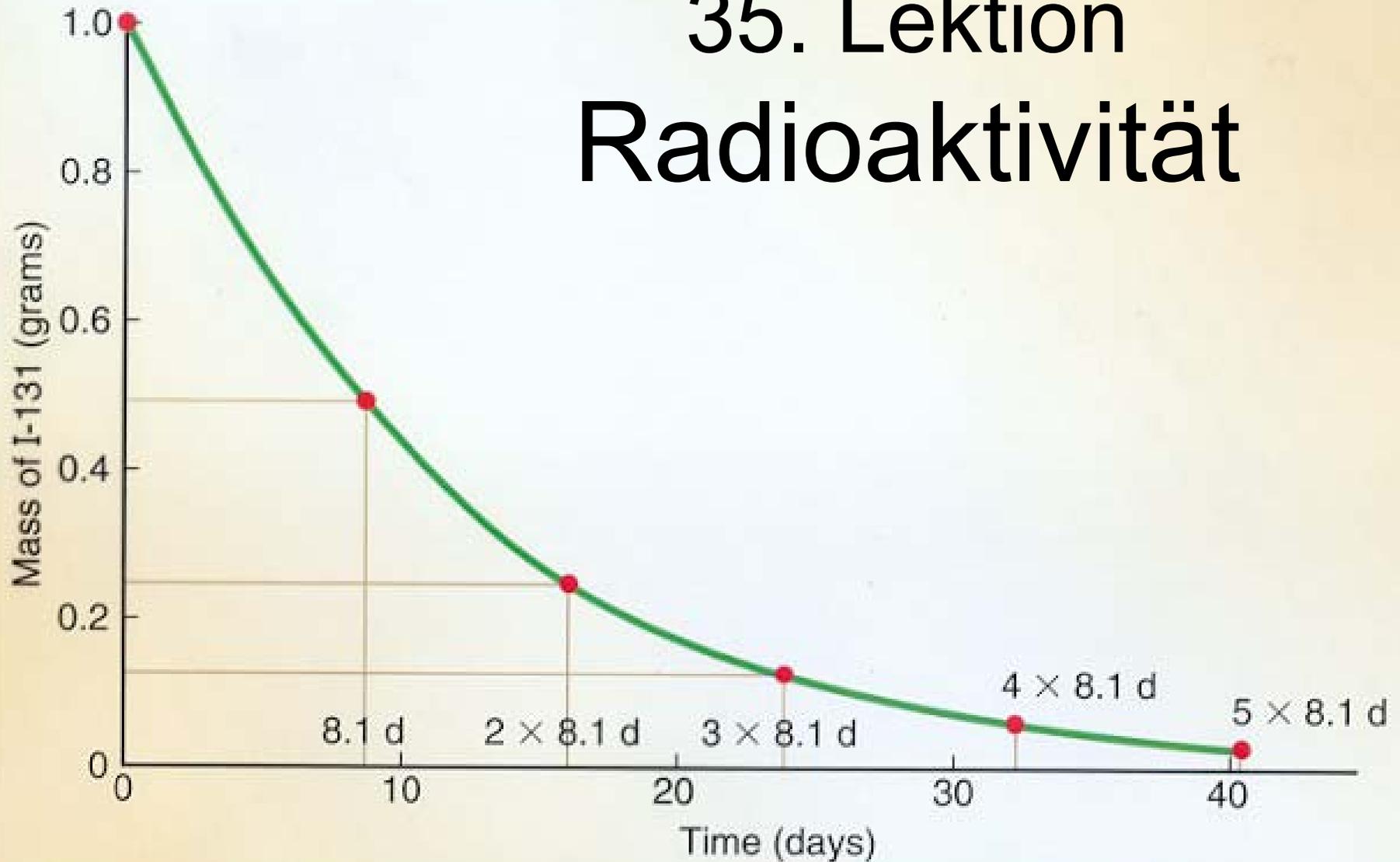


# 35. Lektion

## Radioaktivität



**Lernziel:**

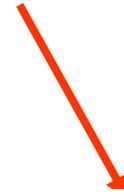
**Unstabile Kerne zerfallen unter  
Emission von  $\alpha$ ,  $\beta$ , oder  $\gamma$  – Strahlung**

# Begriffe

- Radioaktiver Zerfall
- Aktivität
- Natürliche Radioaktivität
- Künstliche Radioaktivität
- Zerfallsreihen

# Was heisst Radioaktivität?

Radio - aktivität



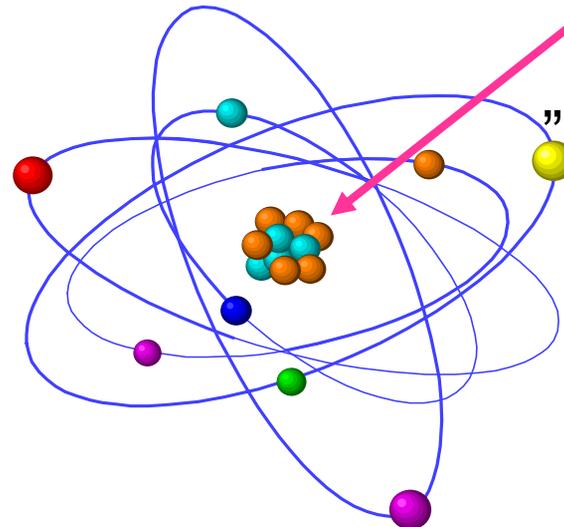
Element: Radium

Radium spielte große Rolle bei Entdeckung und Erforschung der Radioaktivität



Aktiv:  
Atomkern  
sendet

„Strahlung“ aus



# Emission von radioaktiver Strahlung

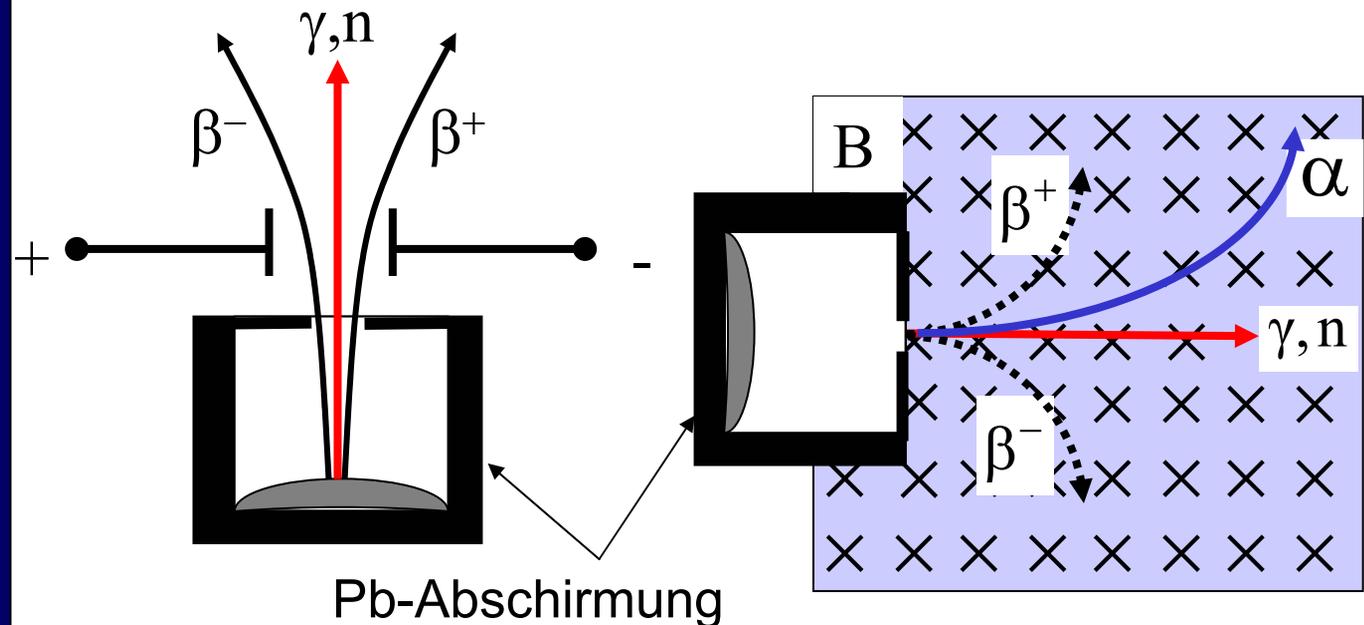
Bei radioaktiver Strahlung und bei Kernreaktionen werden die folgenden Teilchen emittiert:

- $\alpha$  - Teilchen = He - Kerne
- $\beta^-$  - Positronen = negativ geladene Elektronen
- $\beta^+$  - Positronen = positiv geladene Elektronen
- $\gamma$  - hochenergetische elektromagnetische Wellen
- n – Neutronen (nur bei Kernspaltung)
- p – Protonen (nur bei künstlicher Kernreaktion)

# Unter- scheidung der Teilchenart

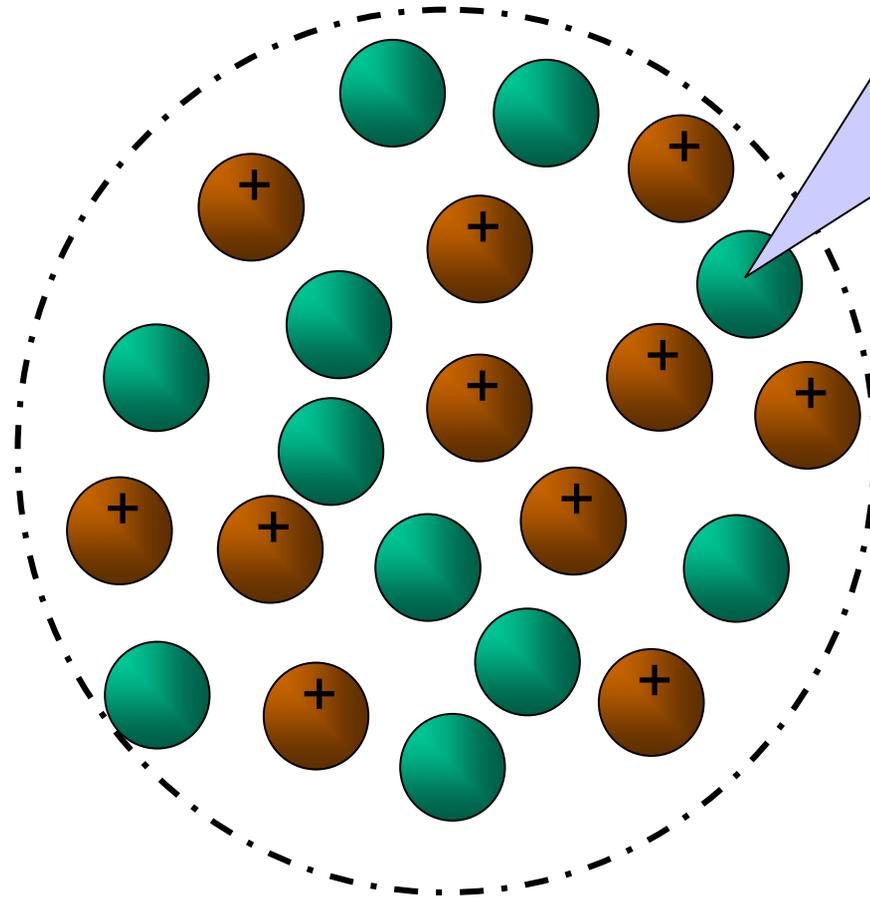
Die Teilchenart kann durch die Ablenkung in elektrischen und magnetischen Felder bestimmt werden:

- $\alpha$  und  $\beta$  – Teilchen werden in elektrischen und magnetischen Feldern abgelenkt
- $\gamma$  – Strahlen und Neutronen werden nicht abgelenkt.



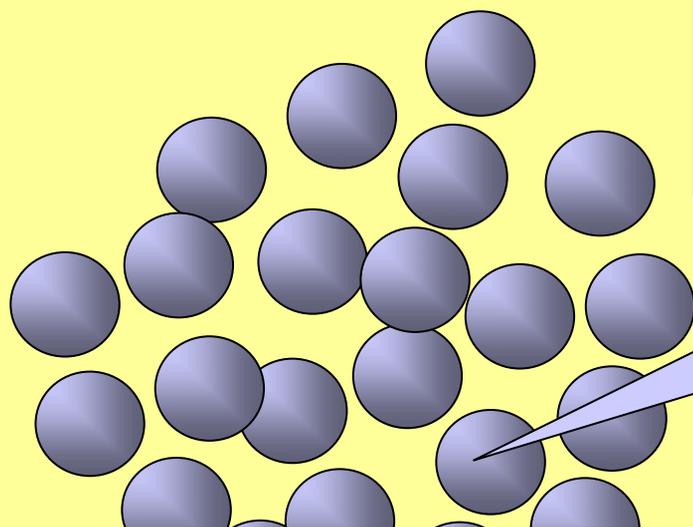
# Anschauliche Darstellung von Radioaktivität

Beta-Zerfall: Neutron  $\rightarrow$  Proton

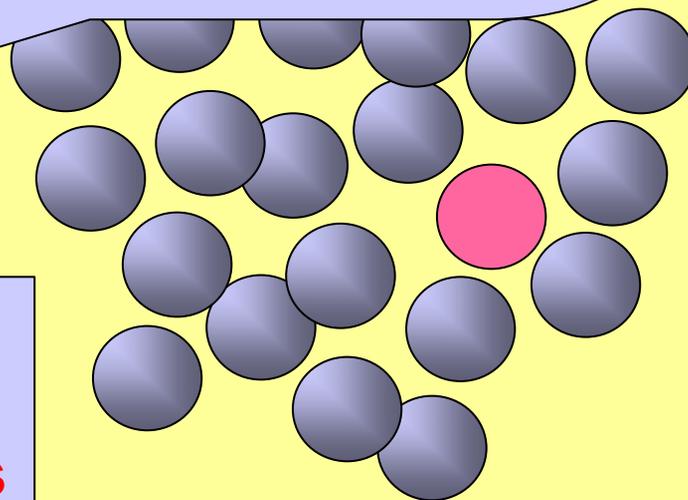


Man weiß  
nie, wann  
dieses  
Neutron  
zerfällt

# Radioaktiver Zerfall



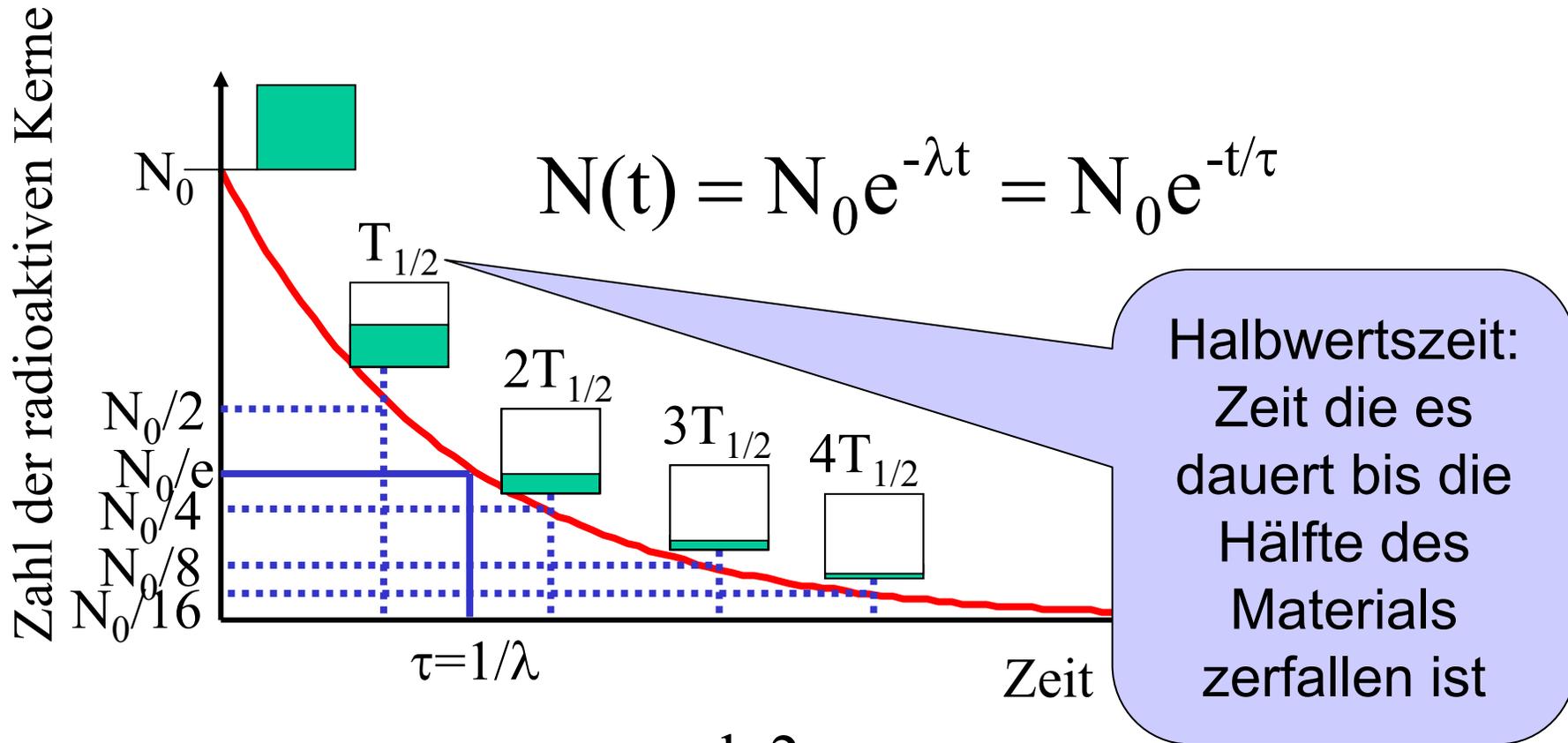
Man weiß bei einer Vielzahl von Atomkernen niemals, wann ein einzelner davon zerfällt



**Man weiß aber ganz genau, wie lange es braucht, bis aus einem Kilogramm radioaktiven Materials die Hälfte zerfallen ist:**

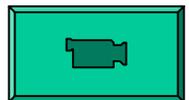
**Halbwertszeit**

# Zerfallsgesetz und Halbwertszeit



Halbwertszeit: 
$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \tau \times \ln 2 = \tau \times 0.693$$

$\lambda$  = Zerfallskonstante,  $\tau$  = mittlere Lebensdauer  $> T_{1/2}$

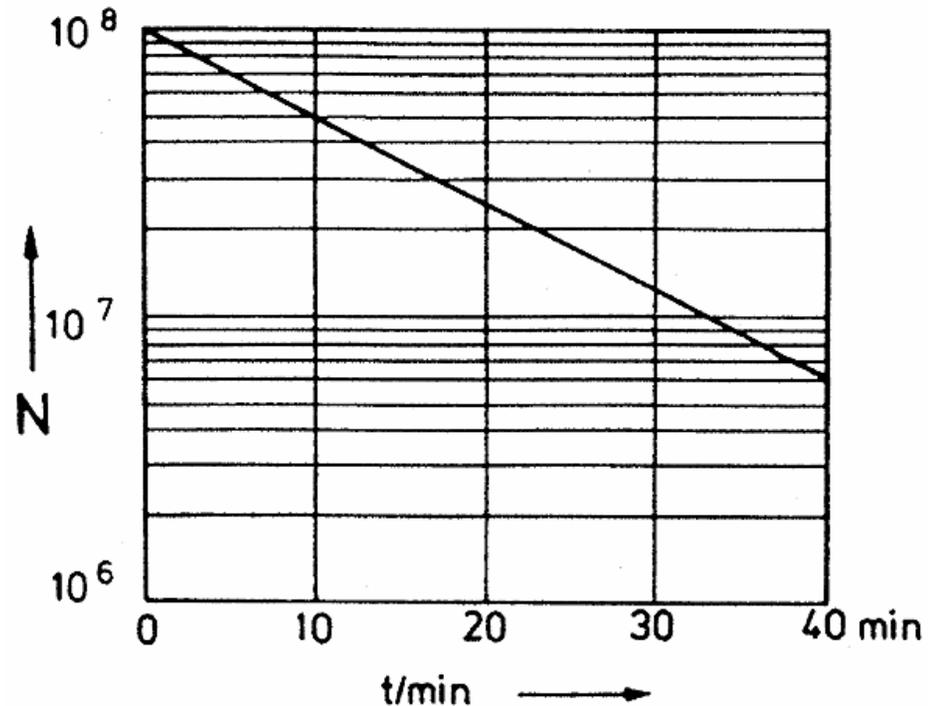


# Logarithmische Darstellung des radioaktiven Zerfalls

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 e^{-t/\tau}$$

$$\ln N(t) = \ln N_0 - \lambda t = \ln N_0 - t/\tau$$

Logarithmische Darstellung liefert einen linearen Zusammenhang zwischen  $N(t)$  und  $t$  mit negativer Steigung!



# Radioaktiver Zerfall von Kernen als statistisches Ereignis

$N(t)$  = Zahl der radioaktiven Kerne zur Zeit  $t$

$dN$  = Zahl der Zerfälle in einem Zeit-intervall  $t$   
bis  $t+dt$

$N(t)-dN$  = Zahl der nach  $t+dt$  verbliebenen  
aktiven Kerne

Ansatz: Zahl der Zerfälle im Zeitintervall  $dt$  ist  
 $dN \sim -N(t)dt$

(-) Zeichen weil die Zahl der Zerfälle mit der Zeit abnimmt.

Einführen einer Proportionalitäts-konstanten  
(Zerfallskonstante)  $\lambda$ :

$$dN = -\lambda N(t)dt$$

Integration liefert das Zerfallsgesetz:

$$\mathbf{N(t)=N(t=0)\exp(-\lambda t)}$$

$N(t)$  ist die Zahl der nach der Zeit  $t$  noch  
vorhandenen, nicht zerfallenen Kerne

# Quiz:



Eine radioaktive Substanz hat eine Halbwertszeit von 6 Tagen. Wie viel davon ist nach 12 Tagen zerfallen?

- A alles
- B 50 Prozent
- C 25 Prozent
- D 12,5 Prozent
- E Keine der Aussagen (A) - (D) trifft zu.

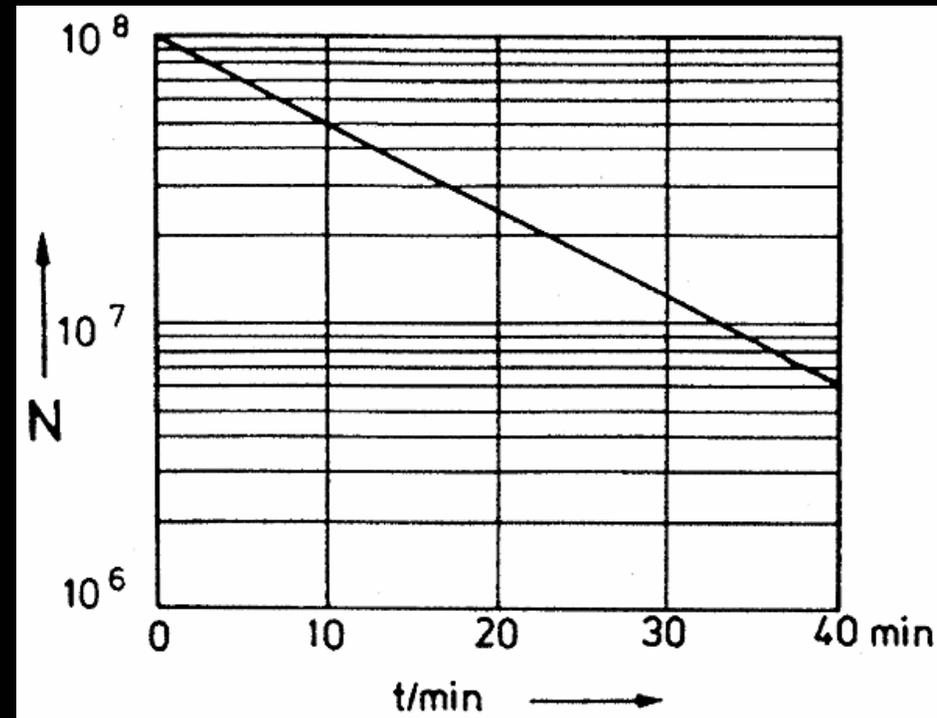
**Antwort E ist richtig!**

**Richtige Antwort: Zerfallen sind 75%**

# Quiz:

Im dargestellten Diagramm ist die Anzahl  $N$  der noch nicht zerfallenen Atomkerne eines radioaktiven Präparates logarithmisch gegen die Zeit  $t$  aufgetragen. Wie groß ist etwa die Halbwertszeit?

- A etwa 5 Minuten
- B etwa 10 Minuten
- C etwa 20 Minuten
- D etwa 30 Minuten
- E größer als 30 Minuten



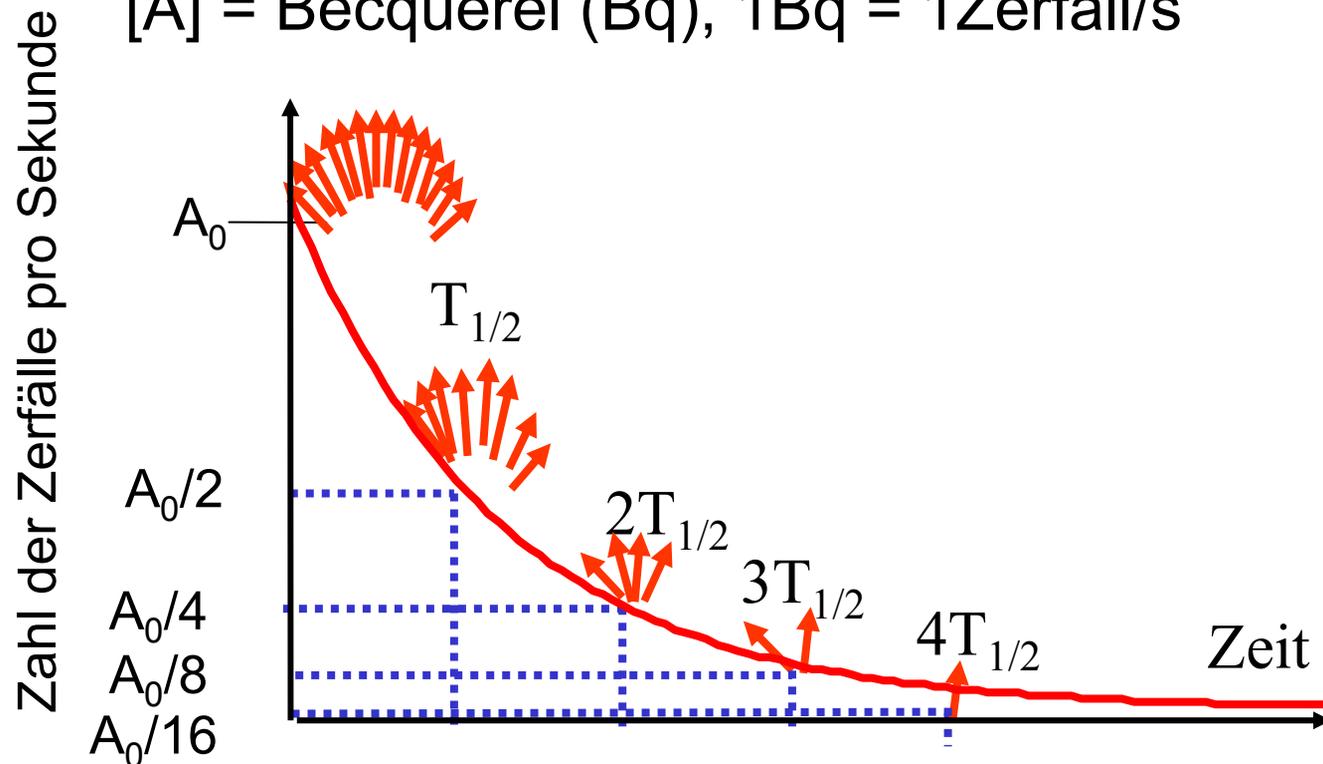
**Antwort B ist richtig!**

# Aktivität des radio- aktiven Zerfalls

Die Zahl der radioaktiven Kerne ist häufig unbekannt. Messen kann man nur die Zahl der Zerfälle pro Zeiteinheit (Zerfallsrate). Daher wird die Aktivität definiert als Anzahl der Zerfälle pro Sekunde:

$$A(t) = -\frac{\Delta N(t)}{\Delta t} = A_0 e^{-\lambda t}$$

[A] = Becquerel (Bq), 1 Bq = 1 Zerfall/s



# Aktivität des radioaktiven Zerfalls

Wenn anfangs  $N(t=0)$  radioaktive Kerne vorhanden waren, dann ist die Aktivität  $A$  nach der Zeit  $t$ :

$$A(t) = -\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \lambda N = \frac{N}{\tau} = A_0 e^{-\lambda t}$$

Die Zerfallskonstante  $\lambda$  hat jetzt die Bedeutung einer Proportionalitätskonstanten für die Aktivität.

Bei  $N$  vorhandenen radioaktiven Kernen bestimmt  $\lambda$  wie groß die Aktivität ist:

- Langlebige Isotope mit kleinem  $\lambda$  (große Lebensdauer) haben eine kleine Aktivität;
- kurzlebige Isotope mit großem  $\lambda$  (kleine Lebensdauer) haben eine große Aktivität.

Das  
Exponential-  
gesetz erlaubt  
einfache  
Zusammen-  
hänge

Anfangsaktivität:  $A_0$

Aktivität nach Zeit t:

$$A_1 = A_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \frac{A_1}{A_0} = e^{-\lambda t}$$

Aktivität nach Zeit 2t:

$$A_2 = A_0 e^{-\lambda 2t} = A_1 e^{-\lambda t} = A_1 \left( \frac{A_1}{A_0} \right)$$

Aktivität nach Zeit 3t:

$$A_3 = A_0 e^{-\lambda 3t} = A_2 e^{-\lambda t} = A_2 \left( \frac{A_1}{A_0} \right) = A_1 \left( \frac{A_1}{A_0} \right)^2$$

Allgemeiner Ausdruck:

$$A_{n+1} = A_n \left( \frac{A_1}{A_0} \right) = A_1 \left( \frac{A_1}{A_0} \right)^n$$

# Quiz:



Die Aktivität einer Substanz betrug vor einer Stunde 1000 Bq. Momentan beträgt sie 900 Bq.

Wie groß ist die Aktivität in einer Stunde?

A 870 Bq

B 850 Bq

C 830 Bq

D 810 Bq

E 800 Bq

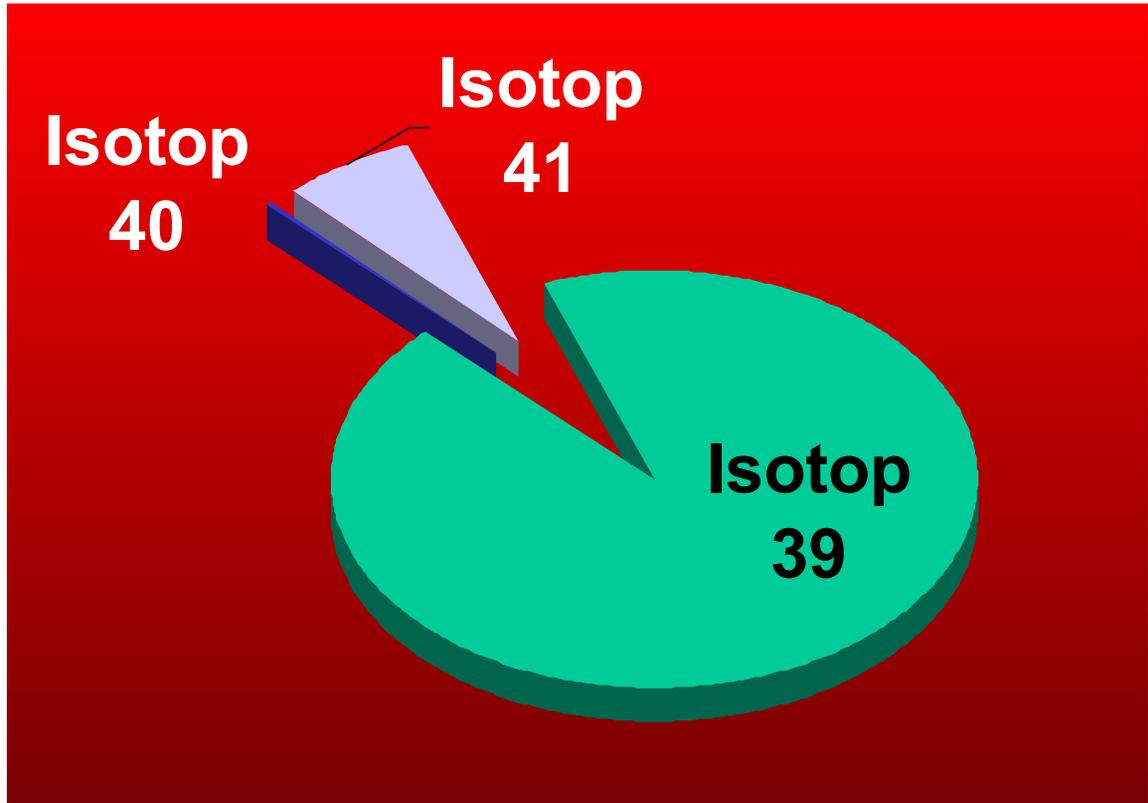
$$A_2 = A_1 \left( \frac{A_1}{A_0} \right)$$
$$900 \left( \frac{900}{1000} \right) = 810$$

**Antwort D ist richtig!**

# Isotopen- verteilung von Kalium

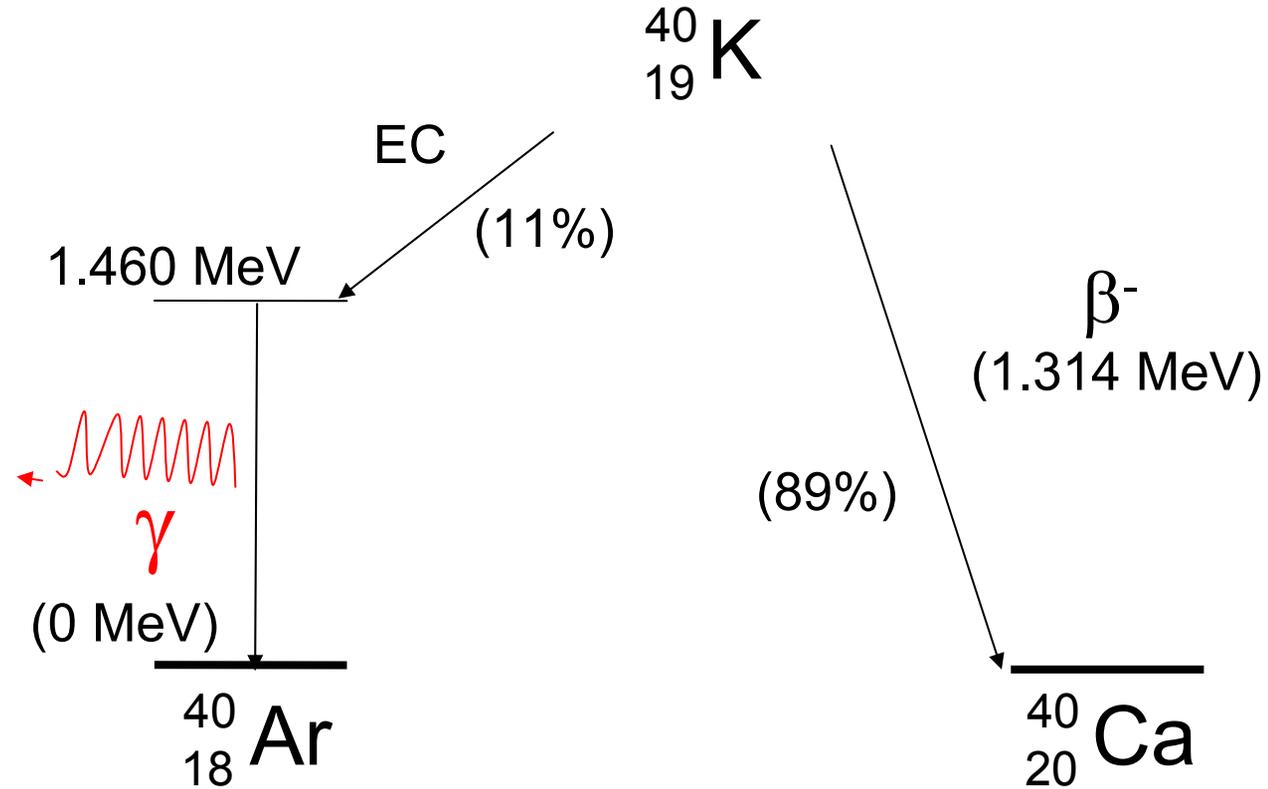


<b>Isotop 39</b>	<b>93,26%</b>	<b>stabil</b>
<b>Isotop 40</b>	<b>0.012%</b>	<b>Beta- 1.3×10<sup>9</sup> a</b>
<b>Isotop 41</b>	<b>6,73%</b>	<b>stabil</b>



# $^{40}\text{K}$ - Zerfall

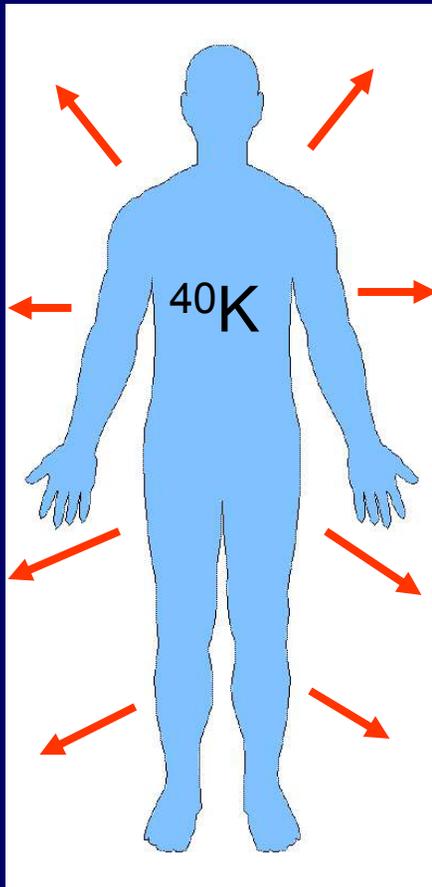
Verzweigung (Branching) beim Zerfall:



EC=electron capture, Einfang eines Elektrons aus der K-Schale (dabei Umwandlung eines Protons in ein Neutron)

Halbwertszeit  $T_{1/2} = 1.3 \times 10^9$  years

# Interne Strahlen- belastung



- Der Körper enthält ca. 2g K pro kg Körpergewicht, also ca 160 g K.
- Das radioaktive Isotop  $^{40}\text{K}$  hat eine Häufigkeit von 0,0117% im Kalium im Körper.
- Aktivität von  $^{40}\text{K}$  im Körper:  $A \approx 5000$  Bq  
Halbwertszeit  $T_{1/2} = 1,25 \times 10^{10}$  a

**Sie strahlen ja !**

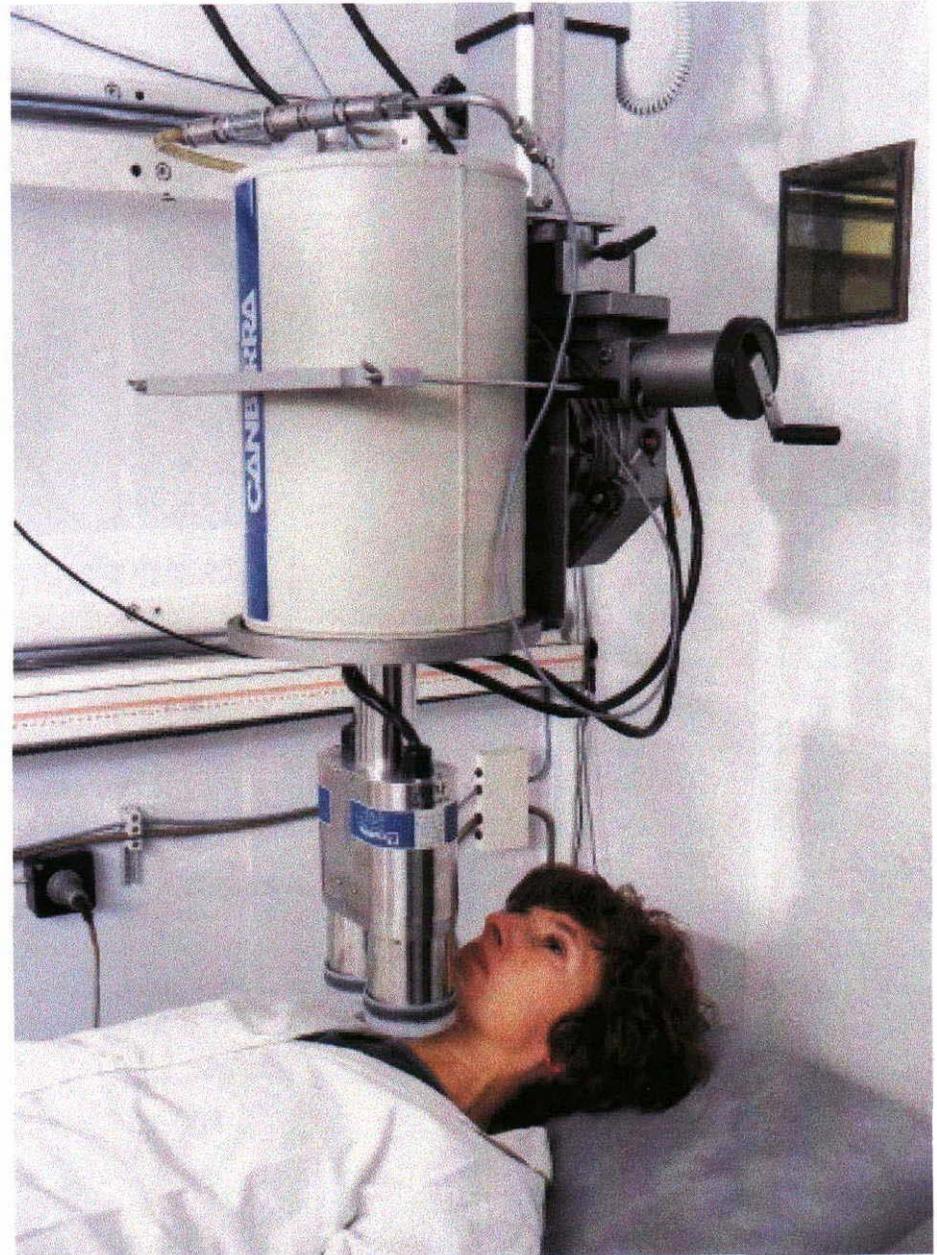
$$A \approx 5000 \text{ Bq}$$

... Sie auch !

**Alle Menschen sind  
radioaktiv!**

Die meiste Strahlung bleibt im Körper stecken.

# Ganzkörper- zählung der menschlichen Aktivität



# Spezifische Aktivität

Spezifische Aktivität = Aktivität auf ein Kilogramm Masse bezogen

$$a = \frac{A}{m} = \frac{A_0}{m} \exp(-t/\tau)$$

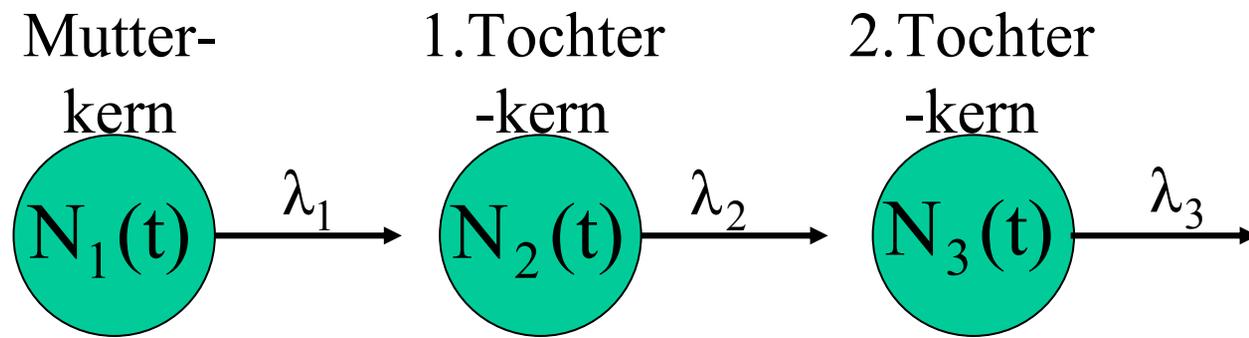
Einheit: [a]=Bq/g

Ein Kilogramm von  $^{40}\text{K}$  hat eine Aktivität von  $1.7 \times 10^8$  Bq.

Ein Kilogramm Körpergewicht hat die Aktivität 38 Bq.

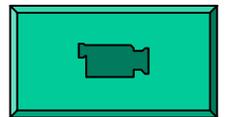
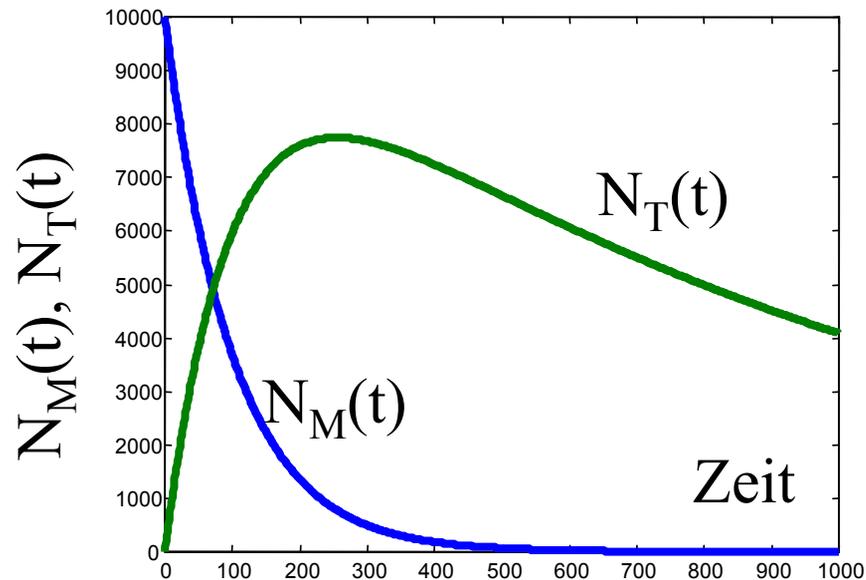
Die meiste Strahlung bleibt allerdings im Körper stecken und kann außen nicht gemessen werden

# Zerfalls-reihen von radioaktiven Zerfällen



In Zerfallsreihen hängt die Aktivität der Tochterkerne von der Erzeugungsreihe der Mutterkerne ab:

$$A_T = \underbrace{\lambda_M N_M}_{\text{Erzeugungs rate}} - \underbrace{\lambda_T N_T}_{\text{Zerfallsra te}}$$





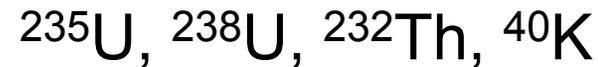
# Zerfallsreihen

<b>Name der Reihe</b>	<b>Ausgangskern</b>	<b>Stabiler Endkern</b>
Uran - Radium	$^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}$
Uran - Actinium	$^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}$
Thorium	$^{232}\text{Th}$	$^{208}\text{Pb}$
Neptunium	$^{237}\text{Np}$	$^{209}\text{Bi}$

# Drei Quellen für radioaktive Isotope

## 1. Terristisch:

Radioaktive Isotope sind bei der Geburt der Erde entstanden:



Die Halbwertszeiten sind vergleichbar mit dem Erdalter, ca.  $5 \times 10^9$  a

## 2. Kosmisch:

Radioaktive Isotope werden ständig durch kosmische Strahlung erzeugt:



Die Halbwertszeiten sind verhältnismäßig kurz: 5730a, 12a, 53d

## 3. Zivilisatorisch:

Künstliche Erzeugung von Isotopen für Forschung und Medizin

# Zusammenfassung:

- Radioaktiver Zerfall nimmt exponentiell mit der Zeit ab
- Nach einer Halbwertszeit ist die Zahl der radioaktiven Kerne auf die Hälfte reduziert
- Aktivität ist die Zahl der Zerfälle pro Zeiteinheit
- Zerfallsreihen bestehen aus mehreren sukzessiven Zerfällen
- Isotope können künstlich durch Beschuss mit Neutronen oder  $\alpha$ -Teilchen hergestellt werden