

1. Physikalische Grundlagen

1.2. Kernumwandlung und Radioaktivität - Entdeckung



Antoine Henri Becquerel
Entdeckte Radioaktivität 1896



Ehepaar Marie und Pierre Curie
Nobelpreise 1903 und 1911



Lise Meitner, Otto Hahn
1. Kernspaltung 1938

1. Physikalische Grundlagen

1.2. Kernumwandlung und Radioaktivität - Strahlung

„Strahlung“

- entsteht durch Zerfall eines instabilen Kerns
- ionisiert Stoffe
- entsteht durch Aussenden von Energie- und Masseportionen
- wird unterteilt in α -, β -, γ -, n-Strahlung
- ist nicht beeinflussbar

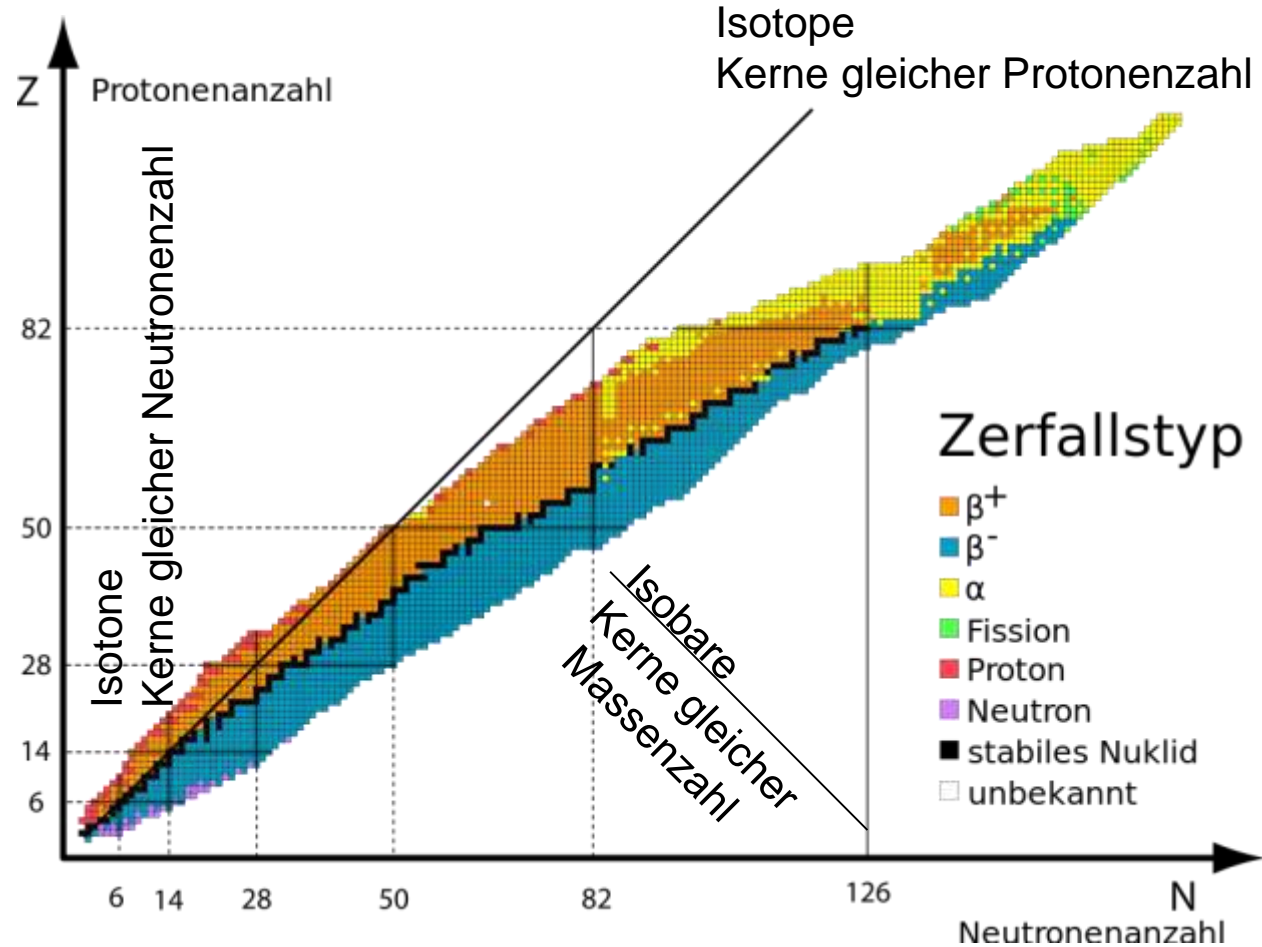
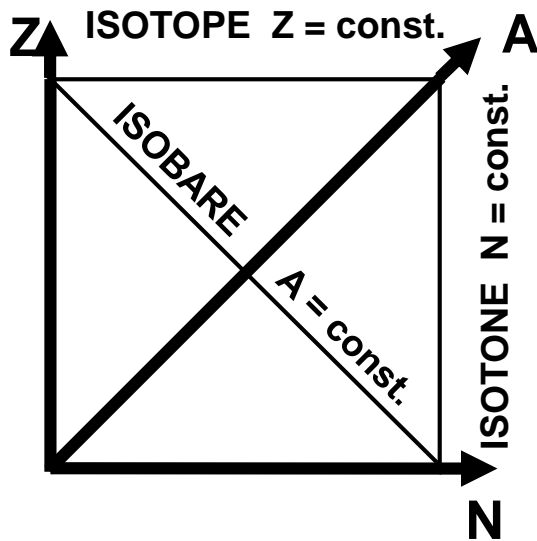
Natürliche Radioaktivität – Radionuklid kommt in der Natur vor (Z.B Th, U, Rn, ...)

Künstliche Radioaktivität – Radionuklid wurde vom Menschen erzeugt (für Medizin oder Militär, z.B. Tc, Pu)

118 chemische Elemente, aus denen
3850 bekannte Nuklide, davon nur
257 stabile Isotope, der Rest zerfällt spontan (radioaktiv)

1. Physikalische Grundlagen

1.2. Kernumwandlung und Radioaktivität - Nuklidkarte

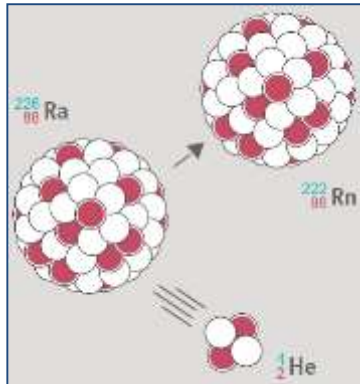


Instabile Nuklide sind radioaktiv und werden Radionuklide genannt.

1. Physikalische Grundlagen

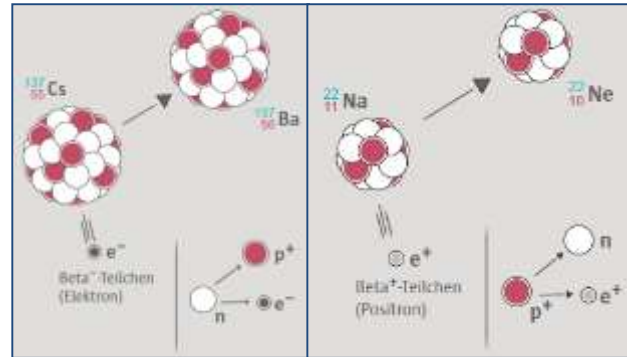
1.2. Kernumwandlung und Radioaktivität - Strahlungsarten

Alphastrahlung



Emmision von Alpha-Teilchen

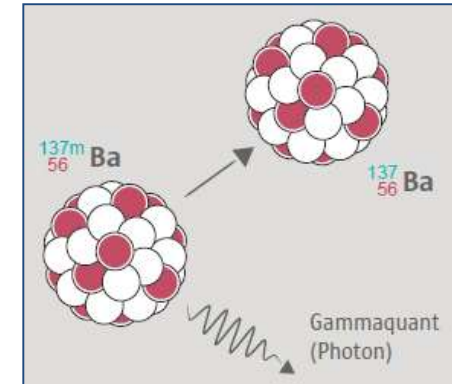
Betastrahlung



Emmision von Elektronen

Emmision von Positronen

Gammastrahlung



Emmision von Gamma-Quanten

Alpha-Strahlung:

Abgabe von He-Atomen; $v \sim 15.000 - 20.000 \text{ km/s}$

Beta-Strahlung:

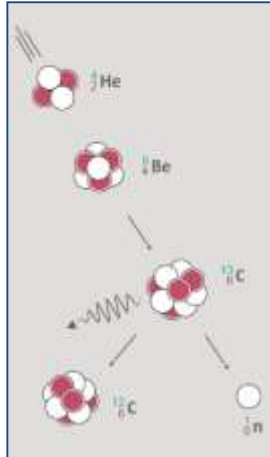
Abgabe von Elektronen aus dem Kern (nicht aus der Atomhülle); $v \sim 0 - 300.000 \text{ km/s}$
Das Elektron e^- entsteht im Kern, indem sich ein Neutron n in ein Proton p^+ und ein Elektron e^- umwandelt. Positronenemission: p^+ wandelt sich in n und e^+

Gamma-Strahlung:

Abgabe einer Strahlung, vergleichbar mit Licht, aber deutlich energiereicher.
 $V = c_0 \sim 300.000 \text{ km/s}$ Ein instabiler Kern gibt diese Strahlung ab und erreicht dadurch einen niedrigeren und somit stabileren Energiezustand. Kernladungs- und Massenzahl ändern sich dabei nicht.

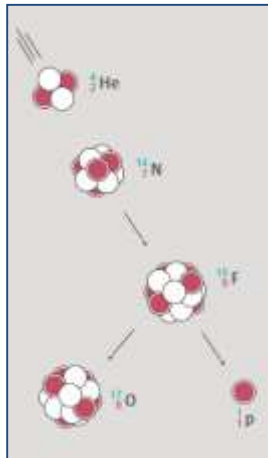
1. Physikalische Grundlagen

1.2. Kernumwandlung und Radioaktivität - Strahlungsarten



Neutronenstrahlung

Werden Neutronen aus dem Kern herausgeschlagen, entsteht Neutronenstrahlung. Diese entsteht in den oberen Schichten der Atmosphäre oder in Reaktoren. Die entstehenden freien Neutronen sind radioaktiv und zerfallen in ein Proton und ein Elektron (+ ein Antineutrino).



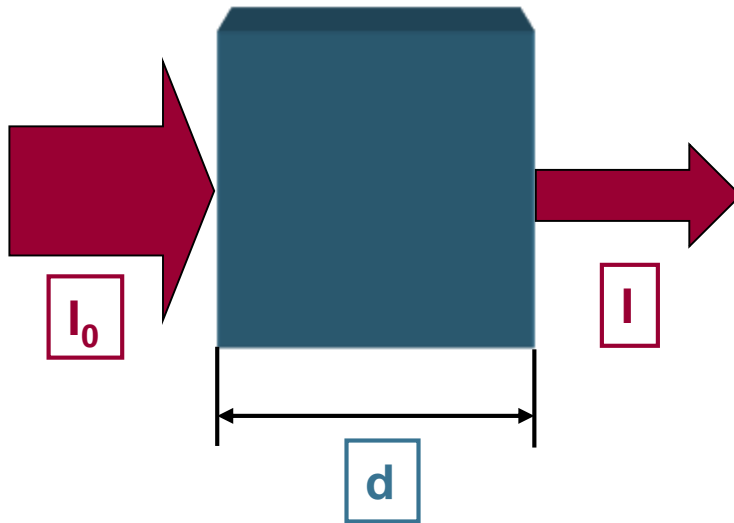
Protonenstrahlung

Entsteht beispielsweise, wenn ein Alpha-Teilchen in ein Stickstoffatom eindringt. Dadurch entsteht ein hochangeregter Zwischenkern von Fluor, welcher in Sauerstoff und ein Proton zerfällt.

1. Physikalische Grundlagen

1.2. Kernumwandlung und Radioaktivität – Schwächungsgesetz

γ -Strahlung und Röntgenstrahlung - Schwächungsgesetz

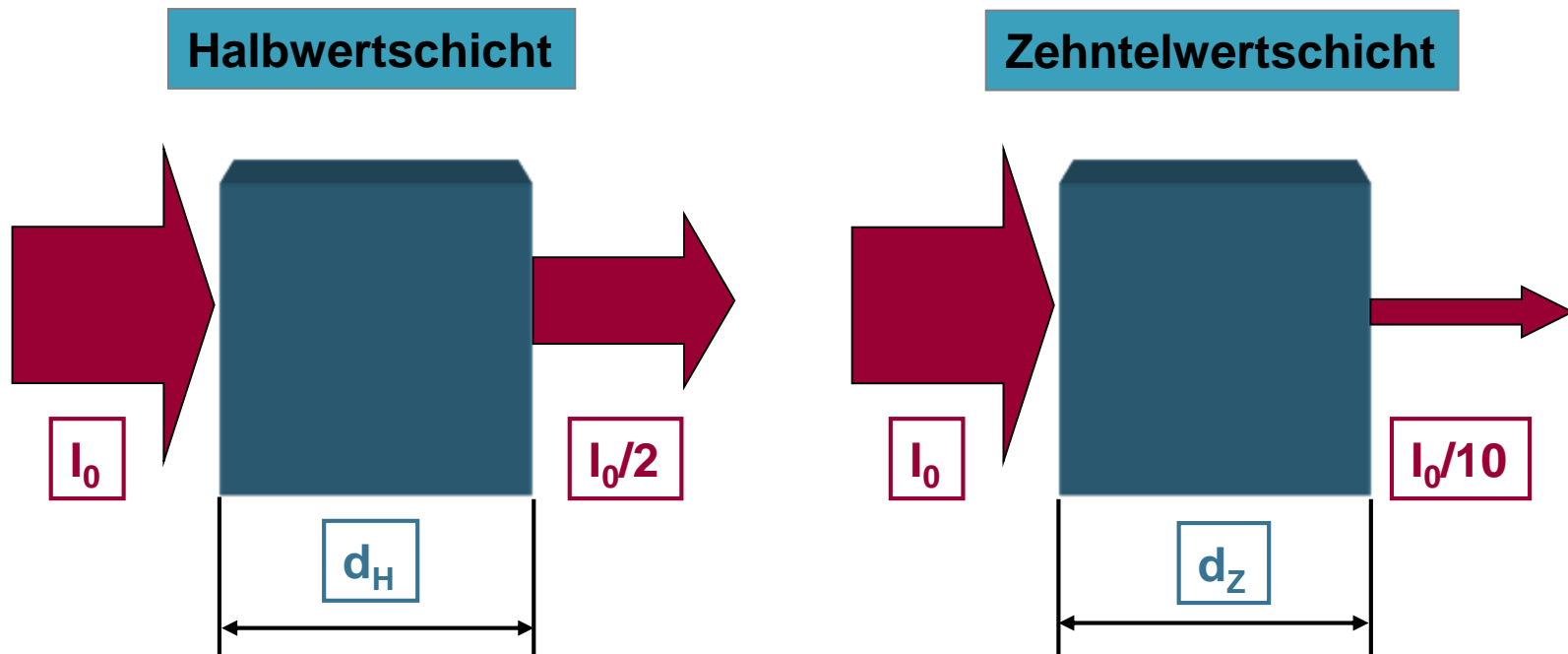


$$I = I_0 \cdot e^{-\mu d}$$

- I_0 ...Intensität der einfallenden Strahlung
- I ...Intensität der geschwächten Strahlung
- d ...Materialdicke
- μ ...linearer Schwächungskoeffizient

1. Physikalische Grundlagen

1.2. Kernumwandlung und Radioaktivität – Halbwertsschicht



1. Physikalische Grundlagen

1.2. Kernumwandlung und Radioaktivität – Halbwertsschichtdicken

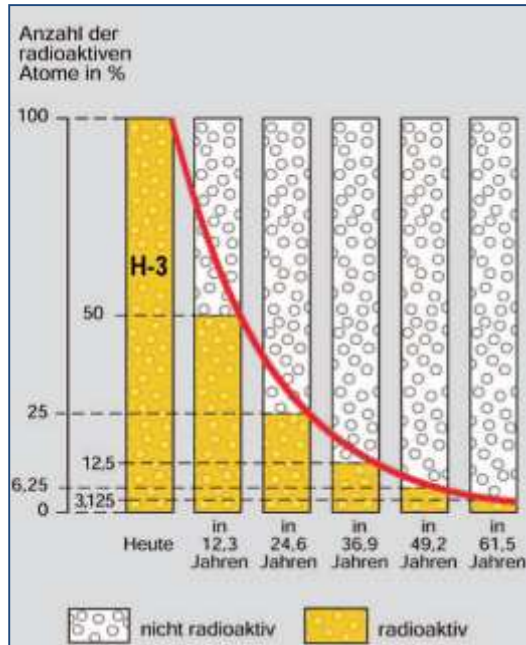
Röhren-Spannung in kV (stark gefiltert)	100 kV	400 kV	Röntgeneinrichtungen (ÖNORM S 5265-1)
d in mm Blei (11,3 g/cm ³)	0,3	2,2	
d in mm Stahl (7,9 g/cm ³)	1,8	22	
d in mm Beton (2,3 g/cm ³)	30	112	
Gammagraphie	Co-60	Ir-192	Schwächung beim Durchgang durch das Prüfobjekt (ÖNORM S 5265-2)
d in mm Blei (11,3 g/cm ³)	13	5	
d in mm Stahl (7,9 g/cm ³)	26	13	
d in mm Beton (2,3 g/cm ³)	60	40	

Zehntelwertsschichtdicke = Halbwertsschichtdicke (d) x 3,32

1. Physikalische Grundlagen

1.2. Kernumwandlung und Radioaktivität - Halbwertszeit

Zerfall von H-3 (Tritium):



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

λ = Zerfallskonstante

Halbwertszeiten ausgewählter Radionuklide

Natürliche Radionuklide

Künstliche Radionuklide

Radionuklid	Halbwertszeit	Zerfallsart	Radionuklid	Halbwertszeit	Zerfallsart
H-3	12,33 a	Beta-Minus	N-16	7,13 s	Beta-Minus
C-14	5.730 a	Beta-Minus	Kr-85	10,756 a	Beta-Minus
K-40	$1,277 \cdot 10^9$ a	Beta-Minus, K-Einfang	Sr-90	28,79 a	Beta-Minus
Te-128	$7,2 \cdot 10^{24}$ a	Beta-Minus	Te-132	3,204 d	Beta-Minus
Bi-214	19,9 min	Alpha, Beta-Minus	I-131	8,0207 d	Beta-Minus
Po-210	138,376 d	Alpha	Cs-134	2,0648 a	Beta-Minus
Po-214	$1,643 \cdot 10^{-4}$ s	Alpha	Cs-135	$2,3 \cdot 10^6$ a	Beta-Minus
Rn-222	3,8235 d	Alpha	Cs-137	30,08 a	Beta-Minus
Ra-226	$1,6 \cdot 10^3$ a	Alpha	Ba-140	12,752 d	Beta-Minus
Th-232	$1,405 \cdot 10^{10}$ a	Alpha	La-147	4,015 s	Beta-Minus
U-235	$7,038 \cdot 10^8$ a	Alpha	Pu-239	24.110 a	Alpha
U-238	$4,468 \cdot 10^9$ a	Alpha	Cm-242	162,8 d	Alpha

1. Physikalische Grundlagen

1.2. Kernumwandlung und Radioaktivität - Aktivität

$$\text{Aktivität} = \frac{\text{Anzahl der Kernumwandlungen}}{\text{Zeit}}$$

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

Einheit der Aktivität:
Bequerel 1 [Bq] = 1 Zerfall pro Sekunde

Wichtige Ableitungen der Aktivität sind:

- Spezifische Aktivität: [Bq/g], [Bq/kg]
- Aktivitätskonzentration: [Bq/l], [Bq/m³]
- Flächenaktivität: [Bq/m²], [Bq/cm²]
- Aktivitätsrate: [Bq/h], [Bq/a]
(Veränderung der Aktivität pro Zeiteinheit)

Veraltet: 1 Curie [Ci] = 3,7 x 10¹⁰ Bq

Spezifische Aktivität einiger Radionuklide

Radionuklid	Spezifische Aktivität in Bq/g
H-3	3,6 · 10 ¹⁴
C-14	1,7 · 10 ¹¹
K-nat	3,1 · 10 ¹
Fe-59	1,8 · 10 ¹⁵
Co-60	4,1 · 10 ¹³
Kr-85	1,4 · 10 ¹³
Sr-90	5,3 · 10 ¹²
I-131	4,6 · 10 ¹⁵
Xe-133	6,8 · 10 ¹⁵
Cs-134	4,8 · 10 ¹³
Cs-137	3,2 · 10 ¹²
U-nat	2,5 · 10 ⁴
Pu-239	2,3 · 10 ⁹