

12. April 2014

# STRAHLENSCHUTZ

---

Formelsammlung

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Physikalische Grundlagen</b>	<b>1</b>
1.1	Röntgenstrahlung . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Aufbau der Atomkerne</b>	<b>1</b>
2.1	Kernbausteine . . . . .	1
2.2	Massendefekt und Kernkräfte . . . . .	1
2.3	Radioaktivität . . . . .	2
2.4	$\alpha$ -Zerfall . . . . .	2
2.5	$\beta^-$ -Zerfall . . . . .	2
2.6	$\beta^+$ -Zerfall . . . . .	2
2.7	$\gamma$ -Strahlung . . . . .	2
2.8	K-Einfang . . . . .	2
2.9	Zerfall . . . . .	3
<b>3</b>	<b>biologische Wirkung von Strahlen</b>	<b>3</b>
3.1	Arten von DNA schäden . . . . .	4
<b>4</b>	<b>4 A</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>Jahresdosis</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>Strahlenschutzbereiche</b>	<b>5</b>
<b>7</b>	<b>Ortsdosis</b>	<b>6</b>
<b>8</b>	<b>Strahlenschutz- Verantwortlicher vs. Beauftragter</b>	<b>6</b>
<b>9</b>	<b>Strahlenschutz Planung</b>	<b>6</b>
<b>10</b>	<b>Dekontamination beim Menschen</b>	<b>7</b>

# 1 Physikalische Grundlagen

## 1.1 Röntgenstrahlung

In einer Röhre wird die Anode (Röntgen-Target) mit schnellen Elektronen beschossen. Beim Aufprall eines Elektrons wird dieses abgebremst und es entsteht ein Photon mit der Frequenz  $f_{(U_B)}$ . Diese elektromagnetische Strahlung heisst **Bremsstrahlung**. Durch die unterschiedliche Abbremsung entsteht der sogenannte Bremsbuckel im Wellenlängen Spektrum.

$$hf_g = E = eU_B$$

$$\text{Grenzwellenlänge: } \lambda_g = \frac{c}{f_g} = \frac{hc}{eU_B} = \frac{1234nm}{U_B}$$

### Absorptionsgesetz

Die medizinische Röntgentechnik beruht auf der von Dichte und Ordnungszahl abhängigen Absorption von Röntgenstrahlung und Intensität  $I_0$  durch menschliches Gewebe.

$$I = I_0 e^{-\mu x}, \quad \mu \approx \frac{Z^k}{E^3}, \quad 3 \leq k \leq 4, \quad Z: \text{Kernladungszahl}$$

# 2 Aufbau der Atomkerne

$$\text{Kernradius: } r \approx 1,4 \cdot 10^{-15} \cdot \sqrt[3]{A} \cdot m$$

## 2.1 Kernpausteine

$$\begin{aligned} \text{Protonenmasse: } m_p &= 1.6726217 \cdot 10^{-27} \text{kg} = 1.00728 \text{u} \\ \text{Ladung: } Q_p &= +1.602177 \cdot 10^{-19} \text{C} = +1e \\ \text{Neutronenmasse: } m_n &= 1.6749273 \cdot 10^{-27} \text{kg} = 1.00866 \text{u} \\ \text{Ladung: } Q_n &= 0 \\ 1 \text{u} &= 1.660563886 \cdot 10^{-27} \text{kg} \quad 1 \text{kg} = 6.022050763 \cdot 10^{26} \text{u} \end{aligned}$$

## 2.2 Massendefekt und Kernkräfte

$$\begin{aligned} \text{Massendefekt: } \Delta m &= Z \cdot m_p + N \cdot m_n - m_K \\ \text{Kernbindungsenergie: } E_B &= \Delta m \cdot c^2 \end{aligned}$$

## 2.3 Radioaktivität

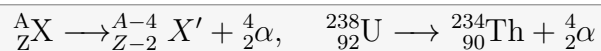
**Stabilitätskriterium:**  $\frac{N}{Z} \approx 1$ , N und Z gerade (gg-Kern)

**Entfernungsgesetz:**  $\dot{H} = \Gamma_H \cdot \frac{A}{r^2}$

$\Gamma_H$ : Äquivalentdosisleistungskonstante (für viele Nukleide tabelliert)

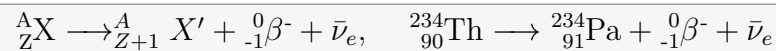
## 2.4 $\alpha$ -Zerfall

Beim  $\alpha$ -Zerfall wird ein zweifach ionisierter Heliumkern ( $\alpha$ -Teilchen) emittiert.  $\alpha$ -Strahlung ist **monoenergetisch** und charakteristisch für das zerfallende Isotop.



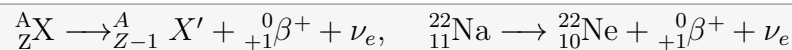
## 2.5 $\beta^-$ -Zerfall

Beim  $\beta^-$ -Zerfall wird ein **Elektron aus dem Kern** emittiert. Im Kern wird dabei ein Neutron in ein Proton umgewandelt.  $\beta$ -Strahlung hat eine **kontinuierliche Energieverteilung**, diese ist **nicht charakteristisch**. Außerdem wird ein **Elektronen-Antineutrino**  $\bar{\nu}_e$  emittiert, welches die restliche Energie mit sich nimmt.



## 2.6 $\beta^+$ -Zerfall

Beim  $\beta^+$  Zerfall wird ein **Positron**  $\beta^+$  und ein **Elektronen-Neutrino** emittiert.



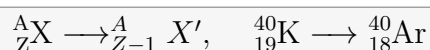
## 2.7 $\gamma$ -Strahlung

Nach radioaktiven Zerfällen oder Kernreaktionen bleiben Kerne oft in einem Angeregten Zustand. Die Anregungsenergie wird durch die Emission von  $\gamma$ -Quanten, **als hochenergetische Strahlung**, Photonen abgebaut.

Die Energie ist dabei **charakteristisch** für das emittierende Nuklid.

## 2.8 K-Einfang

Die Umwandlung eines Elektrons aus der K-Schale mit einem Proton des Kerns zu Einem Neutron. Als Folge entsteht oft  $\gamma$ -Strahlung da der Kern in einem Angeregten Zustand zurückgelassen wird.



## 2.9 Zerfall

**Zerfallskonstante:**  $\lambda$

**Zerfallsgesetz:**  $N_{(t)} = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

**Halbwertszeit:**  $T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$ ,  $\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}}$ ,  $T_{1/2,^{14}\text{C}} = 5730a$

**Aktivität:**  $A_{(t)} = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

## 3 biologische Wirkung von Strahlen

**(Energie-)Dosis:**  $D = \frac{E}{m} = \frac{dE}{dm}$  in 1 Gy (Gray) =  $1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$

**(Energie-)Dosisleistung:**  $DL = \dot{D} = \frac{dD}{dt}$  in  $1 \frac{\text{Gy}}{\text{s}}$  oder  $1 \frac{\text{Sv}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg s}}$   
 $\dot{D} = \frac{r \cdot A}{r^2}$

**Äquivalentdosis:**  $H = w_r \cdot D = Q \cdot N \cdot D$  in 1 Sv (Sievert) =  $1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$

$w_r$ : Strahlenwichtungsfaktor,  $N$ : modifizierenden Faktor

**Qualitätsfaktor:**  $Q$  in 1

**Effektive Dosis:**  $D_{\text{eff}} = \sum_T w_T \cdot H_T$

**Gewebe-Wichtungsfaktoren:**  $w_T$  in 1

**Organdosis:**  $H_{T,R} = w_R \cdot D_{T,R}$

T: betroffenes Organ, Gewebe oder Körperteil

R: Strahlungsart

**Strahlungswichtungsfaktor:**  $w_R$  in 1

**Ionendosis:**  $J = \frac{D}{f} = \frac{Q}{m_L} = \frac{dQ}{dm_L}$  in  $1 \frac{\text{C}}{\text{kg}}$

$m_L$ : Masse der Luft

**Röntgenstrahlung in der Diagnostik:**  $\lambda_{\text{min}} = \frac{h \cdot c}{E}$

**Intensität** =  $\text{konst.} \cdot I \cdot Z \cdot U^2$

### Umrechnung Alte-/Neue-Einheiten

	SI-Einheit	alte Einheit	Beziehung
Aktivität	Becquerel	Curie	$1 \text{ Ci} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$
	$1 \text{ Bq} = 1/\text{s}$	1 Ci	$1 \text{ Bq} = 2.7 \cdot 10^{-11} \text{ Ci}$
Energiedosis	Gray	Rad	$1 \text{ rd} = 0.01 \text{ Gy}$
	1 Gy	1 rd	$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rd}$
Äquivalentdosis	Sievert	Rem	$1 \text{ rem} = 0.01 \text{ Sv}$
effektive Dosis	1 Sv	rem	$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$
Ionendosis	Coulomb pro Kilogramm	Röntgen (R)	$1 \text{ R} \approx 2.58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$
	$1 \frac{\text{C}}{\text{kg}}$		$1 \frac{\text{C}}{\text{kg}} \approx 3876 \text{ R}$

Art der Strahlung	Energiebereich	$w_R$
Photonen, Strahlungsart ( $\gamma$ )	alle Energien	1
Elektronen und Myonen	alle Energien	1
Neutronen	<10 keV	5
	10 keV – 100 keV	10
	100 keV – 2 MeV	20
	2 MeV – 20 MeV	10
	>20 MeV	5
Protonen, außer Rückstoßprotonen	>2 MeV	5
Alphateilchen, Spaltfragmente schwere Kerne, Rückstoßkerne	alle Energien	20

### 3.1 Arten von DNA schäden

- Einzelstrangbruch
- Doppenstrangbruch
- Basenveränderung
- Basenverlust
- Denaturierung (Veränderung der Form, lösen der H-Brücken)
- DNA-Eiweiß-Vernetzung
- DNA-Quervernetzung

#### „Exzisionsreparatur“

1. Erkennen der schadhafte Stelle
2. Ausschneiden der fehlerhaften Nucleotidsequenz
3. Einsetzen der korrekten Nucleotide

## 4 4 A

- Aktivität
- Abschirmung
- Abstand
- Aufenthaltsdauer

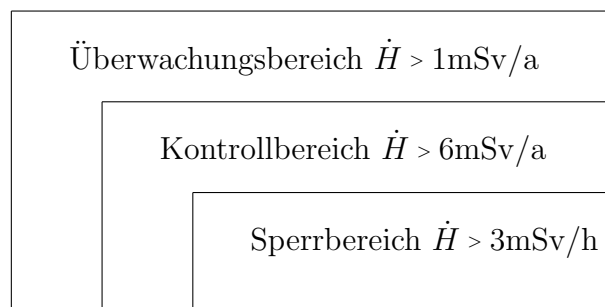
## 5 Jahresdosis

Strahlenexponierte Personen werden in aufgrund der Äquivalentsdosisleistung in 2 Kategorien aufgeteilt.

Kat. A  $\dot{H} > 6 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$

Kat. B  $\dot{H} > 1 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$

## 6 Strahlenschutzbereiche



**Überwachungsbereich:**  $\dot{H} > 1\text{mSv/a}$  bei 2000 h/a oder Aufenthaltszeit/a.

Überwachungsbereiche sind nicht zum Kontrollbereich gehörende betriebliche Bereiche, in denen Personen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 1 Millisievert oder höhere Organdosen als 15 Millisievert für die Augenlinse oder 50 Millisievert für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel erhalten können.

- dem Betrieb dienende Aufgabe
- Patienten, helfende Person
- Azubi (Ausbildungsziel!)
- Besucher

**Kontrollbereich:**  $\dot{H} > 6\text{mSv/a}$  bei 2000 h/a oder Aufenthaltszeit/a.

Kontrollbereiche sind Bereiche, in denen Personen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 6 Millisievert oder höhere Organdosen als 45 Millisievert für die Augenlinse oder 150 Millisievert für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel erhalten können.

- dem Betrieb dienende Aufgabe
- Patienten, helfende Person mit Zustimmung FK
- Azubi (Ausbildungsziel!)
- Bei Schwangeren mit Zustimmung SSB +...
- Dosimeter tragen!

**Sperrbereich:**  $\dot{H} > 3\text{mSv/h}$

Sperrbereiche sind Bereiche des Kontrollbereiches, in denen die Ortsdosisleistung höher als 3 Millisievert durch Stunde sein kann.

**Bei Röntgen kein Sperrbereich**

- dem Betrieb dienende Aufgabe mit Zustimmung FK
- Patienten, helfende Person mit Zustimmung FK

## 7 Ortsdosis

ICRU-Kugel: Kugel Ø 300mm aus gewebeäquivalent.

**Umgebungs-Äquivalentdosis**  $H_{(10)}^*$  in 10mm Tiefe

**Richtungs-Äquivalentdosis**  $H'_{(0.07)}$  in 0.07mm Tiefe

## 8 Strahlenschutz- Verantwortlicher vs. Beauftragter

Verantwortlicher

Beauftragter

- |   |  |
|---|--|
| • Organisation der Strahlenschutzes                                 | • Leitung oder Beaufsichtigung bei Umgang mit radioaktiven Stoffen                     |
| • Bestellung der Strahlenschutzbeauftragten                         | • Einhaltung aller Strahlenschutzvorschriften entsprechend seinem Entscheidungsbereich |
| • Verantwortung für die Einhaltung aller Strahlenschutzvorschriften |  |

## 9 Strahlenschutz Planung

Für Strahlenqualität i:  $s_i = z_i \cdot \log_{10} \cdot \left( \frac{W_a U T k_i q_i}{H_w} \right)$

$s_i$  Schichtdicke

$z_i$  Zentelwerts Dicke

$W_a$  Betriebsbelastung

$U$  Richtugsfaktor

$T$  Aufenthaltsfaktor

$k_i$  Reduktionsfaktor =  $\frac{a_0^2}{a^2}$ ,  $a_0$ : Fokusp. - Isozentrum,  $a$ : Fokusp. - Aufenthaltsort

$q_i$  Strahlungsqualität

$H_w$  zugelassene Wochendosis



## 10 Dekontamination beim Menschen

1. Kontaminierter Kleidung entfernen und Verpacken
2. Messen
3. Waschen
4. Abbrechen wenn Aktivität pro Hautfläche  $< 10 \frac{\text{GB}}{\text{cm}^2}$
5. zurück zu 2.

Kontamination des Messgeräts verhindern!