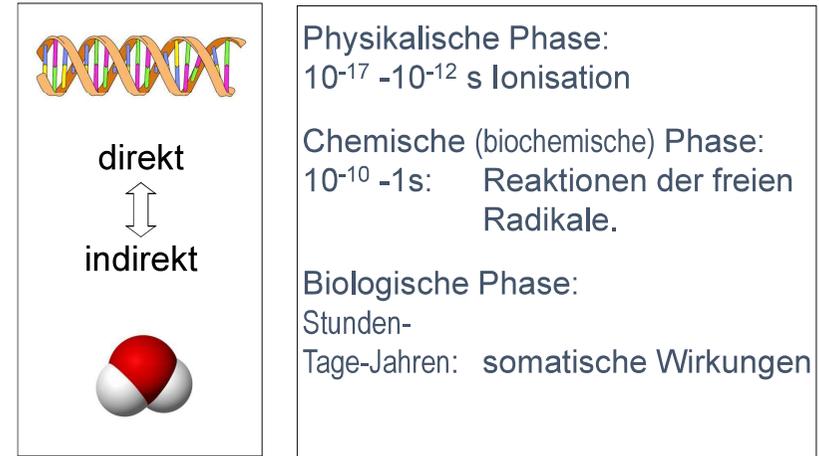


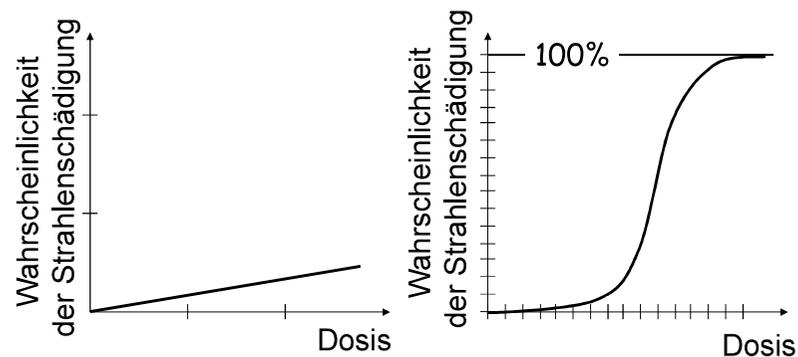
# Mechanismus der Strahlenschädigung

## Dosimetrie der ionisierenden Strahlungen



## Biologische Wirkung der Strahlung

Stochastische W.      Deterministische W.



## Biologische Wirkung der Strahlung

**Stochastische W.**  
 Kleine Dosis  
 Wenige eintreffende Teilchen  
 Zufällig vorkommende W.  
 Keine Schwellendosis  
 Schwere ist dosisunabhängig

**Deterministische W.**  
 Große Dosis  
 Viele eintreffende Teilchen  
 Unbedingt vorkommende W.  
 Nur über der Schwellendosis  
 Schwere steigt mit der Dosis

↓  
 Patiente der Rtg und Isotopdiagnostischen Untersuchungen.  
 Personal in Rtg und Isotoplaboratorien

↓  
 Unfälle  
*Strahlentherapie*

# Dosisbegriffe



## 1. Energiedosis

Def:

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m}$$

Die in  $\Delta m$  Masse aus der Strahlung absorbierte Strahlungsenergie

Maßeinheit  $J/kg = Gy$  (gray)

Gültig für sämtliche Strahlungen

Energiedosis:

$$D = \frac{dE}{dm} \quad [Gy]$$

Messung:

- Direkte Messung ist praktisch unmöglich (Temperaturänderung:  $\Delta T = 0,0015 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Gy}$ )

- Indirekte Methoden

- Ionisationskammer
- Halbleiterdetektor
- Thermolumineszenzdosimeter
- ...

1 Gy Symptomen der Strahlenkrankheit  
 4 Gy Halbletale Dosis  
 6 Gy Lethale Dosis (bei Ganzkörperbestrahlung)

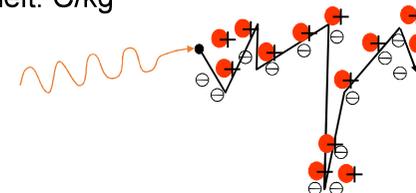
## 2. Ionendosis:

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m}$$

Die in  $\Delta m$  Masse entstandene positive oder negative Ladung.

Nur für  $\gamma$  und Röntgenstrahlung, in Luft!

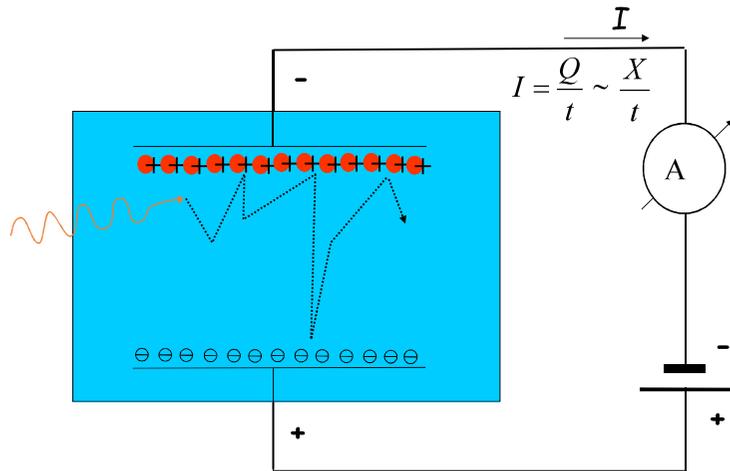
Maßeinheit: C/kg



## Ionendosis:

Ideal messbar mit einem Ionisationskammer

$$X = \frac{dQ}{dm}$$



## Ionendosis

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

Wie berechnet man die Energiedosis aus der Ionendosis?

Zu einer Ionisation braucht man 34 eV in Luft

$$34 \text{ eV} = 34 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \quad \longrightarrow \quad 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$34 \text{ J} \quad \longrightarrow \quad 1 \text{ C}$$

$$1 \frac{\text{C}}{\text{kg}} \Rightarrow 34 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 34 \text{ Gy}_{\text{Luft}}$$

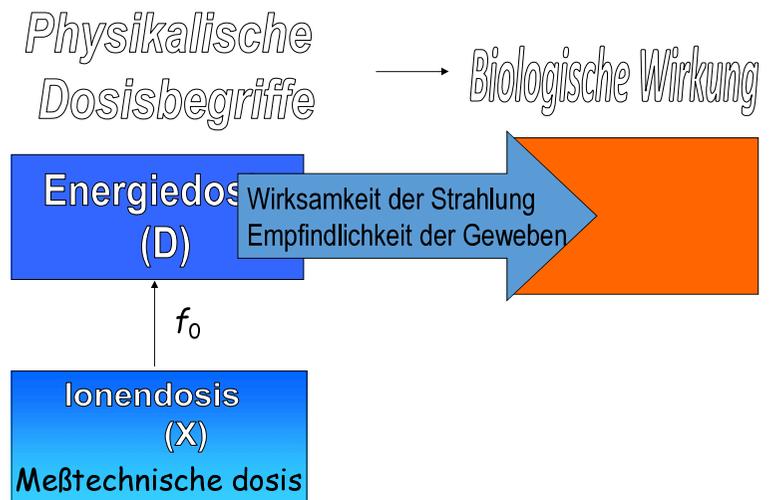
## Wie berechnet man die Energiedosis für Geweben?

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

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

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

Für Weichteilgeweben bei  $E_{\text{foton}} < 0,6 \text{ MeV}$ :  $\frac{\mu_{m,\text{Gewebe}}}{\mu_{m,\text{Luft}}} \approx 1,1$



## Strahlentherapie (Deterministische Wirkung)

Im allgemeinen

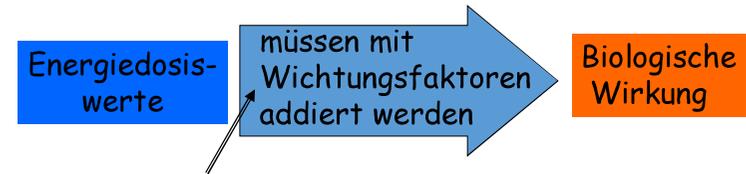
- eine Strahlungsart
- eine Gewebeart wird bestrahlt



## Strahlenschutz (Stochastische Wirkung)

Im allgemeinen

- unterschiedliche Gewebearten werden mit
- mehreren Strahlungsarten bestrahlt

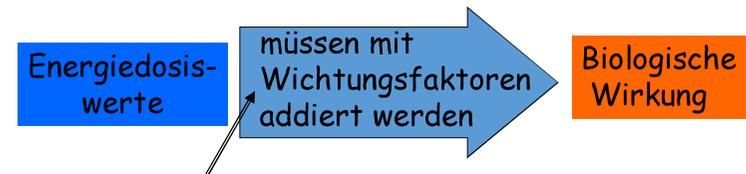


Wichtungsfaktoren: Wirksamkeit der Strahlung  $\leftarrow$   
Empfindlichkeit der Gewebe

Äquivalentdosis: 
$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R} \quad [\text{Sv}]$$

$D_{T,R}$  ist die aus R Strahlung in T Gewebe absorbierte Dosis.  
Die Äquivalentdosis ( $H_T$ ) gilt für alle ionisierenden Strahlungen und berücksichtigt die unterschiedliche Gefährlichkeit der Strahlungen.

zB: 
$$H_{\text{Haut}} = w_\alpha D_{\text{Haut},\alpha} + w_\beta D_{\text{Haut},\beta} + w_\gamma D_{\text{Haut},\gamma}$$



Wichtungsfaktoren: Wirksamkeit der Strahlung  $\leftarrow$   
Empfindlichkeit der Gewebe

Effektive Dosis: 
$$E = \sum_T w_T H_T \quad [\text{Sv}]$$

Gewichtete Summe der Äquivalentdosiswerte.

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

$$\sum_T w_T = 1$$

## $w_R$ Wichtungsfaktoren

Charakterisiert der Gefährlichkeit der Strahlung im Vergleich zur  $\gamma$ -Strahlung.

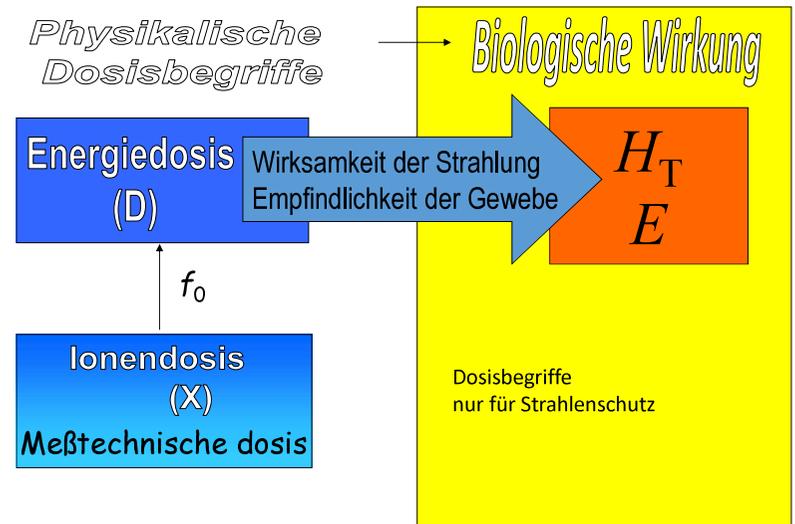
| Teilchen        | Energie        | $w_R$ |
|-----------------|----------------|-------|
| Foton           |                | 1     |
| Elektron        |                | 1     |
| Neutron         | <10 keV        | 5     |
|                 | 10 keV-100 keV | 10    |
|                 | 100 keV- 2 MeV | 20    |
|                 | 2 MeV - 20 MeV | 10    |
|                 | > 20 MeV       | 5     |
| Protonok        | > 2 MeV        | 5/2   |
| Alfa részecskék |                | 20    |

\* ab 1. Jan 2016 eine kontinuierliche Funktion

## Die $w_T$ Gewebe-Wichtungsfaktoren

| Gewebe/Organ   | $w_T$ | Gewebe/Organ      | $w_T$ |
|----------------|-------|-------------------|-------|
| Knochenmark    | 0,12  | Ösophagus         | 0,04  |
| Dickdarm       | 0,12  | Leber             | 0,04  |
| Lunge          | 0,12  | Schilddrüse       | 0,04  |
| Magen          | 0,12  | Knochenoberfläche | 0,01  |
| Mamme          | 0,12  | Gehirn            | 0,01  |
| Andere Geweben | 0,12  | Speicheldrüse     | 0,01  |
| Gonaden        | 0,08  | Haut              | 0,01  |
| Harnblase      | 0,04  |                   |       |

## Zusammenfassung der Dosisbegriffe



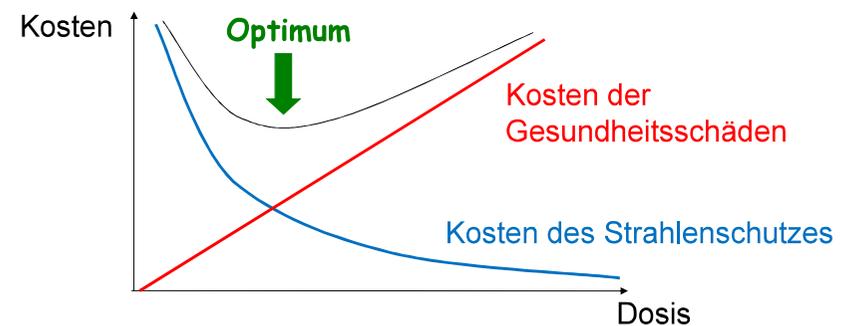
## Strahlenschutz

- Rechtfertigung der Tätigkeit
- Optimierung des Schutzes
- Individuelle Dosisbeschränkung

## ALARA Prinzip

As Low As Reasonable Achievable

rational, vernünftigerweise



# Dosisbeschränkungen\*

≠ erlaubte Dosis!

## Berufliche Strahlenexposition

- Ganzkörperbestrahlung (effektive Dosis):  
20 mSv/Jahr  
( $\approx 10 \mu\text{Sv}/\text{Arbeitsstunde}$ )\*\*
- Augenlinse ( $H_T$ ): 20 mSv/Jahr
- Haut, Extremitäten ( $H_T$ ): 150 mSv/Jahr

\*unterschiedlich in Vergleich der Werte in dem Buch!!!

\*\*Hintergrundstrahlungsleistung:  $\approx 0,1 \mu\text{Sv}/\text{h}$

# Einege typische Dosiswerte

Natürliche Hintergrundstrahlung: 2,4 mSv/Jahr

Die Hälfte aus Rn.

Patientendosen bei diagn. Untersuchungen:

gewöhnliche Röntgenaufnahme: 0,2-1 mSv

CT Aufnahme: 2-8 mSv

Therapie:

Interventionsradiologie

- Arzt: Hand: 100 mSv/2Monat
- Auge: 30 msv/2Monat
- Knie: 20 mSv/2Monat
- Gonad (unter dem Beimantel)  
        0,5 mSv/2hó

Patient: auch bis 1 Gy!!

Strahlentherapie: 45-60 Gy (2 Gy Fraktionen.)



# Schwellenwerte der deterministischen Strahlenschädigung

Knochenmark:

Erniedrigung der Produktion  
der Blutzellen: 0,5 Gy

Testikel:

Sterilität (reversible) 0,15 Gy  
(irreversible) 3,5-6 Gy

Augenlinse

Dämmerung 0,5-2 Gy  
Katarakt 5 Gy

Haut:

Erythema 2 Gy  
reversible Epilation 3 Gy

Ganzkörperbestrahlung: halblethale (Median lethale) Dosis: 4 Gy

lethale Dosis 6 Gy

# Risiken

Annehmbares Risiko

Alles ist gefährlich!

