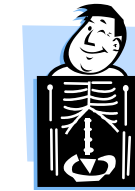


Dosimetrie der ionisierenden Strahlungen

1



Entdeckung
(Röntgenstrahlung,
Radioaktivität usw.)



Anwendung
(Vorteile, positive
Wirkungen)



Dosimetrie
(schädliche Folgen)



Das Abschätzen des Ausmasses der schädlichen Wirkung ist die Aufgabe der Dosimetrie, in erster Linie zur Prophylaxe.

2

Physikalische Strahlendosimetrie:

sie soll in den Geweben an einer vorliegenden Stelle die absorbierte Energie bestimmen

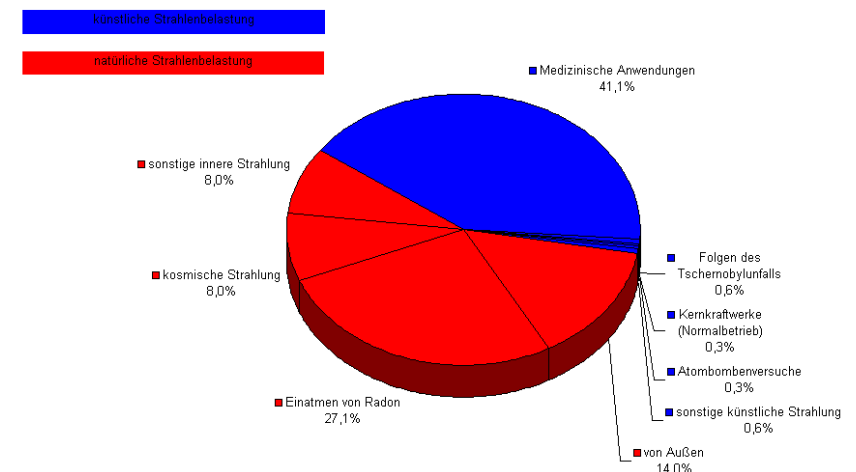
Aus dem Aspekt der biologischen Wirkung ist die Kenntnis der absorbierten Energie zwar von elementarer Bedeutung, *aber nicht ausreichend*.

Biologische Strahlendosimetrie:

sie soll auf eine erlittene Dosis von unbekannter Größe anhand von gut meßbaren, statistisch auswertbaren biologischen Änderungen geschlossen werden.

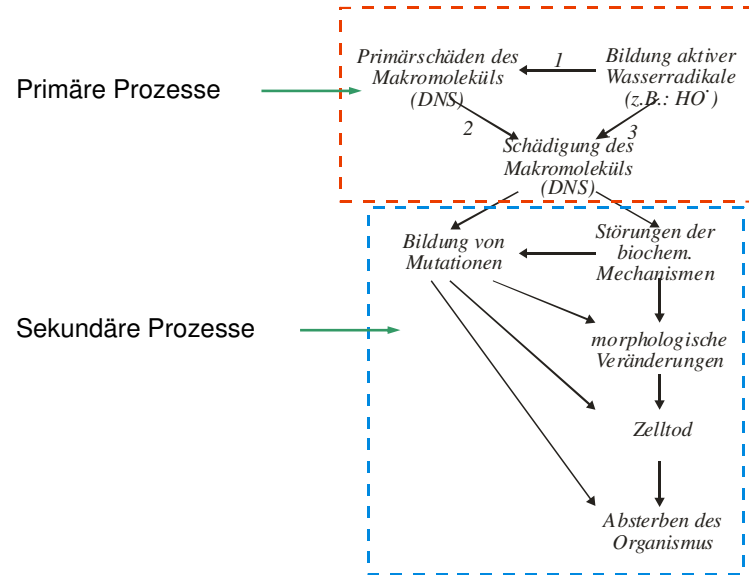
3

Alltägliche Strahlenbelastung

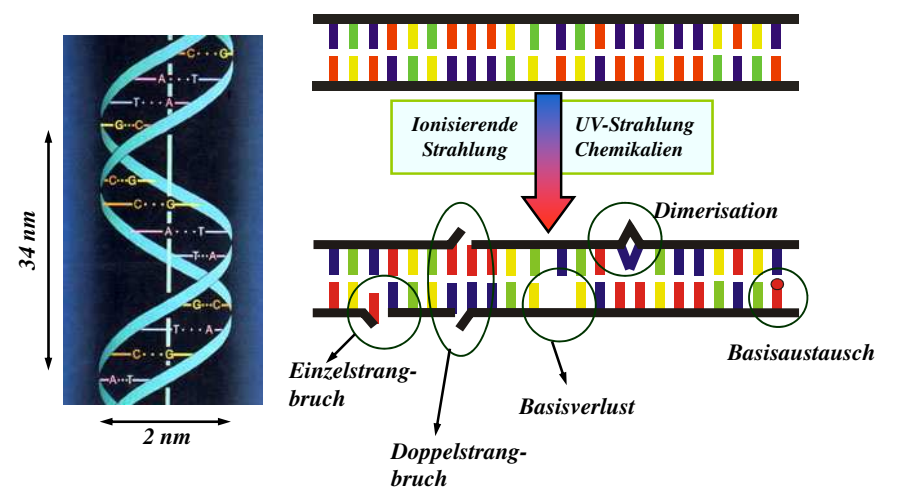


4

Der Mechanismus der Strahlenwirkung

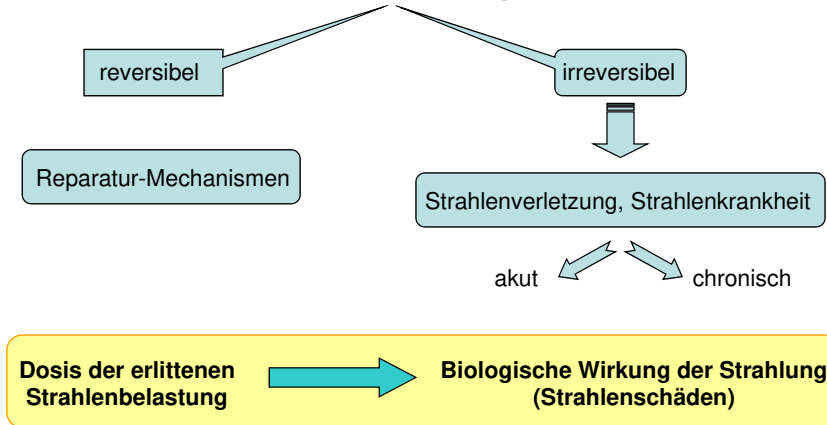


5



6

Strahlenwirkung

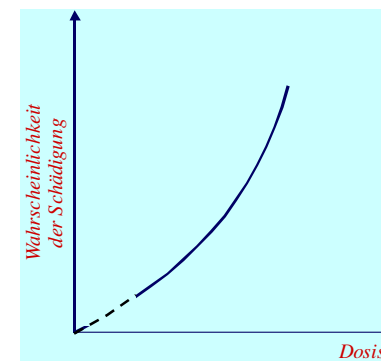


➤ Stochastische Wirkung

➤ Deterministische Wirkung

7

Stochastische Wirkung



• auf Molekül- oder Zellebene jeder Strahlenschädigung

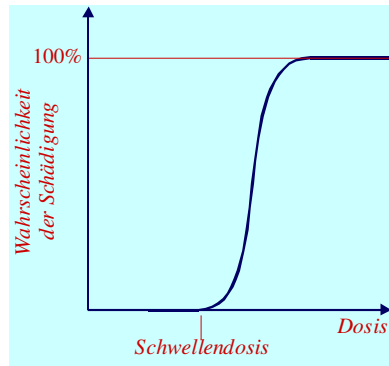
Erhöhung der Dosis erhöht "nur" die Wahrscheinlichkeit der Geschwulstentstehung, aber nicht den Schweregrad der Krankheit.

Es gibt keine Schwellendosis!

z.B.: Entstehung von bösartigen Geschwülsten (Krebs)

8

Deterministische Wirkung

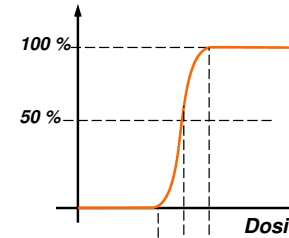


z.B.:

- Strahlenschädigung des roten Knochenmarks,
- Abnahme der Leukozyten,
- Erythem

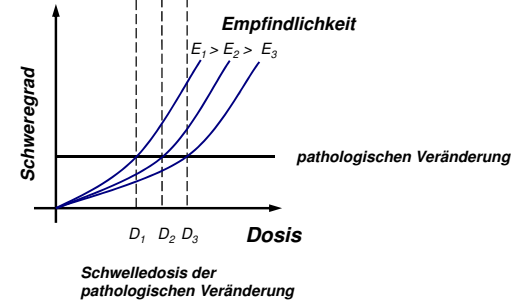
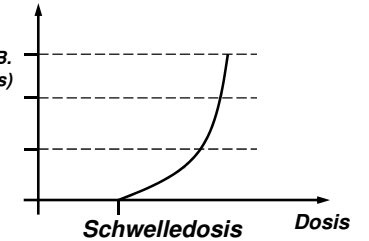
Erhöhung der Dosis erhöht den Grad der Schädigung

Wahrscheinlichkeit der Schädigung



Schweregrad

Schwere Veränderung (zB. Gewebenekrosis)
mittlere Veränderung
leichte Veränderung (zB. Erythema)



Dosisbegriffe

A. Energiedosis

$$\text{Energiedosis} = \frac{\text{absorbierte Strahlungsenergie}}{\text{Masse}}$$

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m} = \frac{\Delta E}{\rho \cdot \Delta V} \quad [D] = \frac{J}{kg} = Gy \text{ (Gray)}$$

Gültigkeit:

- für sämtliche Strahlungen
- keine Beschränkung auf Energie oder Materie



Louis Harold Gray
(* 10. November 1905 in London, † 9. Juli 1965 in Northwood)
war ein britischer Physiker und Radiologe sowie Begründer der Radiobiologie.

Strahlenbelastung und Dosisniveaus

letale Dosis (**LD**):

Diejenige Dosis, die innerhalb 30 Tagen beim 100 % der bestrahlten Personen zum Tod führt:

D > 6 Gy bei Ganzkörperbestrahlung

halbletale Dosis (**LD₅₀**):

Diejenige Dosis, die innerhalb 30 Tagen beim 50 % der bestrahlten Personen zum Tod führt:

D > 3-4 Gy bei Ganzkörperbestrahlung

Gebräuchliche Dosen in der Medizin bei normaler Fraktionierung 5 x 2 Gy/Woche

| | |
|---|-------------------|
| Strahlensensible Tumoren | 20 - 40 Gy |
| Mittelmäßig empfindliche Tumoren | 40 - 60 Gy |
| Strahlenresistente Tumoren | über 60 Gy |



B. Ionendosis

$$\text{Ionendosis} = \frac{\text{elektrische Ladung eines Vorzeichens}}{\text{Luftmasse}}$$

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m_{\text{Luft}}} = \frac{\Delta Q}{\rho_{\text{Luft}} \cdot \Delta V} \quad [X] = \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

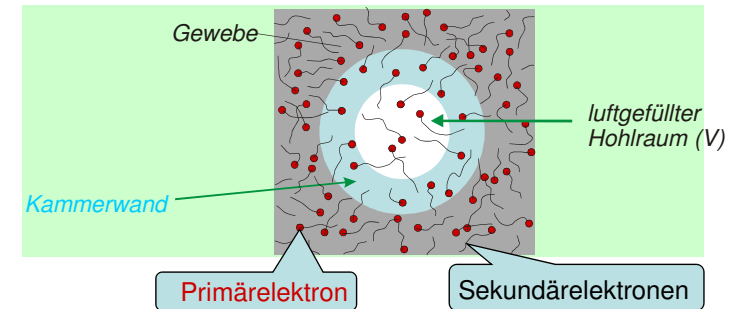
Gültigkeit:

- ✓ für Röntgen und Gamma-Strahlung
- ✓ in Luft
- ✓ bis ~ 3 MeV
- ✓ beim Elektronengleichgewicht!



Das Elektronengleichgewicht

Elektronengleichgewicht: die Zahl der aus dem Volumen V austretenden Elektronen mit der Zahl der eintretenden Elektronen übereinstimmt



Sekundärelektronen werden gemessen; sie tragen hauptsächlich zur Ionendosis bei.



Zusammenhang zwischen Ionendosis (X) und der Energiedosis (D) in einem Gewebe

Bezeichne f_0 die mittlere Energie zur Erzeugung eines Ionenpaares in Luft (~34 eV)

$$f_0 = 34 \text{ J/C}$$

f_0 : Energie/Ionenpaare
X = Ionenpaare/Masse

D = absorbierte Energie/Masse

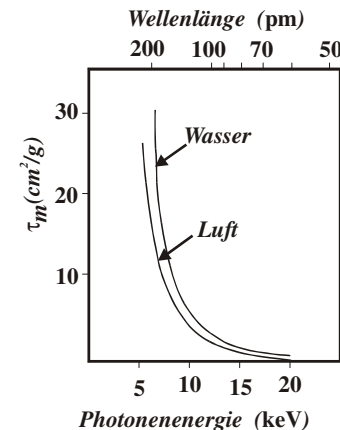


$$D_{\text{Luft}} = f_0 \cdot X \quad X \text{ ist in Luft gemessen!}$$

Wie kann man aus der Dosis in Luft die Dosis im Gewebe errechnen?



Beim Elektronengleichgewicht ist die Menge der Sekundärelektronen proportional zur Absorption der Photonen, welche mit dem Massenschwächungskoeffizient des Absorbents verbunden ist.



$$\frac{D_{\text{Gewebe}}}{D_{\text{Luft}}} = \frac{\mu_{m,\text{Gewebe}}}{\mu_{m,\text{Luft}}}$$

$$D_{\text{Gewebe}} = D_{\text{Luft}} \cdot \frac{\mu_{m,\text{Gewebe}}}{\mu_{m,\text{Luft}}}$$

$$D_{\text{Gewebe}} = f_0 X \cdot \frac{\mu_{m,\text{Gewebe}}}{\mu_{m,\text{Luft}}}$$



C. Äquivalentdosis

Zielsetzung: Charakterisierung der biologischen Wirkung einer Bestrahlung am Organ-Niveau

Ideen:

- die Wirkungen — es handelt sich jetzt um hauptsächlich biologische Wirkungen — hängen wegen der unterschiedlichen Ionisationsfähigkeiten von der Strahlungsart ab.
- Bei Bestrahlungen ist die Dosis im Körper nicht homogen verteilt: auf die Organe wirkt unterschiedliche Dosis ein.

Sei $D_{T,R}$: Energiedosis der untersuchten Strahlung (R) in einem Organ (T)

17



H_T : Äquivalentdosis

$$H_T = w_R \cdot D_{T,R}$$

| Strahlungsart | Strahlungs-Wichtungsfaktoren w_R (ICRP60) | |
|--|---|----|
| Photonen | pauschal | 1 |
| Elektronen (incl. β) | alle $e^- + \mu$ | 1 |
| Neutronen | $E < 10\text{keV}$ | 5 |
| | $10\text{-}100\text{keV}$ | 10 |
| | $0.1\text{-}2\text{ MeV}$ | 20 |
| | $2\text{-}20\text{MeV}$ | 10 |
| | $E > 20\text{MeV}$ | 5 |
| Protonen | $E > 2\text{MeV}$ | 5 |
| α , Schwerionen, Spaltfragmente | | 20 |

Der Strahlungswichtungsfaktor drückt aus, um wieviel die Wirksamkeit der gegebenen Strahlung bei der Auslösung der stochastischen Wirkung größer ist, als die der X bzw. γ -Strahlung.



ICRP Publ. 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection

| Strahlungsart | Strahlungswichtungsfaktor w_R |
|--|--|
| Photonen, alle Energien | 1 |
| Elektronen, Myonen, alle Energien | 1 |
| Protonen und geladene Pionen | 2 |
| Alphateilchen, Spaltfragmente, schwere Ionen | 20 |
| Neutronen | Eine kontinuierliche Funktion der Neutronenenergie |

$$w_R = \begin{cases} 2.5 + 18.2e^{-[\ln(E_n)]^2/6}, & E_n < 1\text{ MeV} \\ 5.0 + 17.0e^{-[\ln(2E_n)]^2/6}, & 1\text{ MeV} \leq E_n \leq 50\text{ MeV} \\ 2.5 + 3.25e^{-[\ln(0.04E_n)]^2/6}, & E_n > 50\text{ MeV} \end{cases}$$

19



Wenn unterschiedliche Strahlungsarten gleichzeitig wirken, ist die Äquivalentdosis:

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

$$[H_T] = \text{Sv (Sievert)}$$



Rolf Maximilian Sievert (* 6. Mai 1896 in Stockholm; † 3. Oktober 1966 in Stockholm) war ein schwedischer Physiker, der sich um die Einführung und die Weiterentwicklung des Strahlenschutzes verdient gemacht hat. Nach ihm wurde die Maßeinheit der Äquivalentdosis Sievert (Einheitenzeichen: Sv) benannt.

1 Sv ist diejenige Dosis einer ionisierenden Strahlung, die einen biologischen Effekt desselbes Maßes wie eine Röntgen oder Gamma-Strahlung mit einer Energiedosis von 1 Gy verursacht.

20



D. Effektivdosis

Idee: **Organe sind unterschiedlich empfindlich**

Die körpertgewebeabhängige Wichtungsfaktoren

| Organ/Gewebe | Wichtungsfaktor w_T |
|-------------------|-----------------------|
| Gonaden | 0.20 |
| rotes Knochenmark | 0.12 |
| Lunge | 0.12 |
| Magen | 0.12 |
| Brust | 0.05 |
| Schilddrüse | 0.05 |
| Leber | 0.05 |
| Blase | 0.05 |
| Knochenoberfläche | 0.01 |
| Haut | 0.01 |
| Übrige | 0.22 |
| Summe | 1.00 |

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

$$[E] = Sv \text{ (Sievert)}$$

w_T drückt die Wahrscheinlichkeit der relativen stochastischen Schädigung des bestrahlten Gewebes oder Organs T aus



ICRP Publ. 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection

| Gewebe | Gewebewichtungsfaktor w_T | $\sum w_T$ |
|--|-----------------------------|------------|
| Knochenmark (rot), Dickdarm, Lunge, Magen, Brust, Restgewebe * | 0,12 | 0,72 |
| Gonaden | 0,08 | 0,08 |
| Blase, Speiseröhre, Leber, Schilddrüse | 0,04 | 0,16 |
| Knochenoberfläche, Gehirn, Speicheldrüsen, Haut | 0,01 | 0,04 |
| Gesamt | | 1,00 |

* Restgewebe:
Nebennieren, extrathorakalen (ET) Region, Gallenblase, Herz, Nieren, Lymphknoten, Muskel, Mundschleimhaut, Bauchspeicheldrüse, Prostata (σ), Dünndarm, Milz, Thymus, Uterus / Zervix (φ)



Dosisleistung (Dosisrate):

$$P_D = \frac{\Delta D}{\Delta t}$$

$$[P_D] = \frac{mGy}{h}, \frac{\mu Gy}{h}$$

Für **punktförmige γ -Strahlungsquellen in Luft**:

$$P_D = K_\gamma \frac{A}{r^2} \Rightarrow D = K_\gamma \frac{A \cdot t}{r^2}$$

| Quelle | $K_\gamma \frac{\mu Gy_{Luft} \cdot m^2}{GBq \cdot h}$ |
|------------|--|
| ^{60}Co | 305 |
| ^{131}I | 54 |
| ^{137}Cs | 80 |

Siehe Praktikum: Dosimetrie

Bedeutung: Strahlenschutz



Strahlungsdetektor — Dosimeter

1.) Strahlungsdetektor:
Nachweis der Strahlungen

2.) Dosimeter:
Messung der Strahlendosis

Messsignal = f(Strahlendosis)



Strahlenschutz

ICRP — International Commission on Radiological Protection

Grundprinzipien:

- Rechtfertigung einer Tätigkeit
- Optimierung des Schutzes
- Individuelle Dosisbeschränkung

ad. a.: Der zu erwartende medizinische Nutzen > das Risiko von Schädigung

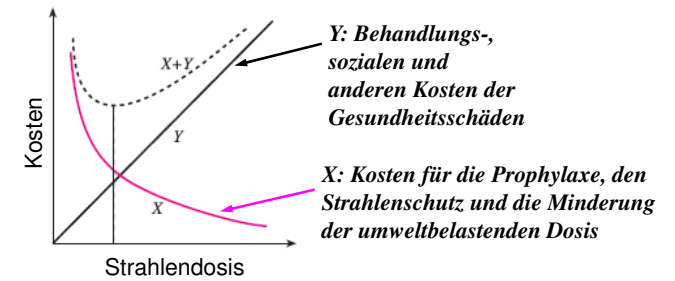
ad. b.:

- Kosten des Strahlenschutzes ↔ Gesundheitsrisiko
- ALARA-Prinzip

25



ALARA-Prinzip (As Low As Reasonable Achievable)



ALARA-Prinzip: Die Dosis soll während einer gegebenen strahlenexponierten Tätigkeit so gering sein, wie es sich vernünftig verwirklichen lässt. Dabei ist auch die wirtschaftliche und soziale Lage des betreffenden Landes zu berücksichtigen.

26



ad.c. Individuelle Dosisbeschränkung

Zielsetzung: Personen und ihre Nachkommen darf nicht einer Strahlenbelastung mit indiskutabler Wahrscheinlichkeit von Schädigungen ausgesetzt werden

| | Berufliche Strahlenexposition (mSv/Jahr) | Bevölkerung (mSv/Jahr) |
|------------------------------|--|------------------------|
| Effective Dosis | 20* | 1 |
| Äquivalentdosis (Augenlinse) | 150 | 15 |
| Extremitäten /Haut | 500 | 50 |

- Unter deterministischen Schwellendosis bleiben
- Das Risiko der stochastischen Schäden durch die berufliche Belastung < = das allgemeine Risiko von Berufsunfällen (10^{-4} Todesfälle/Jahr), (in der Bevölkerung 10^{-5} Todesfälle/Jahr)

*Im Durchschnitt von 5 Jahren, aber max. 50 mSv/Jahr

27