

Dosimetrie der ionisierenden Strahlungen



Grundbegriffe

Zur Erinnerung

- Kernstrahlung:
 - Entsteht bei Kernumwandlung (Zerfall) α (He^{2+}), β (e^- , e^+), γ (EM.), n ... Strahlung
- Isotop (gleiche Protonenzahl, unterschiedliche Neutronenzahl)
- Radioaktives Isotop (unstabile, zerfällt sich, strahlt)
- Aktivität ($\text{Bq} = \text{Zerfall/s}$)
- Exponentielles Zerfallsgesetz

Wechselwirkung der Strahlungen mit der Materie

Kernstrahlungen — Absorption
Messung

Wechselwirkung \Rightarrow Energieübergabe

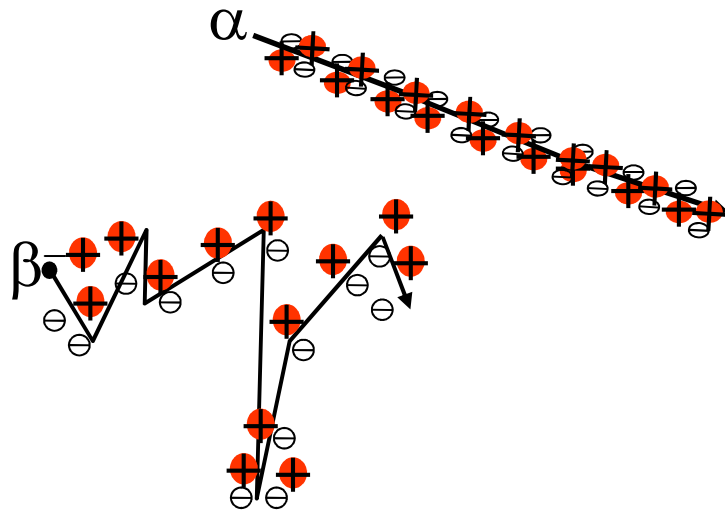
α
 β } geladene Teilchen \Rightarrow direkte Ionisation

γ
 n } keine Ladung \Rightarrow indirekte Ionisation

Nur Erinnerung

Schwächung der Strahlungen:

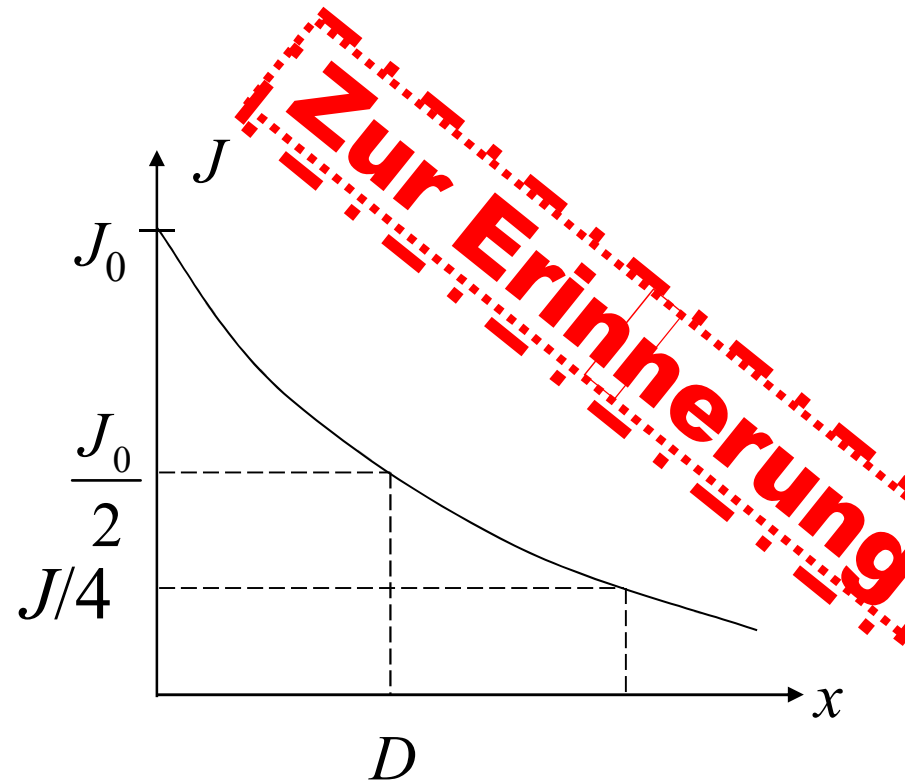
Geladene Teilchen



Ionisation \Rightarrow Energieverlust:

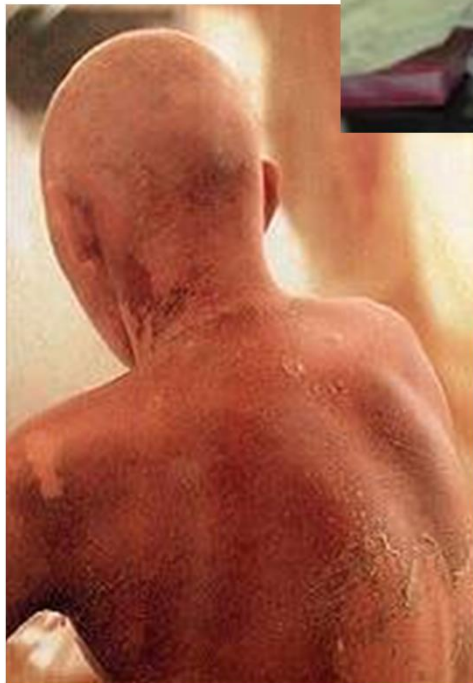
Reichweite: $\alpha < \text{mm}$, $\beta \approx \text{cm}$
in Gewebe

γ -Strahlung

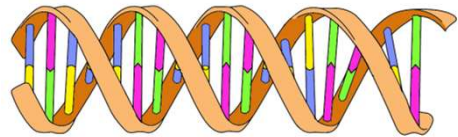


Exponentielle Schwächung
keine Reichweite

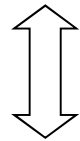
Biologische Wirkung der ionisierenden Strahlungen



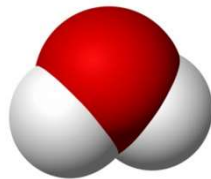
Mechanism der Wirkungen der Strahlungen



direkte



indirekte



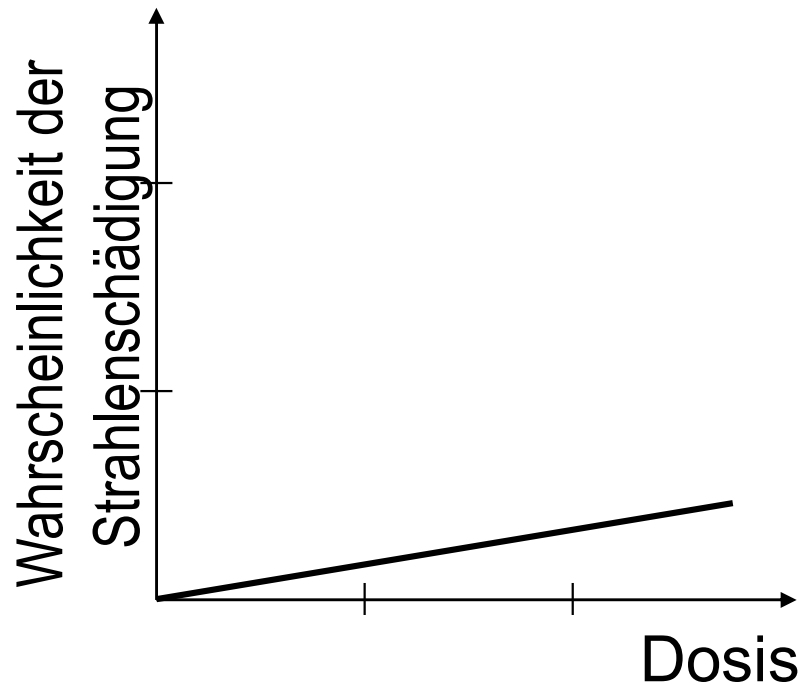
Physikalische Phase:
 10^{-17} - 10^{-12} s Ionisation

Chemische (biochemische) Phase:
 10^{-10} - 1s: Reaktion der freien
Radikale.

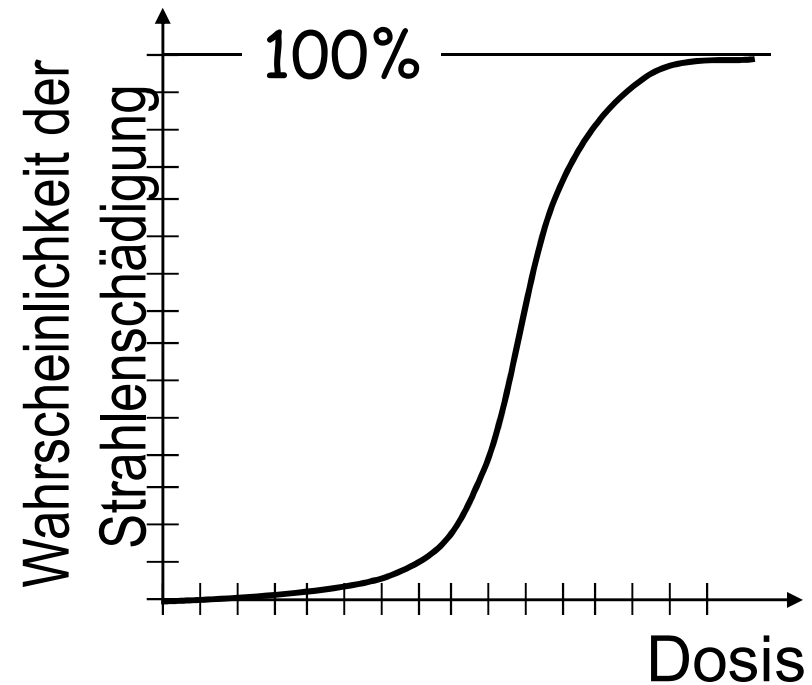
Biologische Phase:
Stunden: Gewebeschädigungen
Tage-Jahre: Somatische
Schädigungen, Tumor

Klassifizierung der Strahlenwirkungen

stochastische



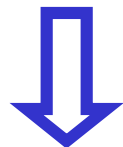
deterministische



Klassifizierung der Strahlenwirkungen

stochastische

Beim niedrigen Dosisniveau
Zufällig vorkommende
Keine Schwellendosis
Schwäregrad der Schädigung
ist dosisunabhängig.



Personal in den Röntgen
und Isotoplaboratorien

Patienten der Rtg oder
Isotopenuntersuchungen

deterministische

Beim hohen Dosisniveau
Kommt unbedingt vor über
einer Schwellendosis
Schwäregrad der Schädigung
nimmt zu mit der Dosis



Unfälle

Strahlentherapie

Dosisbegriffe

1. Ennergiedosis

Energiedosis:

$$D = \frac{dE}{dm}$$

Die in dm Masse
absorbierte
Strahlungsenergie

Einheit J/kg = Gy (gray)

➡ In 1 kg Masse absorbierte Energie

Energiedosis:

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

Messung:

- Die direkte Messung ist fast unmöglich
0minimale Temperaturerhöhung:
 $\Delta T = 0,006 \text{ } ^\circ\text{C} / 4 \text{ Gy}$
- indirekte Methode
 - Ionisationskammer
 - Halbleiterdetektor
 - Thermolumineszenz Dosimeter
 - ...

Dosisbegriffe

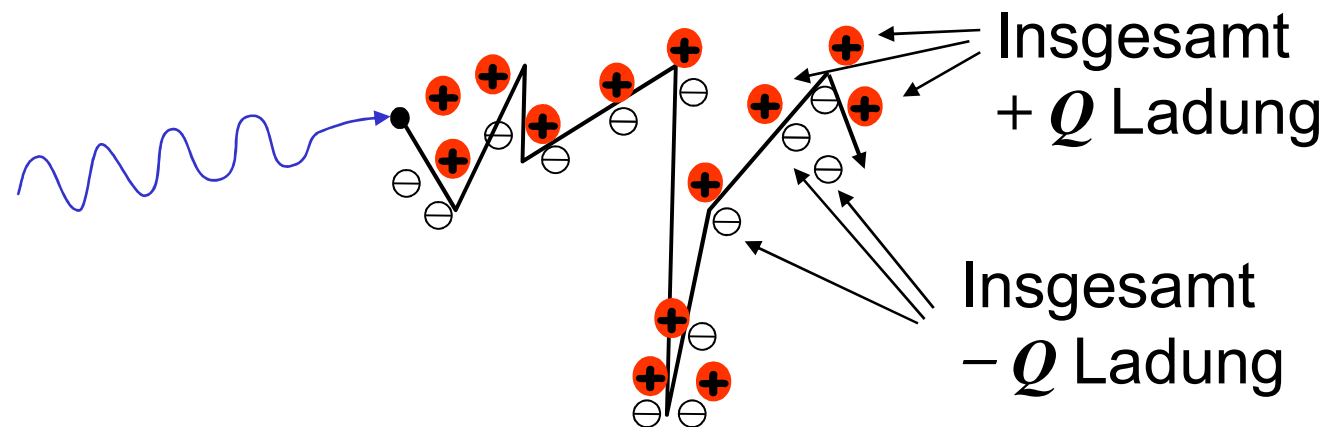
2. Ionendosis

Ionendosis:

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

Die in dm Masse
entstandene
positive Ladung

Maßeinheit: C/kg



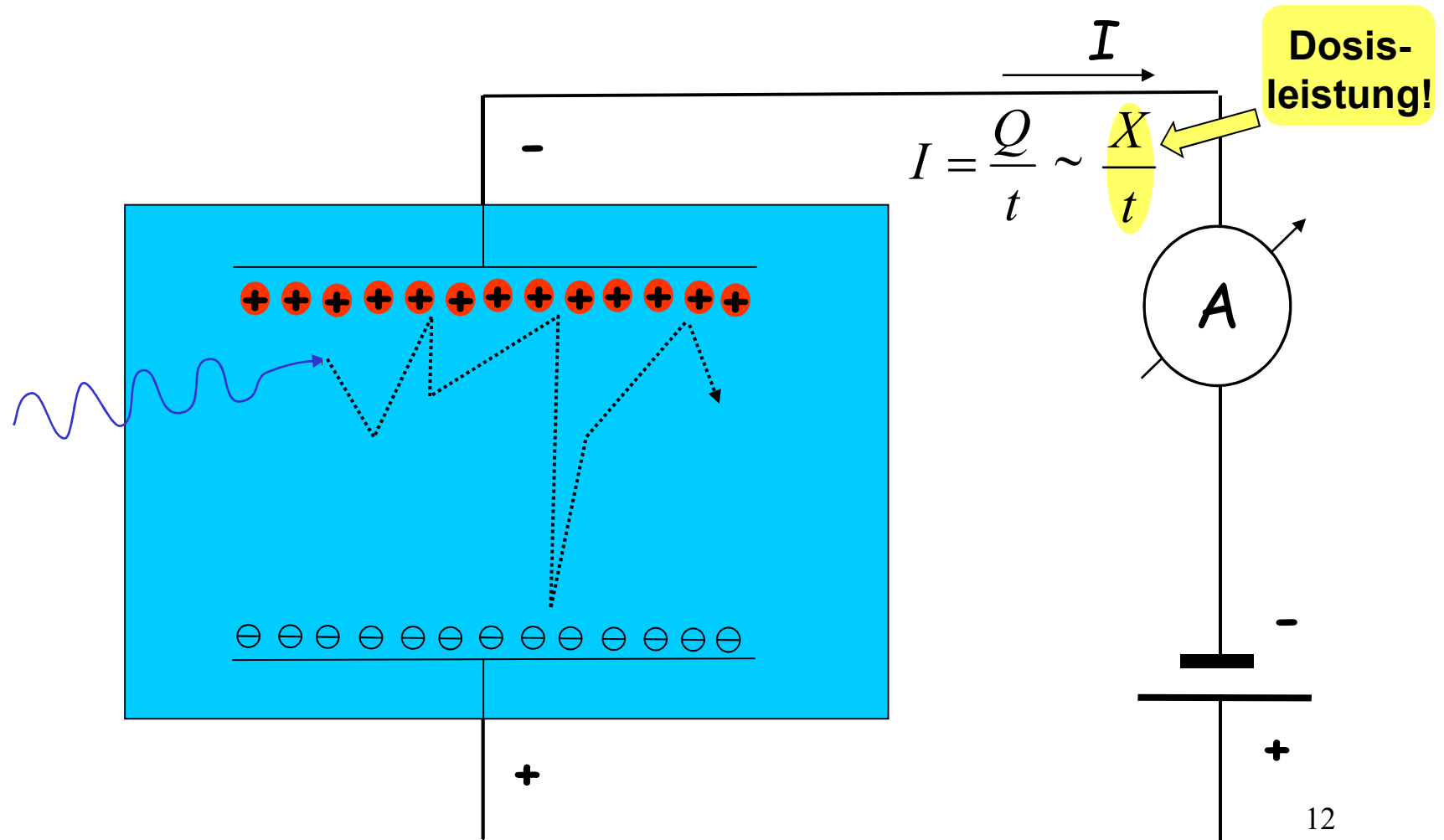
Nur für γ und Röntgenstrahlung

$E_{\text{photon}} < 3\text{MeV}$ in Luft

Ionendosis

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

Kann mit Ionisationskammer gemessen werden



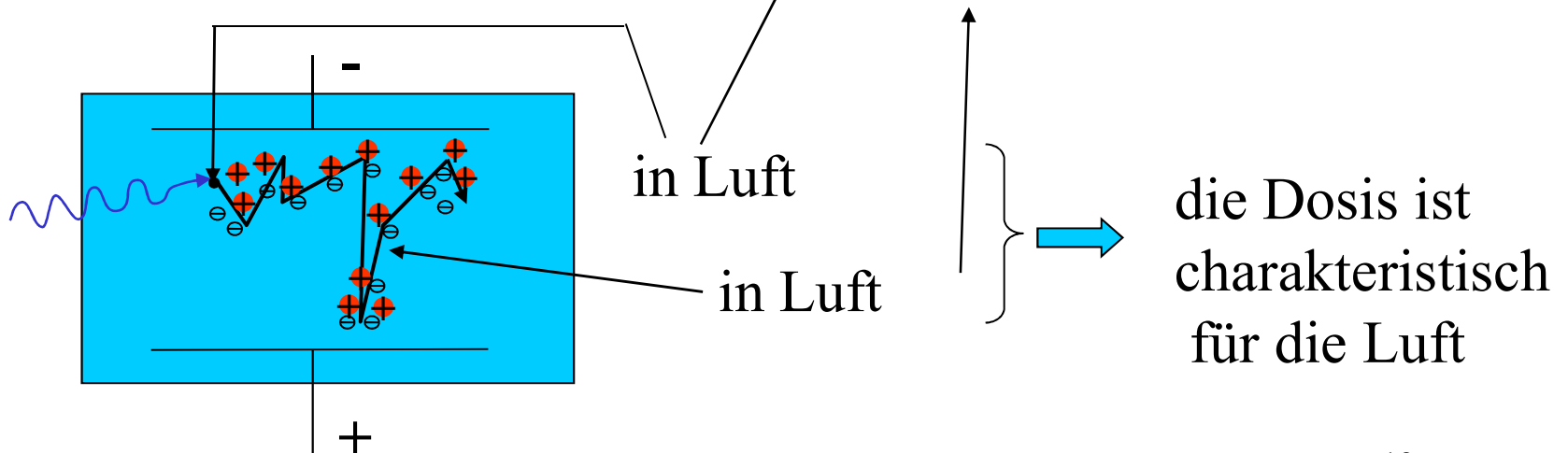
Ionendosis:

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

Wie kann in Energiedosis umgerechnet werden?

Zwei wichtige Faktoren:

- wo die Absorption des Photons passierte,
- wo entstehen die Ladungen



Ionendosis

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

Berechnung der Energiedosis aus der Ionendosis:

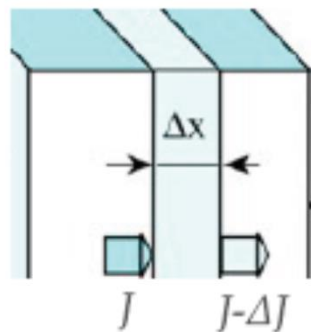
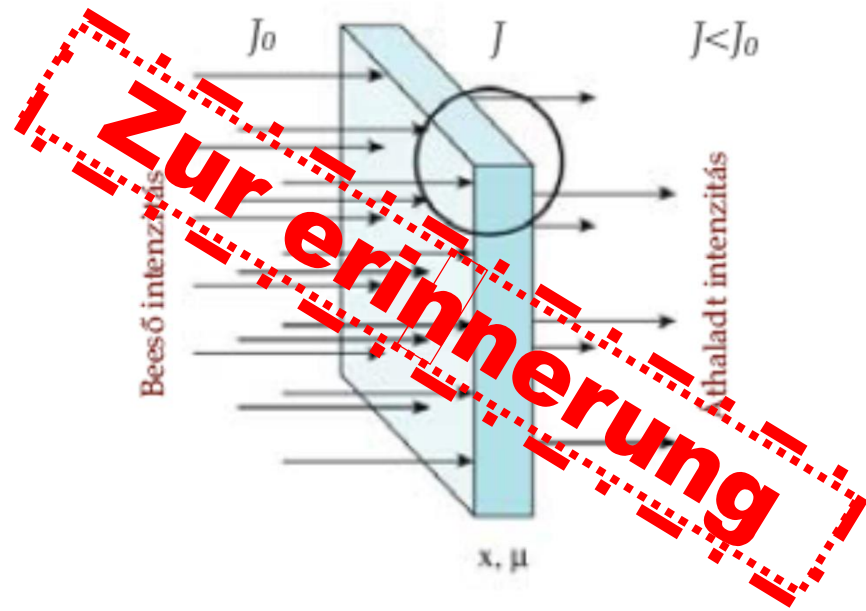
Man braucht 34 eV um einen Ionenpaar in Luft herzustellen

$$\begin{array}{ll} 34 \text{ eV} = 34 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} & \longrightarrow 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ 34 \text{ J} & \longrightarrow 1 \text{ C} \end{array}$$

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

* Für Elektronen. für Protonen, α Teilchen $\approx 35 \text{ eV}$

Energiedosis in Luft -> Energiedosis in Gewebe



Egy mennyiség (J) és annak megváltozása (ΔJ) egymással arányosak:

$$\Delta J = -\mu \Delta x J$$

Exponenciális függvény:

$$J = J_0 e^{-\mu x}$$

$$\Delta J = -\mu \Delta x J$$

$$J = \frac{E}{At}$$

$$\Delta E = |\Delta J| At$$

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m} = \frac{|\Delta J| At}{\rho A \Delta x} =$$

$$= \frac{\mu \Delta x J t}{\rho \Delta x} = \mu_m J t$$

$$D \sim \mu_m$$

Energiedosis in Luft -> Energiedosis in Gewebe

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

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

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

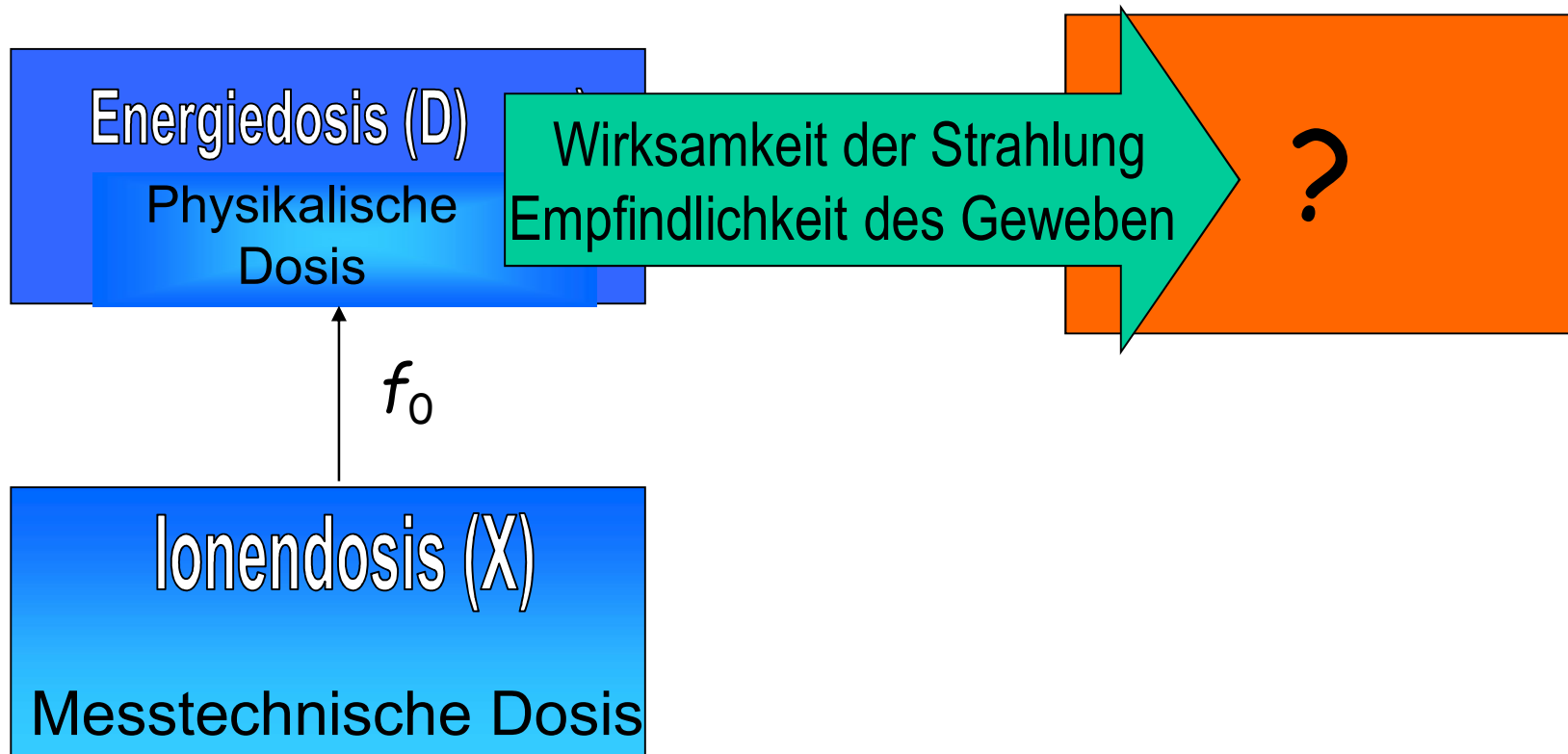
$E_{\text{Photon}} < 0,6 \text{ MeV}$, für Weichteilgewebe:

$$\frac{\mu_{m,\text{Gewebe}}}{\mu_{m,\text{Luft}}} \approx 1,1$$

*Physikalische Begriffe
zur Charakterisierung der Strahlung*



Biologische Wirkung



Die biologische Wirkung...

→ **Deterministische Wirkung** (z.B.: Strahlentherapie)

Typisch

- mit einziger Strahlungsart
- ein Organ wird bestrahlt

Energiedosis

proportional

Biologische Wirkung

→ **Stochastische Wirkung** (z. B. : Strahlenschutz)

Typisch

- mit mehreren Strahlungsarten
- mehrere Organe bestrahlt

Energiedosis

Wichtungsfaktoren

Biologische Wirkung



+



+



=



Energiedosis

Wichtungsfaktoren

Biologische Wirkung

Wichtungsfaktor: Wirksamkeit der Strahlung
Empfindlichkeit der Gewebe

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

$D_{T,R}$ ist die Energiedosis der Strahlung R im einem Organ T .

z. B.:

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

Wichtungsfaktor w_R

w_R gibt an, um wieviel die Wirksamkeit der Strahlung grösser ist, als die der γ -Strahlung. (Bei der stochastischen Schädigung!)

ICRP



EU



Staatliches Gesetz

Teilchen	Energia	w_R
Photon		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
Proton	> 2 MeV	5 2
Alpha Teilchen		20

*2016 jan 1-től:
folytonos fv.



Wichtungsfaktor: Wirksamkeit der Strahlung

Empfindlichkeit der Gewebe

Effektive Dosis:

$$E = \sum_T w_T H_T$$

[Sv]

w_T gibt an, die Wahrscheinlichkeit dass die Stochastische Schädigung als Ergebnis der Bestrahlung des gegebenen Organs T .

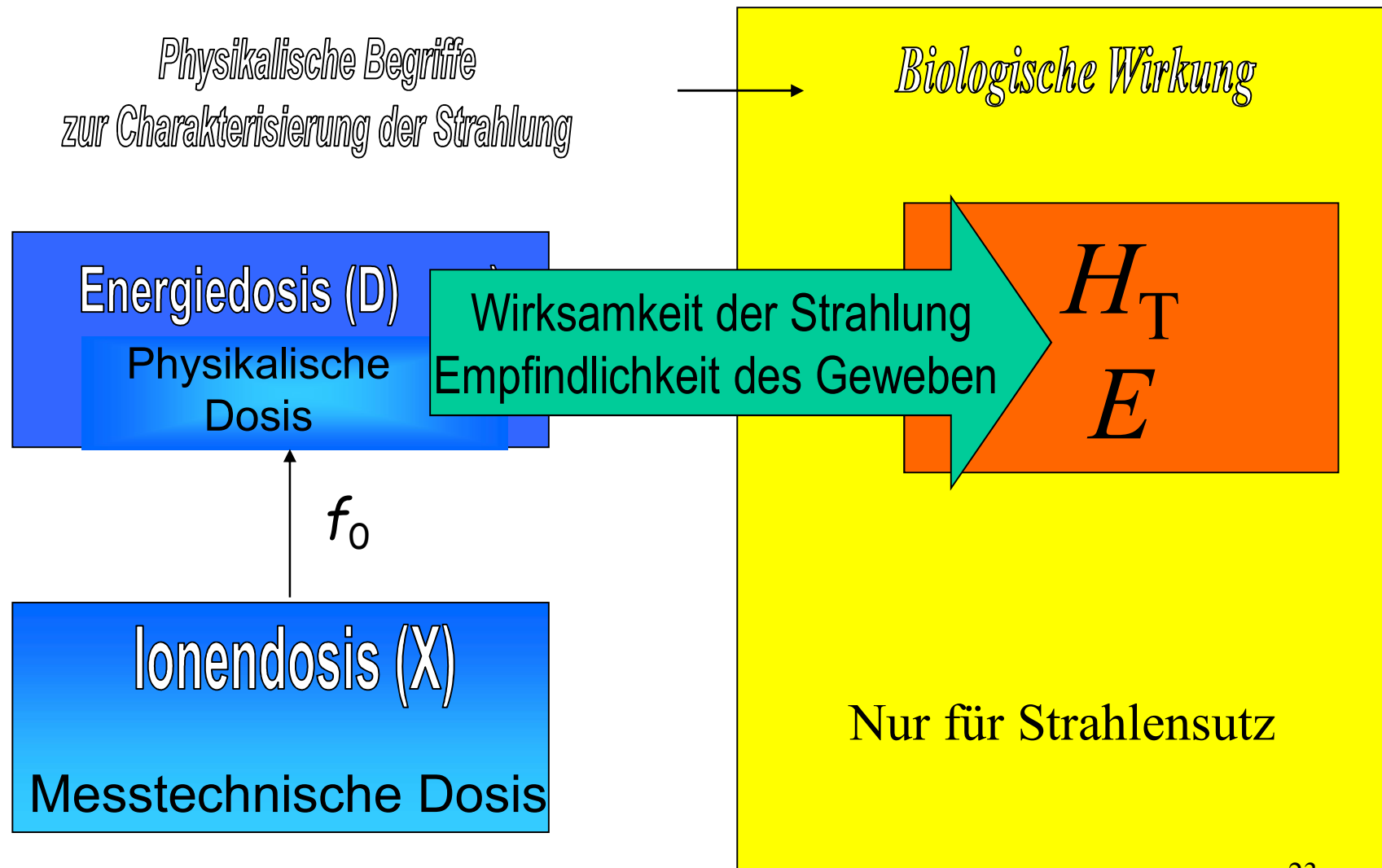
$$\sum_T w_T = 1$$

Bei einer homogenen Ganzkörperbestrahlung: $E = H$

Wichtungsfaktor w_T

Gewebe	w_T	Gewebe	w_T
Rotes Knochenmark	0,12	Speiseröhre	0,04
Dickdarm	0,12	Leber	0,04
Lunge	0,12	Schilddrüse	0,04
Magen	0,12	Knochenoberfläche	0,01
Brustdrüse	0,12	Gehirn	0,01
Andere Geweben*	0,12	Speicheldrüse	0,01
Gonaden	0,08	Haut	0,01
Blase	0,04		

Zusammenfassung der Dosisbegriffe



Strahlenschutz

Personal:

Rechtfertigung

Optimierung

Dosisbeschränkung

Rationelle Reduzierung der
stochastischen Schädigung

```
graph LR; A[Rationelle Reduzierung der stochastischen Schädigung] -- green arrow --> B[Optimierung]; C[Ausschließen der deterministischen Schädigungen] -- red arrow --> D[Dosisbeschränkung];
```

Patienten:

Rechtfertigung: cost-benefit Prinzip

Optimierung : diagnostische Empfehlungen

Ausschließen der
deterministischen Schädigungen

Dokumentierung der Patientendosen

Berechnung der Energiedosis bei einem γ -strahlenden Isotop

Punktförmige Strahlenquelle:

$$D = \frac{K_{\gamma} \Lambda t}{r^2}$$

K_{γ} : Dosiskonstante $\left[\frac{\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2}{\text{h} \cdot \text{GBq}} \right]$

Λ : Aktivität [Bq]

r : Abstand von dem Isotop [m]

t : Bestrahlungszeit [s,h]

z.B.: $K_{\gamma} = 80 \frac{\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2}{\text{h} \cdot \text{GBq}}$ für Isotop ^{137}Cs :

1 GBq ^{137}Cs in 1 m Abstand: 80 $\mu\text{Gy/h}$

800 x Hintergrundstrahlung 

Dosisbeschränkungen

- Die deterministische Schädigung ist zu vermeiden
- Das Risiko der stochastischen Schäden durch die berufliche Belastung \leq das allgemeine Risiko von Berufsunfällen (10^{-4} Todesfälle/Jahr),
- (in der Bevölkerung 10^{-5} Todesfälle/Jahr)

Dosisbeschränkung \neq erlaubte Dosis!

Dosisbeschränkungen: 1. für berufliche Belastung
2. für Bevölkerung

Patient: keine!!

Dosisbeschränkungen

≠erlaubte Dosis!

Beruflichen Strahlenexposition

- Ganzkörperbestrahlung 20 mSv/Jahr

(~ 10 μ Sv/ Arbeitsstunde)

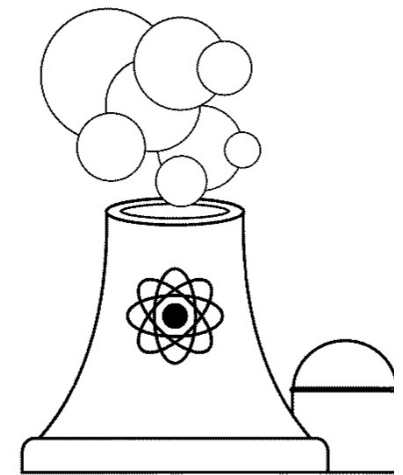
- Augenlinse 20 mSv/Jahr
- Haut 500 mSv/Jahr
- Extremitäten 500 mSv/Jahr

Dosisbeschränkungen

≠ erlaubte Dosis!

Bevölkerung (nur aus künstlichen Quellen)

- Ganzkörperbestrahlung: 1 mSv/J*
- Augenlinse: 15 mSv/év
- Haut: 50 mSv/év



*Hintergrund: $\approx 2,4$ mSv/J