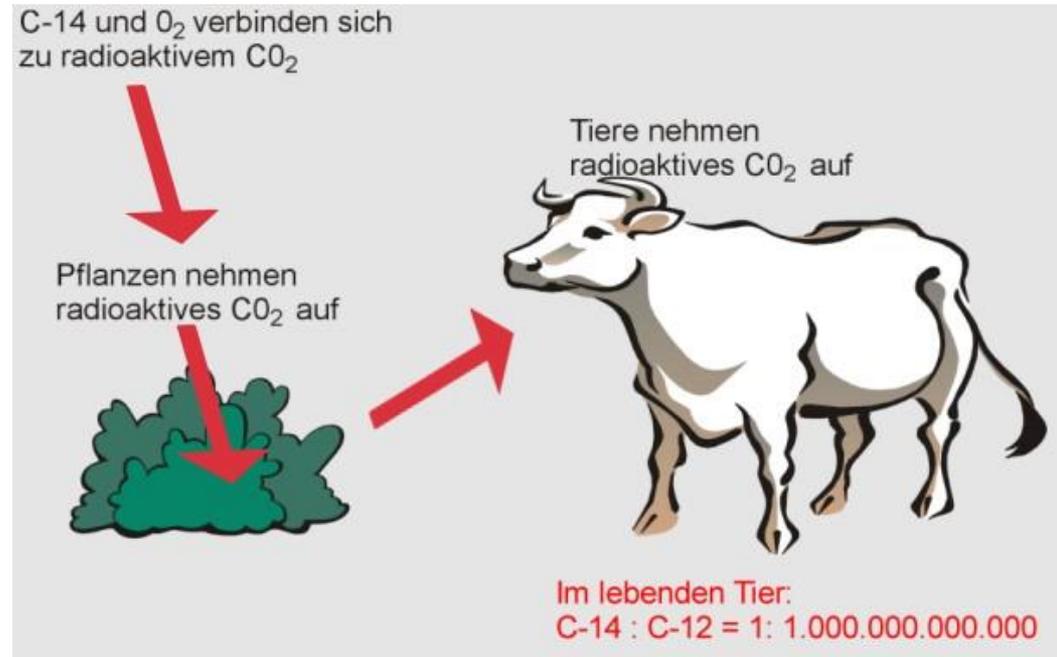
Natürliche Zerfallsreihen:

Bezeichnung	Ausgangs- nuklid	Endnuklid	mittlere Halbwertszeit
Uran-Radium-Reihe	U-238	Pb-206	$4,51 \cdot 10^9$ Jahre
Thorium - Reihe	Th-232	Pb-208	$1,4 \cdot 10^{10}$ Jahre
Uran-Actinium-Reihe	U-235	Pb-207	$7,13 \cdot 10^8$ Jahre
Neptunium-Reihe	Pu-241	Bi-209	$2,14 \cdot 10^6$ Jahre

Die Neptunium-Reihe ist ausgestorben !

Altersbestimmungen:

C-14 Methode (Radiocarbonmethode)



- Lebende Organismen (Pflanzen/Tiere) nehmen das im CO₂ gebundene radioaktive Isotop C-14 Isotop.
 - Das Verhältnis C-14/C-12 bleibt dabei konstant.
 - Stirbt das Lebewesen, nimmt der C-14 Anteil nach dem Zerfallsgesetz ab.
- C-14 Methode ist nur zur Altersbestimmung organischer Substanzen geeignet.

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 sehr genauen und 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.

Methoden mit Thorium 230

Thorium-Methoden eignen sich zur Datierung von Meeressedimenten. Das Uran im Meerwasser zerfällt in das Thoriumisotop Thorium 230 (Ionium), das sich in die Sedimente auf dem Meeresgrund einlagert. Thorium 230 ist ein Glied der Zerfallsreihe von Uran 238; es besitzt eine Halbwertszeit von 80 000 Jahren. Protactinium 231, das von Uran 235 abgeleitet ist, hat eine Halbwertszeit von 34 300 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 sogenannte 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.