

1.1.6 Energieverlust von Elektronen

- Ionisationsverluste:

Streuung Elektron an Elektron: 2 identische (und somit ununterscheidbare) Teilchen mit Spin $\frac{1}{2}$... Die Berechnung ist nicht einfach! (Einfacher für Positronen e^+ , weil sie an nicht-identische Teilchen stoßen).

→ qualitativer Verlauf der Ionisationsverlust wie im Fall schwerer Teilchen: $S \propto \frac{1}{v^2} \dots$

- Strahlungsverluste:

„Bethe - Heitler - Formel“

$$-\frac{1}{E} \frac{dE}{dL} = Z^2 E f(E)$$

↑ lineare Funktion von $\ln E$

- Empirisch: $E \approx E_0 e^{-L/L}$

Anfangsenergie

L : Strahlungslänge

Abstand von der Quelle $\ll$ Länge der Flugbahn (Richtungsänderungen!)

1.2 Durchgang von Photonen durch Materie

Verschiedene Prozesse führen zur Streuung oder Absorption eines Photons:

* Anregung der Atome & Fotoeffekt

→ Wahrscheinlichkeit nimmt ab, wenn $E_\gamma \gg E_{\text{Bindung } e^-}$

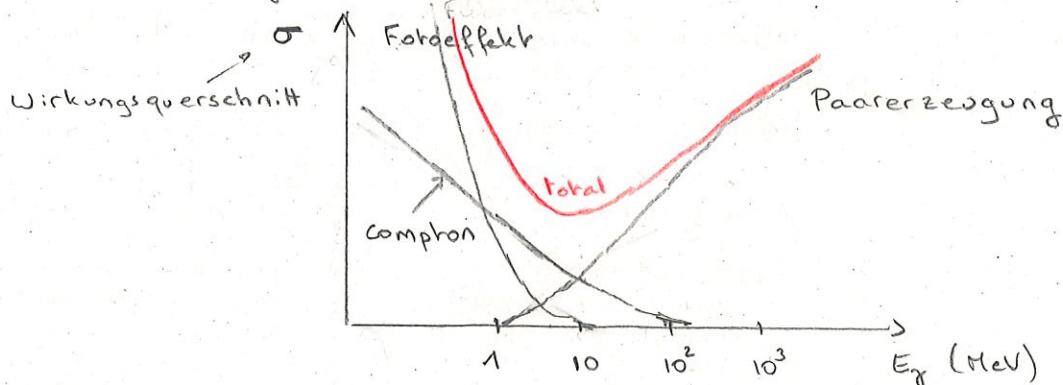
* Compton - Streuung $\gamma + e^- \rightarrow \gamma + e^-$ an die Hüllenelektronen, mit $\lambda_{\text{nach}} > \lambda_{\text{vor}}$

* Paarerzeugung $\gamma \rightarrow e^- + e^+$

→ das Coulomb-Feld der Atome ist nötig, um Energie und Impuls zu erhalten.

Nur möglich, wenn $E_\gamma > 1,022 \text{ MeV } (= 2m_e c^2)$!

* Möglich aber vernachlässigbar: Kernanregung, Kernfotoeffekt, „Spallation“ (= Kernverdampfung), Compton-Streuung an Kern



Wegen der Absorption / Streuung der individuellen Photonen kommt es zu einer Minderung der Intensität eines Photonenstrahls aus einer Quelle:

$$dI = -\sigma_{\text{tot}} I n \, dl \quad \text{Teilchendichte der Materie}$$

$$\rightarrow I = I_0 e^{-\sigma_{\text{tot}} n l} \equiv I_0 e^{-\mu l}$$

μ : Schwächungskoeffizient ; $\frac{\mu}{\rho}$: Massenschwächungskoeff.

für $E_\gamma \sim 1 \text{ MeV}$, $\frac{\mu}{\rho} \approx 0,05 \text{ cm}^2/\text{g}$

1.3 Durchgang eines Neutrons durch Materie

Nur starke WW mit den Atomkernen! Daher haben Neutronen eine größere Reichweite als geladene Teilchen. Wieder findet man empirisch $E = E_0 e^{-L/L}$ mit einer Strahlungslänge L .

2. Strahlungswirkung auf Lebewesen

2.1 Einheiten und Grenzwerte

Aktivität: 1 Bq (Becquerel) = 1 Zerfall/s

→ reicht aber nicht aus, um die Eigenschaften einer radioaktiven Quelle und deren Strahlung zu charakterisieren.

no Einheiten für die Wirkung von radioaktiver Strahlung:

- Ionendosis (J): Anzahl von Ionen, die durch ionisierende Strahlung pro Masseneinheit von Luft entstehen: in C/kg
(alte Einheit: Röntgen, $1 R \equiv 258 \cdot 10^{-6} \text{ C/kg}$)
- Energiedosis (D): Energie, die durch ionisierende Strahlung auf ein Material pro Masseneinheit übertragen wird: in Gray $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$
(alte Einheit: Rad, $1 \text{ rd} = 10^{-2} \text{ Gy}$)

- Relative biologische Wirksamkeit (RBW):

$$RBW_{Y,E} \equiv \frac{D_{\text{Bezug}}}{D_Y}$$

D_Y = Energiedosis, die notwendig ist, um mit der Strahlungsart Y die gleiche biologische Wirkung E zu erzielen, wie mit einer Energiedosis D_{Bezug} von einer Bezugsstrahlung.

→ hängt vom betrachteten biologischen Effekt ab.

- Strahlungswichtungsfaktor (w_R)

→ beschreibt — ohne Bezug auf die Energiedosis oder auf den biologischen Effekt — die relative Wirksamkeit von unterschiedlichen Strahlungsarten

Strahlung	w_R
X, γ	1
e^- , μ^-	1
n, $E_n < 10$ keV	5
10 - 100 keV	10
100 keV - 2 MeV	20 ←
2 - 20 MeV	10
> 20 MeV	5
p, $E > 2$ MeV	5
α , Kernfragmente, schwere Kerne	20 ←

- Äquivalentdosis (H)

Maß für die Wirkung einer Strahlung, unabhängig vom biologischen Effekt : $H = D \cdot w_R$

Einheit : Sievert $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ (wie 1 Gy)

z.B. : α -Teilchen mit $D_\alpha = 1 \text{ Gy}$ $\Rightarrow H = 20 \text{ Sv}$

(alte Einheit : Rem — radiation equivalent man —
 $1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ Sv}$)

- effektive Dosis :

→ berücksichtigt (anhand von Wichtungsfaktor) die unterschiedliche Empfindlichkeit der Organe / Gewebe
 $\Rightarrow$ s. Tabelle in den Folien

Durchschnittliche Äquivalentdosis aus natürlichen Strahlungsquellen in Deutschland : $\sim 2,4 \text{ mSv/Jahr}$

Davon kosmische Strahlung : $\sim 0,3$

Radon (aus Boden) $\sim 1,1$ (ortsabhängig!)

Nahrung (^{40}K) $\sim 0,3$

Durchschnittliche Äquivalentdosis aus künstlichen Quellen in Deutschland $\sim 2 \text{ mSv / Jahr}$

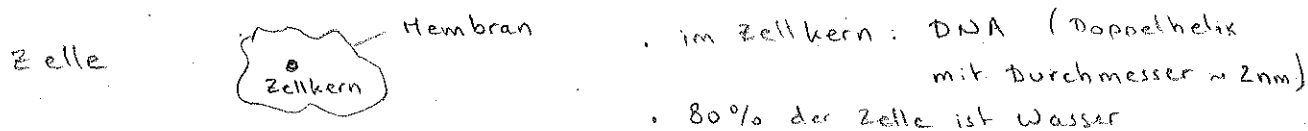
Davon: Röntgendiagnostik im Mittel $1,9 \text{ mSv / Jahr}$
(zwischen $0 - 50 \text{ mSv!}$)

Transatlantikflug: $\approx 0,1 \text{ mSv}$
eine Zigarette: $0,07 \text{ mSv}$

International Commission for Radiation Protection empfiehlt für beruflich exponierte Personen maximum 20 mSv / Jahr im 5-Jahres Schnitt.

2.2 Strahlungswirkung

Effekte von Strahlung auf Zellen



Strahlung wirkt ionisierend:

- direkte Zerstörung der DNA oder
- Ionisation von Wasser $\rightarrow \text{OH}^\bullet$ -Ionen (Hydroxyl)
 - $\rightarrow$ Zerstörung von H-Brücken oder Entstehung von H_2O_2 (Zellgift)

Wenn ein einziger DNA-Strang kaputt geht, wird er binnen Stunden repariert. Problem wenn beide Stränge zerstört werden.

$\rightarrow \alpha$ -Teilchen (& schwerere Kerne) haben eine kurze Reichweite

$\rightarrow$ die Wahrscheinlichkeit, dass ein α -Teilchen in der Zelle beide DNA-Stränge zerstört, ist höher als bei β oder γ -Strahlung ($\rightarrow w_{R,\alpha} > w_{R,\beta}, w_{R,\gamma}$).

Wenn die DNA kaputt ist:

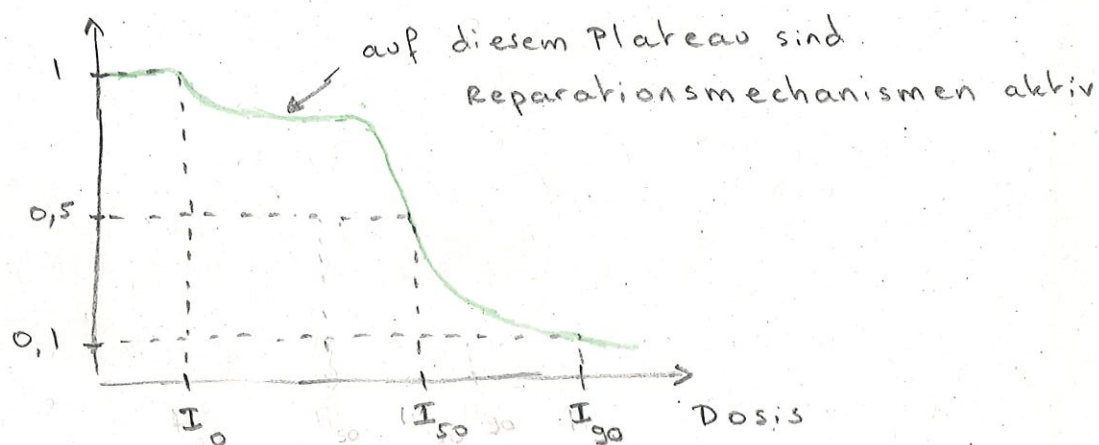
- die Zelle kann sterben (ungefährlich, wenn nicht zu viele auf einmal)
- die Zelle kann genetisch verändert werden, was zu unkontrollierter Zellteilung führt $\rightarrow$ Krebs
- falls im Genitalbereich, können Erbschäden verursacht werden.

Welche Dosis ist tödlich?

Wichtig: einmal eine große Dosis ist nicht das gleiche wie eine Dauerbelastung mit niedriger Dosis.

Studien aus Hiroshima & Nagasaki + Strahlenunfälle

→ Überlebenskurve (Wahrscheinlichkeit, 14 Tage zu überleben):



Dosis $< I_0 = 0,25 \text{ Sv}$
 $< 1 \text{ Sv}$

keine Effekte beobachtet.
unspezifische Krankheit nach 3 Wochen.
Erholung ist wahrscheinlich.

$I_{50} \approx 4,5 \text{ Sv}$

1-2 Stunde nach Bestrahlung, erste
Symptome der Strahlenkrankheit.
50% Überlebende nach 2 Wochen.

$I_{90} \approx 7 \text{ Sv}$

schneller Verlauf.

andere Lebewesen:

$I_{50} \text{ (Sv)}$	Ziege	3,5
	Mensch	4,5
	Affe	5
	Hamster	10
	Schnecke	200
	Wespe	10^3
	Viren	2×10^3

hochentwickelte Organismen
sind anfälliger gegenüber
ionisierender Strahlung

Langzeitbelastungen: Ob es einen Schwellwert gibt oder
nicht ist diskutiert (schlechte Statistiken)

2.3 Strahlenschutz

- Abstand von Quellen maximieren (Fluß $\propto \frac{1}{r^2}$)
- Aufenthaltsdauer minimieren
- Abschirmung von Strahlung
 - γ , e^- , e^+ : Schwerbeton, Schwermetalle
 - n : Paraffin oder Wasser ; dahinter Absorber (Cd oder B)
 - p , α , schwere Kerne : dünne Folien reichen; jedoch gehen immer γ , $e^\pm$ damit einher $\rightarrow$ dicke Abschirmung

2.4 Proton-Therapie

- (oder mit schwereren Kerne: ^{12}C ...)
- Benutze den Bragg-Peak, um die Energie gezielt zu deponieren $\sim$ Krebsgeschwulst.