

Vergleich der Zerfallsarten – inkl. Neutronenemission

Zerfallsart	Reaktionsform	Q-Wert (Atommassen)	Korrektur durch e^-	Energieverteilung	Typisch. Teilchen
α -Zerfall	$X \rightarrow Y + \alpha$	$Q = [m_a(X) - m_a(Y) - m_a(\alpha)] \cdot c^2$	Nicht notwendig	α -Teilchen erhält Großteil der Energie	α (${}^4\text{He}^{2+}$)
β^- -Zerfall	$X \rightarrow Y + \beta^- + \bar{\nu}_e$	$Q = [m_a(X) - m_a(Y)] \cdot c^2$	Nicht notwendig	Elektron + Antineutrino teilen Energie	β^- (Elektron), $\bar{\nu}_e$
β^+ -Zerfall	$X \rightarrow Y + \beta^+ + \nu_e$	$Q = [m_a(X) - m_a(Y) - 2m_e] \cdot c^2$	-2 Elektronenmassen (β^+ und $1e^-$ weniger)	Positron + Neutrino teilen Energie	β^+ (Positron), ν_e
Elektronen-Einfang (EC)	$X + e^- \rightarrow Y + \nu_e$	$Q = [m_a(X) - m_a(Y)] \cdot c^2$	Nicht notwendig (e^- wird eingefangen)	Neutrino trägt Großteil, evtl. Röntgenstrahlung	ν_e , K-Schalen-Elektron
n-Emission	$X \rightarrow Y + n$	$Q = [m_a(X) - m_a(Y) - m_a(n)] \cdot c^2$	Nicht notwendig	Neutron+Rückstoßkern teilen Energie	n (freies Neutron)

Grundgrößen der Strahlendosimetrie – Übersicht

Größe + Einheit	Symbol	Formel	Erklärung
Energiedosis [Gy = J/kg]	D	$D = E / m$	Aufgenommene Strahlungsenergie pro kg Masse
Absorbierte Energie [J]	E	–	Menge an Energie, die ein Körper durch Strahlung aufnimmt
bestrahlte Masse [kg]	m	–	Die Masse des Körpers oder Gewebes, das bestrahlt wird
Äquivalentdosis [Sv]	H	$H = D \cdot w_R$	Energiedosis gewichtet mit Strahlungsart (biologische Wirkung)
Strahlungswichtungsfaktor [–]	w_R	–	Bewertet biologische Wirkung unterschiedlicher Strahlungstypen
Effektive Dosis [Sv] * (LK)	E_{eff}	$E_{\text{eff}} = \sum w_T \cdot H_T$	Gesamtdosis unter Berücksichtigung verschiedener Organe
Gewebe-Wichtungsfaktor [–]	w_T	–	Empfindlichkeit eines bestimmten Organs gegenüber ionisierender Strahlung ist. Wird verwendet, um die effektive Dosis zu berechnen.
Äquivalentdosis eines Gewebes [Sv]	H_T	–	
Aktivität [Bq = 1/s]	A	$A = \lambda \cdot N$	
Zerfallskonstante [1/s]	λ	–	
Anzahl radioaktiver Kerne [–]	N	–	
Energie aus Zerfällen [J]	E_{gesamt}	$E_{\text{gesamt}} = A \cdot E_{\text{Zerfall}} \cdot t$	
Ionendosis [C/kg]	J	$J = Q / m$	Freigesetzte Ladung durch Ionisation pro kg (meist Luft)
Elektrische Ladung [C]	Q	–	
Ionisationsenergie [eV, J]	E_{ion}	ca. 34 eV / Paar	Energie zur Entfernung eines Elektrons aus einem Atom oder Molekül
Ionenausbeute [Paare/J]	$\eta\%$	–	

Wichtige Umrechnungen

Umrechnung	Formel	Rückrechnung	Bemerkung
Elektronenvolt in Joule	1 eV = $1,602 \times 10^{-19}$ J	1 J = $6,242 \times 10^{18}$ eV	Standardenergiewert
Megaelektronvolt in Joule	1 MeV = $1,602 \times 10^{-13}$ J	1 J = $6,242 \times 10^{12}$ MeV	Teilchenphysik
Gray in J/kg	1 Gy = 1 J/kg	1 J/kg = 1 Gy	Definition
Sievert in J/kg ($w_R = 1$)	1 Sv = 1 J/kg	1 J/kg = 1 Sv	Nur bei $w_R = 1$
Ionendosis in Energiedosis	1 C/kg \approx 34 Gy	1 Gy \approx 0,0294 C/kg	Gilt für trockene Luft
1 rad in Gy	1 rad = 0,01 Gy	1 Gy = 100 rad	veraltete US-Einheit
1 rem in Sv	1 rem = 0,01 Sv	1 Sv = 100 rem	veraltete US-Einheit
1 u in MeV	1 u = 931,5 MeV	1 MeV = $1,073 \times 10^{-3}$ u	Massendefekt–Energie
1 u in kg	1 u = $1,6605 \times 10^{-27}$ kg	1 kg = $6,022 \times 10^{26}$ u	Masseinheit
1 Ci in Bq	1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq	1 Bq \approx $2,703 \times 10^{-11}$ Ci	Aktivität alt/neu
1 Jahr in Sekunden	1 a = $3,1536 \times 10^7$ s	1 s = $3,17 \times 10^{-8}$ a	Strahlenzeitrechnungen
1 mol in Teilchen	1 mol = $6,022 \times 10^{23}$ Teilc.	1 Teilc. = $1,661 \times 10^{-24}$ mol	Avogadro-Konstante
Energie–Masse–Äquivalenz	$E = m \cdot c^2$	$m = E / c^2$	Einstein-Formel

Gewebe-Wichtungsfaktor

Gewebe / Organ	w_T
Rotes Knochenmark	0,12
Lunge	0,12
Hoden/Eierstöcke	0,08
Leber	0,04
Schilddrüse	0,04

Strahlungstyp	w_R
Betastrahlung	1
Gamma / Röntgen	1
Langsame Neutronen	2,3
Schnelle Neutronen	10
Alphastrahlung	20

Tabelle der Isotopenmassen (in kg und u)

Isotop	Masse (kg)	Masse (u)
235U	$3.9030 \cdot 10^{-25}$	235.0440
1n	$1.6749 \cdot 10^{-27}$	1.0087
141Ba	$2.3371 \cdot 10^{-25}$	140.7429
92Kr	$1.5765 \cdot 10^{-25}$	94.9398
239Pu	$3.9685 \cdot 10^{-25}$	238.9893
140Cs	$2.3199 \cdot 10^{-25}$	139.7072
99Y	$1.6412 \cdot 10^{-25}$	98.8341
252Cf	$4.1799 \cdot 10^{-25}$	251.7201
1H	$1.6735 \cdot 10^{-27}$	1.0078
2D	$3.3436 \cdot 10^{-27}$	2.0136
3He	$5.0082 \cdot 10^{-27}$	3.0160
4He	$6.6465 \cdot 10^{-27}$	4.0026

Tabelle der Isotopenmassen (in kg und u)

Isotop	Masse (kg)	Masse (u)
3T	$5.0074 \cdot 10^{-27}$	3.0155
27Al	$4.4804 \cdot 10^{-26}$	26.9815
28Al	$4.6505 \cdot 10^{-26}$	28.0062
28Si	$4.6496 \cdot 10^{-26}$	28.0005
9Be	$1.4967 \cdot 10^{-26}$	9.0131
12C	$1.9926 \cdot 10^{-26}$	12.0000
6Li	$9.9632 \cdot 10^{-27}$	6.0000
Zr-94	$1.5595 \cdot 10^{-25}$	93.9153
Ce-140	$2.3240 \cdot 10^{-25}$	139.9546
Sr-95	$1.5760 \cdot 10^{-25}$	94.9089
Xe-139	$2.3040 \cdot 10^{-25}$	138.7501
239Np	$3.9690 \cdot 10^{-25}$	239.0188
40K	$6.6420 \cdot 10^{-26}$	39.9991
40Ar	$6.6330 \cdot 10^{-26}$	39.9449

Radioaktiver Zerfall – Gesetz, Konstante und Halbwertszeit

Was ist radioaktiver Zerfall? Radioaktive Stoffe bestehen aus instabilen Atomkernen, die sich spontan in stabilere Kerne umwandeln. Dabei wird ionisierende Strahlung freigesetzt (z. B. α -, β - oder γ -Strahlen). Der Zerfall einzelner Kerne ist zufällig, aber das Verhalten vieler Kerne lässt sich statistisch sehr genau beschreiben.

Zerfallsgesetz, Zerfallskonstante und Halbwertszeit

- Für den Bestand N der zum Zeitpunkt t noch nicht zerfallenden Atomkerne gilt $\mathbf{N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}}$ mit der Zerfallskonstanten λ .
- Für die Aktivität A zum Zeitpunkt t gilt $\mathbf{A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}}$
- Die Halbwertszeit $T_{1/2}$ ist die Zeitspanne, in der sich die Anzahl der nicht zerfallenen Atomkerne eines radioaktiven Präparats halbiert.
- Zwischen der Zerfallskonstanten λ und der Halbwertszeit $T_{1/2}$ besteht der Zusammenhang $\mathbf{\lambda = \ln(2) / T_{1/2}}$
- Die Anzahl der noch nicht zerfallenen Kerne zum Zeitpunkt t folgt dem exponentiellen Zerfallsgesetz:

Zerfallsgesetz

$$\mathbf{N(t) = N_0 \cdot e^{(-\lambda \cdot t)}}$$

- N_0 : Anfangszahl der Kerne
- $N(t)$: Anzahl der Kerne zur Zeit t
- λ : Zerfallskonstante (in s^{-1})
- t : vergangene Zeit in Sekunden

Aktivität $A(t)$

Die Aktivität gibt an, wie viele Zerfälle pro Sekunde stattfinden:

$$\mathbf{A(t) = \lambda \cdot N(t) = A_0 \cdot e^{(-\lambda \cdot t)}}$$

- $A(t)$: Aktivität zur Zeit t (in Bq)
- $A_0 = \lambda \cdot N_0$: Anfangsaktivität
- Einheit: 1 Bq = 1 Zerfall pro Sekunde

Zerfallskonstante λ - Die Zerfallskonstante beschreibt die Wahrscheinlichkeit pro Sekunde, mit der ein einzelner Kern zerfällt. Je größer λ ist, desto schneller verläuft der Zerfall.

Halbwertszeit $T_{1/2}$

Die Halbwertszeit ist die Zeit, nach der die Hälfte der radioaktiven Kerne zerfallen ist: $\mathbf{T_{1/2} = \ln(2) / \lambda \approx 0,693 / \lambda}$

Formelsammlung – Radioaktivität, Zerfall, Energiedosis & Strahlenschutz

1. Zerfallsgesetz & Zerfallskonstanten

- $N(t) = N_0 \cdot e^{(-\lambda \cdot t)}$
- $A(t) = \lambda \cdot N(t)$
- $A_0 = \lambda \cdot N_0$
- $\lambda = \ln(2) / T_{1/2} \approx 0,693 / T_{1/2}$
- $T_{1/2} = \ln(2) / \lambda \approx 0,693 / \lambda$ Halbwertszeit $T_{1/2}$
- 25%-Zeit: $T_{25\%} = \ln(0,25) / \lambda$
- 1%-Zeit: $T_{1\%} = \ln(0,01) / \lambda$
- $N(t)/N_0 = e^{(-\lambda \cdot t)}$
- $t = \ln(N_0/N(t)) / \lambda$ Zeitberechnung, aus N_0 und $N(t)$
- $Q = N(t) / N_0 = e^{(-\lambda \cdot t)}$ Verkleinerungsfaktor pro Zeitspanne t

2. Aktivität & Zerfallsprozesse

- $A(t)$ = Zerfälle pro Sekunde
- Einheit: 1 Bq = 1 Zerfall/s
- $A(t) = A_0 \cdot e^{(-\lambda \cdot t)}$
- $\Delta N = A(t) \cdot \Delta t \rightarrow$ Anzahl Zerfälle in Zeitintervall Δt

3. Energiedosis D

- $D = E / m$
- Einheit: Gray (Gy) = J/kg
- $E = D \cdot m$

4. Äquivalentdosis H

- $H = D \cdot w_r$
- Einheit: Sievert (Sv)
- $w_r(\gamma, \beta) = 1$; $w_r(n) = 5-20$; $w_r(\alpha) = 20$ Strahlungswichtungsfaktor

5. Effektive Dosis E_{eff}

- $E_{\text{eff}} = \sum w_T \cdot H_T$
- Einheit: Sv
- Summe der gewichteten Äquivalentdosen über alle betroffenen Gewebe

6. Ionendosis J

- $J = Q / m$
- Einheit: C/kg
- Beziehung (nur in Luft, ca.): $1 \text{ C/kg} \approx 34 \text{ Gy}$

7. Aktivität und Gesamtenergie

- $E_{\text{gesamt}} = A \cdot E_{\text{pro_Zerfall}} \cdot t$
- Dann: $D = E_{\text{gesamt}} / m$

8. Energieeinheiten & Umrechnungen

- $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-13} \text{ J}$
- $1 \text{ J} = 6,242 \cdot 10^{12} \text{ MeV}$
- $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$
- $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$ (bei $w_r = 1$)
- $1 \text{ C/kg} \approx 34 \text{ J/kg}$ (in Luft)

9. Massendefekt & Kernbindungsenergie

- $\Delta m = m_{\text{atomkern}} - \sum m_{\text{Nukleonen}}$
- $E_{\text{Bindung}} = \Delta m \cdot c^2$
- $E_{\text{Bindung}} [\text{MeV}] = \Delta m [\text{u}] \cdot 931,5 \text{ MeV}$

Beispiele einiger Herleitungen

1. Wie viel Energie entspricht einer Masse von 2 u?

- Gegeben: $m = 2 \text{ u} = 2 \times 931,5 \text{ MeV} = 1863 \text{ MeV}$
- → Umrechnung in Joule:
- $E = 1863 \text{ MeV} \times 1,602 \times 10^{-13} \text{ J/MeV} \approx 2,985 \times 10^{-10} \text{ J}$

2. Wie viel Masse entspricht einer Energie von 10^{-10} J ?

- $E = m \cdot c^2 \rightarrow m = E / c^2$
- Gegeben: $E = 1,0 \times 10^{-10} \text{ J}$
- $m = 1,0 \times 10^{-10} \text{ J} / (9,00 \times 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2) \approx 1,11 \times 10^{-27} \text{ kg}$
- Umrechnung in u: $m \approx 1,11 \times 10^{-27} \text{ kg} / 1,6605 \times 10^{-27} \text{ kg/u} \approx 0,668 \text{ u}$

3. Wie viel Energie in eV hat ein Photon der Frequenz $6,0 \times 10^{14} \text{ Hz}$?

- $E = h \cdot f = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \times 6,0 \times 10^{14} \text{ Hz} \approx 3,976 \times 10^{-19} \text{ J}$
- Umrechnung in eV: $E = 3,976 \times 10^{-19} \text{ J} / 1,602 \times 10^{-19} \text{ J/eV} \approx 2,48 \text{ eV}$

4. Wie viel Energie in MeV setzt ein Massendefekt von 0,003 u frei?

- $E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ MeV} = 0,003 \text{ u} \times 931,5 \text{ MeV/u} \approx 2,7945 \text{ MeV}$

5. Wieviel Masseverlust entspricht 500 MeV Energie?

- $m = E / (931,5 \text{ MeV/u}) = 500 / 931,5 \approx 0,537 \text{ u}$
- → in kg: $m = 0,537 \text{ u} \times 1,6605 \times 10^{-27} \text{ kg/u} \approx 8,92 \times 10^{-28} \text{ kg}$

6. Herleitung des Umrechnungsfaktors: 1 u = 931,5 MeV

Die Energieäquivalenz einer atomaren Masseneinheit (u) kann mit Einsteins Formel $E = m \cdot c^2$ berechnet werden:

$$1\text{u} = 1,6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$E = m \cdot c^2 = 1,6605 \times 10^{-27} \text{ kg} \times (3,00 \times 10^8 \text{ m/s})^2 \approx 1,492 \times 10^{-10} \text{ J}$$

Um die Energie in MeV umzurechnen, verwendet man den Zusammenhang:

$$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J} \rightarrow 1 \text{ MeV} = 1,602 \times 10^{-13} \text{ J}$$

$$\text{Energie in MeV: } E = (1,492 \times 10^{-10} \text{ J}) / (1,602 \times 10^{-13} \text{ J/MeV}) \approx 931,5 \text{ MeV}$$

Daraus folgt: 1 u Masse entspricht einer Energie von etwa 931,5 MeV.

Beispiele einiger realen Kernreaktionen, Nuklid-Schreibweise

Reaktionsgleichung	Name / Reaktionstyp	Jahr / Kontext	Energie (ca.)
$^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{141}_{56}\text{Ba} + ^{92}_{36}\text{Kr} + 3 ^1_0\text{n}$	Kernspaltung von Uran-235	1938	≈ 200 MeV
$^{239}_{94}\text{Pu} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{140}_{55}\text{Cs} + ^{99}_{39}\text{Y} + 1 ^1_0\text{n}$	Spaltung von Plutonium-239	1940	≈ 210 MeV
$^{252}_{98}\text{Cf} \rightarrow \text{Spaltprodukte} + 3 ^1_0\text{n}$	Spontane Neutronenemission	1952	≈ 200 MeV
$^1_1\text{H} + ^1_1\text{H} \rightarrow ^2_1\text{D} + \text{e}^+ + \nu_{\text{e}}$	Proton-Proton-Reaktion	Sonne	≈ 1.44 MeV
$^2_1\text{D} + ^1_1\text{H} \rightarrow ^3_2\text{He} + \gamma$	Fusion – Sonne (Schritt 2)	Sonne	≈ 5.49 MeV
$^3_2\text{He} + ^3_2\text{He} \rightarrow ^4_2\text{He} + 2 ^1_1\text{H}$	Fusion – Sonne (Endschritt)	Sonne	≈ 12.86 MeV
$^2_1\text{D} + ^3_1\text{T} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n}$	D-T-Fusion (Wasserstoffbombe)	1952	17.6 MeV
$^{27}_{13}\text{Al} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{28}_{13}\text{Al} \rightarrow ^{28}_{14}\text{Si} + \beta^-$	Neutronenaktivierung	Analyse	≈ 4 MeV
$^9_4\text{Be} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{12}_6\text{C} + ^1_0\text{n}$	(α,n)-Reaktion	<1940	≈ 5.7 MeV
$^6_3\text{Li} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^3_1\text{T} + ^4_2\text{He}$	Lithiumreaktion (Tritiumerzeugung)	1952	≈ 4.8 MeV
$^{238}_{92}\text{U} \rightarrow ^{234}_{90}\text{Th} + ^4_2\text{He}$	α-Zerfall von Uran-238	natürlich	≈ 4.27 MeV
$^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow ^{222}_{86}\text{Rn} + ^4_2\text{He}$	α-Zerfall von Radium-226	natürlich	≈ 4.87 MeV
$^{210}_{84}\text{Po} \rightarrow ^{206}_{82}\text{Pb} + ^4_2\text{He}$	α-Zerfall von Polonium-210	natürlich	≈ 5.3 MeV
$^{241}_{95}\text{Am} \rightarrow ^{237}_{93}\text{Np} + ^4_2\text{He}$	α-Zerfall von Americium-241	Isotopenquelle	≈ 5.5 MeV
$^{212}_{83}\text{Bi} \rightarrow ^{208}_{81}\text{Tl} + ^4_2\text{He}$	α-Zerfall von Bismut-212	natürlich	≈ 6.1 MeV
$^{14}_6\text{C} \rightarrow ^{14}_7\text{N} + \text{e}^- + \bar{\nu}_{\text{e}}$	β ⁻ -Zerfall von Kohlenstoff-14	Radiodatierung	≈ 0.156 MeV
$^3_1\text{H} \rightarrow ^3_2\text{He} + \text{e}^- + \bar{\nu}_{\text{e}}$	β ⁻ -Zerfall von Tritium	Forschung / Umwelt	≈ 0.0186 MeV
$^{90}_{38}\text{Sr} \rightarrow ^{90}_{39}\text{Y} + \text{e}^- + \bar{\nu}_{\text{e}}$	β ⁻ -Zerfall von Strontium-90	Kernwaffentestfolge	≈ 0.546 MeV
$^{137}_{55}\text{Cs} \rightarrow ^{137}_{56}\text{Ba} + \text{e}^- + \bar{\nu}_{\text{e}}$	β ⁻ -Zerfall von Cäsium-137	Reaktorunglücke	≈ 1.17 MeV
$^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow ^{60}_{28}\text{Ni} + \text{e}^- + \bar{\nu}_{\text{e}}$	β ⁻ -Zerfall von Cobalt-60	Medizin/Industrie	≈ 2.8 MeV
$^7_4\text{Be} + \text{e}^- \rightarrow ^7_3\text{Li} + \nu_{\text{e}}$	Elektroneneinfang von Beryllium-7	Sonne	≈ 0.86 MeV
$^{40}_{19}\text{K} + \text{e}^- \rightarrow ^{40}_{18}\text{Ar} + \nu_{\text{e}}$	Elektroneneinfang von Kalium-40	Geodynamik	≈ 1.5 MeV
$^{26}_{13}\text{Al} + \text{e}^- \rightarrow ^{26}_{12}\text{Mg} + \nu_{\text{e}}$	Elektroneneinfang von Al-26	Kosmogen	≈ 4 MeV

Schädigung der Organe durch radioaktive Nuklide

Nuklid	Primär betroffenes Organ	Grund der Einwirkung
²²² Rn (Radon)	Lunge	Inhalation → Zerfallsprodukte lagern sich im Bronchialepithel ab
¹³¹ I (Iod-131)	Schilddrüse	Iod wird selektiv von der Schilddrüse aufgenommen
⁹⁰ Sr (Strontium-90)	Knochen	Strontium ist chemisch Calcium ähnlich → Einlagerung in Knochenmatrix
²¹⁰ Po (Polonium-210)	Lunge & andere Organe	α-Strahler; Aufnahme durch Nahrung/Inhalation → intensive Gewebeschädigung
¹³⁷ Cs (Cäsium-137)	Ganzkörper (v. a. Muskulatur)	Cäsium verhält sich wie Kalium → Verteilung im Weichgewebe
²³⁹ Pu (Plutonium-239)	Lunge / Knochen / Leber	Aufnahme durch Einatmen oder Nahrung → Speicherung in Organen
³ H (Tritium)	Gesamter Wasserhaushalt	Bindet sich in Wasser → verteilt sich gleichmäßig im Körper
²³⁸ U (Uran-238)	Nieren	Schwermetall-Toxizität + α-Strahlung → hohe Belastung der Nieren

Schädigung der Organe durch Strahlungsarten

Strahlungsart	Typisch betroffene Organe	Begründung der Einwirkung
α-Strahlung	Lunge, Leber, Knochenoberfläche	Sehr kurze Reichweite – gefährlich bei Inhalation oder Verschlucken radioaktiver Stoffe
β ⁻ -Strahlung	Haut, Augen, Knochenmark	Mittlere Reichweite – kann bei äußerer Exposition Haut oder Auge schädigen, bei innerer: Organe
γ-Strahlung	Gehirn, Schilddrüse, Magen-Darm, ganzer Körper	Hohe Durchdringung – wirkt tief im Körper, überall dort, wo Energie deponiert wird

Ergänzungen:

- **α -Strahlung** ist **am gefährlichsten bei innerer Exposition**, da sie extrem hohe Ionisationsdichte hat.
- **β -Strahlung** kann Verbrennungen auf Haut oder Augen verursachen, bei innerem Kontakt auch tieferes Gewebe schädigen.
- **γ -Strahlung** ist **besonders relevant für den Strahlenschutz**, da sie **schwer abzuschirmen** ist und **systemisch** wirkt.

Auswerten von Zerfallskurven

- Aus Messwerten vom Zerfall eines radioaktiven Präparates kannst du mit verschiedenen Methoden z.B. die Anfangsaktivität A_0 , die Zerfallskonstante λ und die Halbwertszeit $T_{1/2}$ bestimmen.
- Welche Methode du wählst hängt von der Aufgabenstellung und den vorhandenen technischen Hilfsmitteln wie GTR oder Tabellenkalkulation ab.

Absorptionsgesetz, Absorptionskoeffizient und Halbwertsschichtdicke

- Für die Zählrate R von ionisierender Strahlung hinter einem Absorber der Schichtdicke d gilt bei γ -Strahlung und oft auch bei α - und β -Strahlung $R(d) = R_0 \cdot e^{-\mu \cdot d}$ mit dem Absorptionskoeffizienten μ .
- Die Halbwertsschichtdicke $d_{1/2}$ ist die Schichtdicke des Absorbers, hinter der sich die Zählrate R halbiert.
- Zwischen der Absorptionskonstante μ und der Halbwertsschichtdicke $d_{1/2}$ besteht der Zusammenhang **$\mu = \ln(2) / d_{1/2}$**

Auswerten von Absorptionskurven

- Aus Messwerten z.B. der Zählrate R ionisierender Strahlung hinter Absorbern kannst du mit verschiedenen Methoden z.B. die Zählrate R_0 ohne Absorber, den Absorptionskoeffizienten μ und die Halbwertsschichtdicke $d_{1/2}$ bestimmen.
- Welche Methode du wählst hängt von der Aufgabenstellung und den vorhandenen technischen Hilfsmitteln wie GTR oder Tabellenkalkulation ab.

Energiebilanz beim Beta-Plus-Zerfall

- Beim Beta-Plus-Zerfall wandelt sich im Mutterkern X ein Proton in ein Neutron um. Gleichzeitig wird ein β^+ -Teilchen (Positron) und ein Elektron-Neutrino ν_e emittiert. Die Ordnungszahl des Tochterkerns Y ist um 1 kleiner als die des Mutterkerns, die Massenzahl bleibt gleich.
- Die Reaktionsgleichung lautet **$X \rightarrow Y + \beta^+ + \nu_e$**
- Der Q -Wert berechnet sich mit Atommassen durch **$Q = [m_a(X) - m_a(Y) - 2m_e] \cdot c^2$**

Energiebilanz beim Alpha-Zerfall

- Beim Alpha-Zerfall emittiert der Mutterkern X ein α -Teilchen (He-Kern). Die Ordnungszahl des Tochterkerns Y ist um 2, die Massenzahl um 4 kleiner als die des Mutterkerns.
- Die Reaktionsgleichung lautet $\mathbf{X \rightarrow Y + \alpha}$
- Der Q-Wert berechnet sich mit Atommassen durch $\mathbf{Q = [m_a(X) - m_a(Y) - m_a(\alpha)] \cdot c^2}$

Energiebilanz beim Beta-Minus-Zerfall

- Beim Beta-Minus-Zerfall wandelt sich im Mutterkern X ein Neutron in ein Proton um. Gleichzeitig wird ein β^- -Teilchen (Elektron) und ein Anti-Elektron-Neutrino $\bar{\nu}_e$ emittiert. Die Ordnungszahl des Tochterkerns Y ist um 1 größer als die des Mutterkerns, die Massenzahl bleibt gleich.
- Die Reaktionsgleichung lautet $\mathbf{X \rightarrow Y + \beta^- + \bar{\nu}_e}$
- Der Q-Wert berechnet sich mit Atommassen durch $\mathbf{Q = [m_a(X) - m_a(Y)] \cdot c^2}$

Dosimetrie und Dosisseinheiten bei ionisierender Strahlung

- Die **Energiedosis D**, die ein Körper durch ionisierende Strahlung erhält, ist der Quotient aus der von dem Körper absorbierten Strahlungsenergie E und der Masse m des Körpers: $\mathbf{D=E/m}$. Die Energiedosis ist Grundlage der Dosimetrie im Strahlenschutz.
- Die **Ionendosis J**, die ein Körper durch ionisierende Strahlung erhält, ist der Quotient aus der durch Ionisation in dem Körper freiwerdenden elektrischen Ladung Q gleichen Vorzeichens und der Masse m des Körpers: $\mathbf{J=Q/m}$.
- Die **Äquivalentdosis H**, die ein Körper durch eine Energiedosis einer bestimmten Strahlung erhält, ist das Produkt aus der Energiedosis D und dem **Strahlungswichtungsfaktor** w_R der Strahlung: $\mathbf{H=w_R \cdot D}$.
- Die **effektive Dosis E**, die ein Organ/Gewebe durch eine Äquivalentdosis erhält, ist das Produkt aus der Äquivalentdosis H und dem **Gewebewichtungsfaktor** w_T des absorbierenden Organs/Gewebes: $\mathbf{E=w_T \cdot H}$.