

# Dosimetrie der ionisierenden Strahlungen



# Grundbegriffe

Zur Erinnerung

- Kernstrahlung:
  - Entsteht bei Kernumwandlung (Zerfall)  $\alpha$  ( $\text{He}^{2+}$ ),  $\beta$  ( $e^{-}, e^{+}$ ),  $\gamma$  (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

$\alpha$   
 $\beta$  } geladene Teilchen

$\gamma$   
 $n$  } keine Ladung

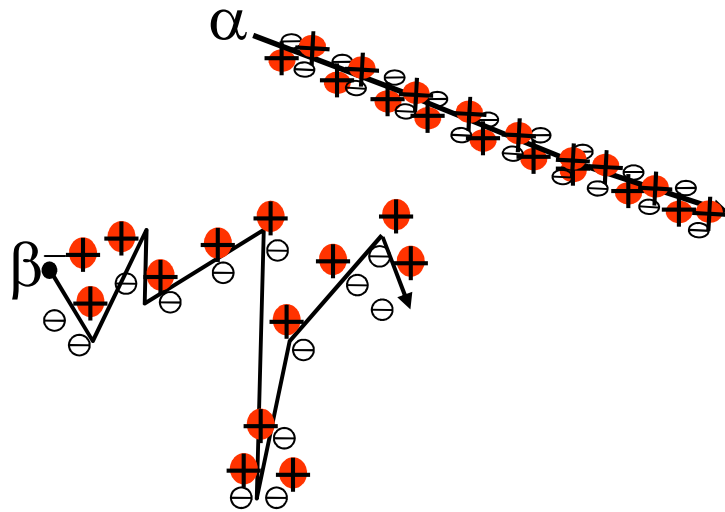
direkte Ionisation

indirekte Ionisation

**Nur Erinnerung**

# Schwächung der Strahlungen:

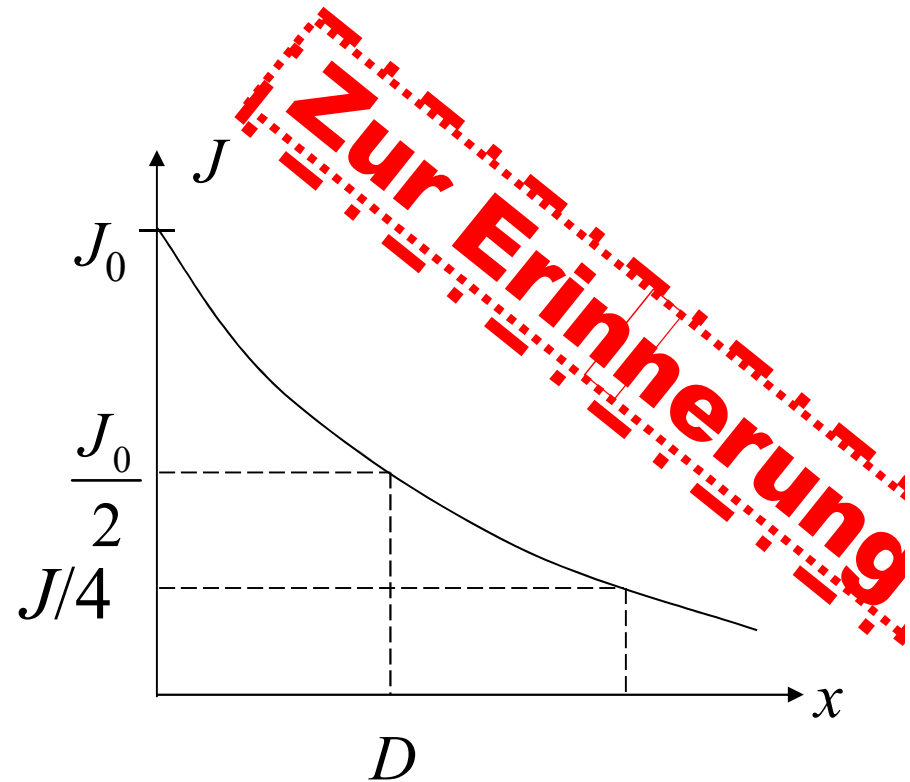
## Geladene Teilchen



Ionisation  $\Rightarrow$  Energieverlust:

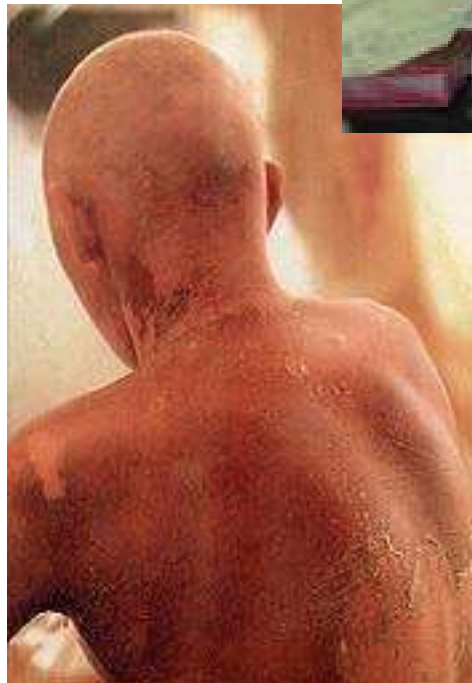
Reichweite:  $\alpha < \text{mm}$ ,  $\beta \approx \text{cm}$   
in Gewebe

$\gamma$ -Strahlung

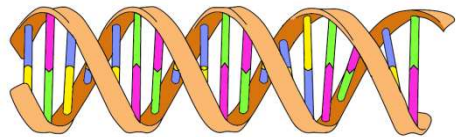


Exponentielle Schwächung  
**keine** Reichweite

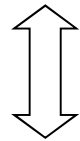
# Biologische Wirkung der ionisierenden Strahlungen



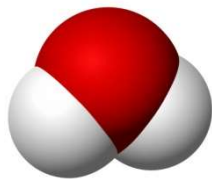
# Mechanism der Wirkungen der Strahlungen



direkte



indirekte



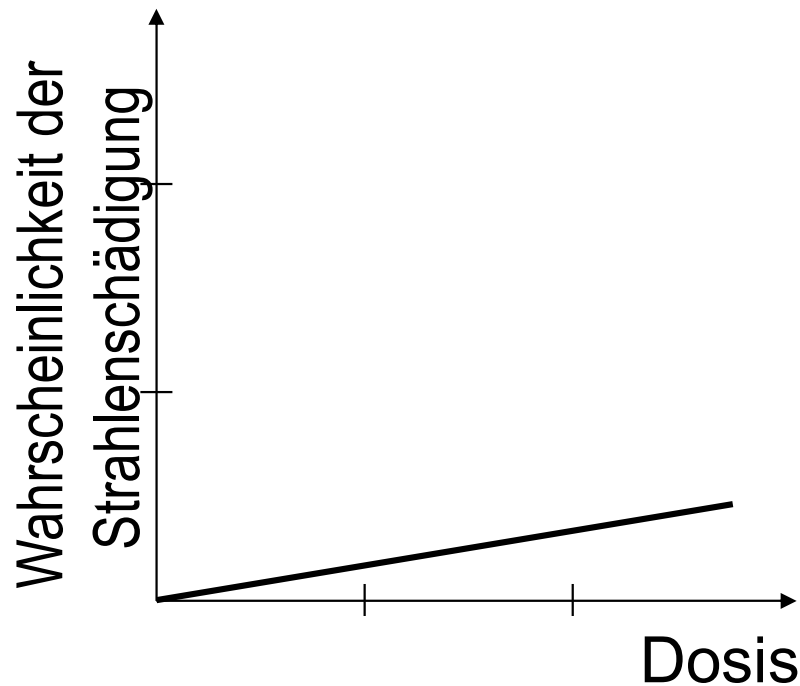
Physikalische Phase:  
 $10^{-17}$  -  $10^{-12}$  s Ionisation

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

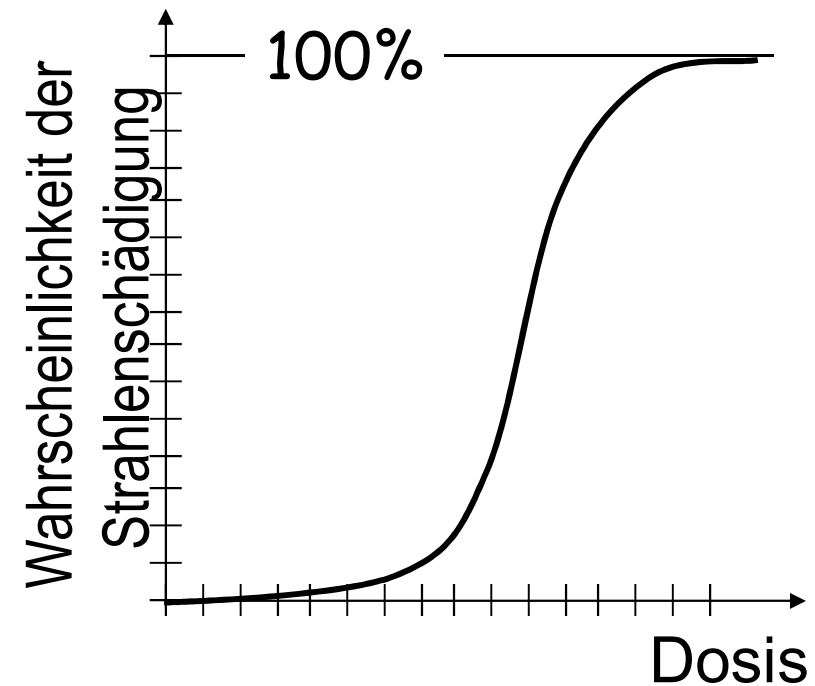
Biologische Phase:  
Stunden: Gewebeschädigungen  
Tage-Jahre: Somatische  
Schädigungen, Tumor

# Klassifizierung der Strahlenwirkungen

stochastische



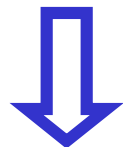
deterministische



# Klassifizierung der Strahlenwirkungen

## stochastische

Beim niedrigen Dosisniveau  
Zufällig vorkommende  
Keine Schwellendosis  
Schwäreggrad 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  
Schwäreggrad 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

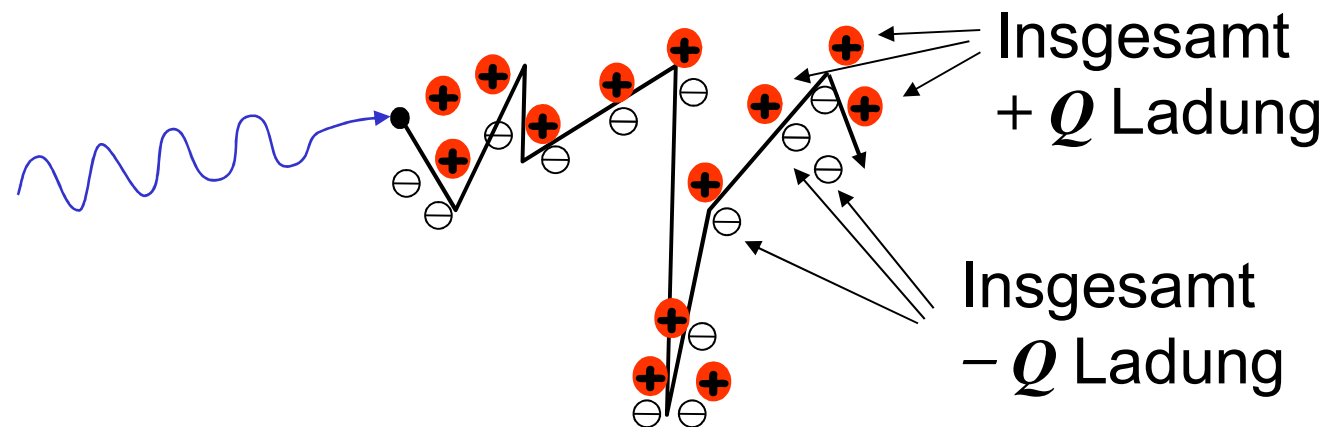
## 2. Ionendosis

Ionendosis:

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

Die in  $dm$  Masse  
entstandene  
positive Ladung

Maßeinheit: C/kg



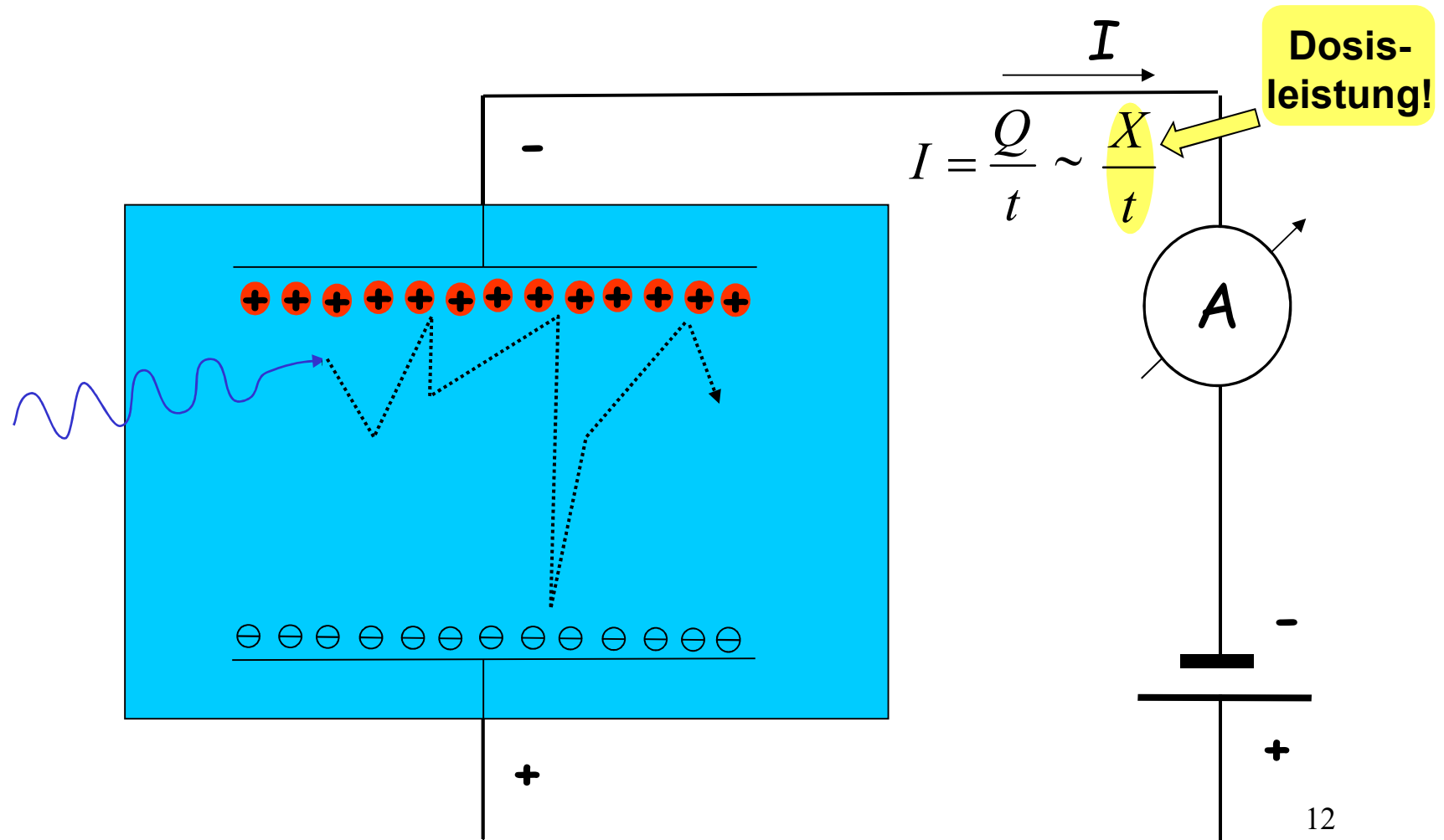
Nur für  $\gamma$  und Röntgenstrahlung

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

# Ionendosis

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

Kann mit Ionisationskammer gemessen werden



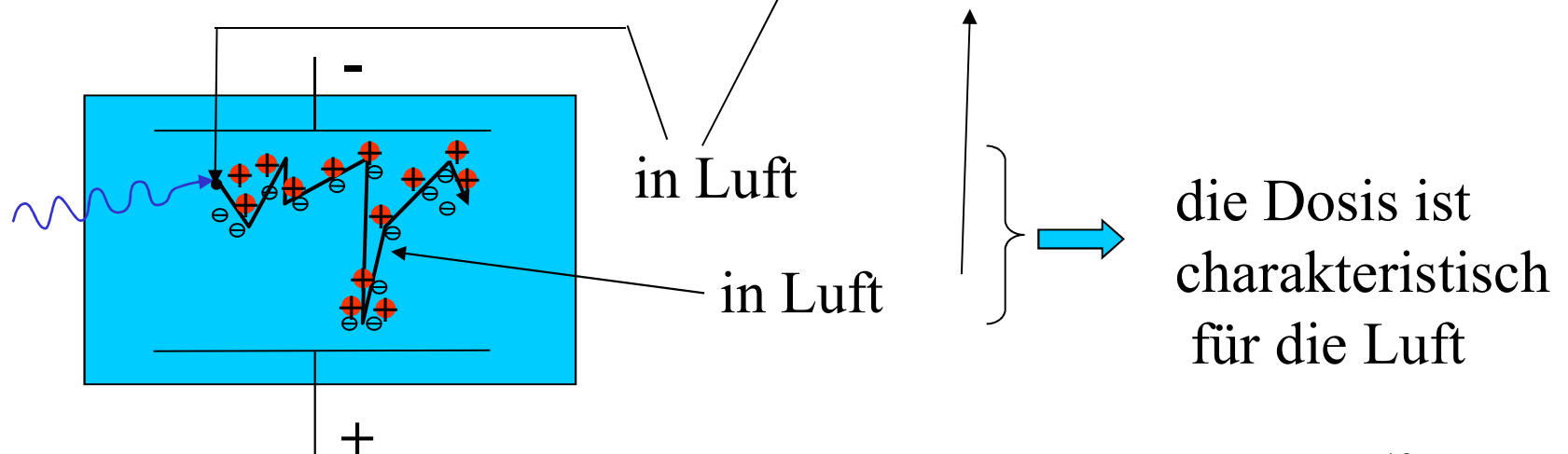
## Ionendosis:

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

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:

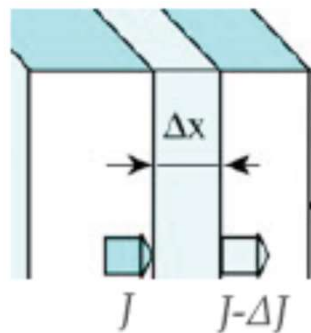
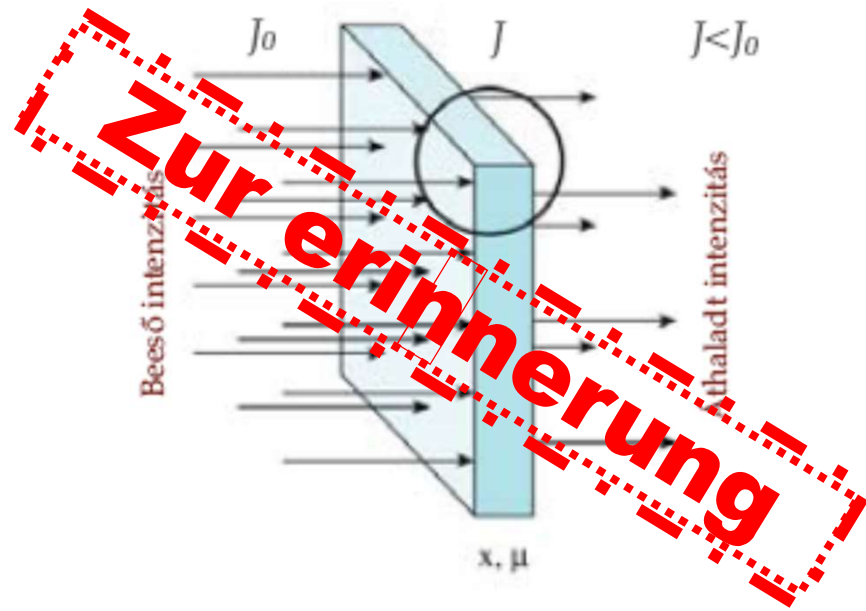
Man braucht 34 eV um einen Ionenpaar in Luft herzustellen

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

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

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

# Energiedosis in Luft -> Energiedosis in Gewebe



Egy mennyiség ( $J$ ) és annak megváltozása ( $\Delta J$ ) 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

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

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

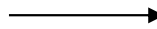
$$f_0 = 34 \frac{J}{C}$$

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

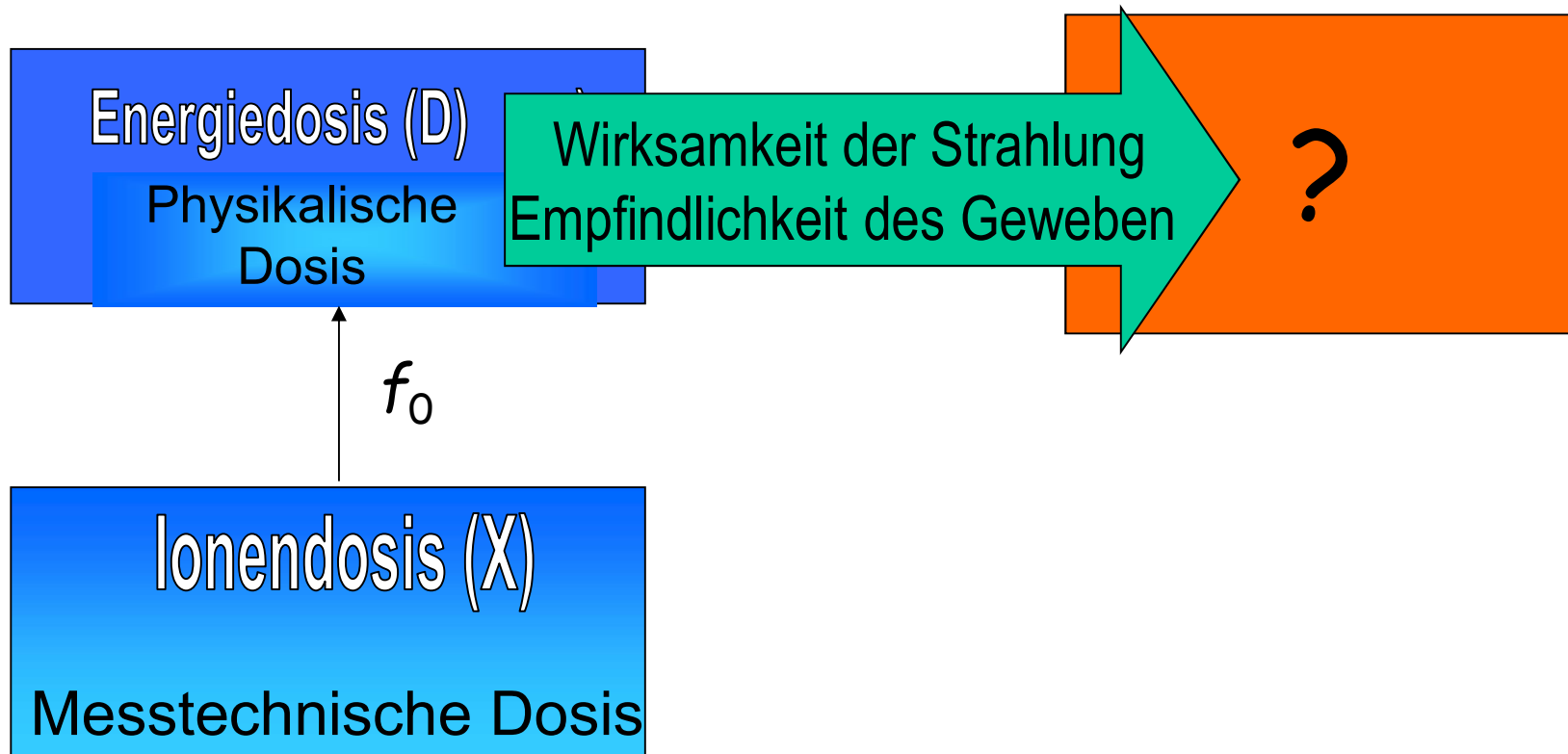
$$\frac{\mu_{m,\text{Gewebe}}}{\mu_{m,\text{Luft}}} \approx 1,1$$



*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  $R$  in 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  $\gamma$ -Strahlung. (Bei der stochastischen Schädigung!)

ICRP



EU



Staatliches Gesetz

Teilchen	Energie	$w_R$
Photon		1
Elektron		1
Neutron	<10 keV	5
Kontinuierliche Funktion	10 keV-100 keV	10
	100 keV- 2 MeV	20
	2 MeV - 20 MeV	10
	> 20 MeV	5
Proton	> 2 MeV	<del>5</del> 2
Alpha Teilchen		20



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  $T$ .

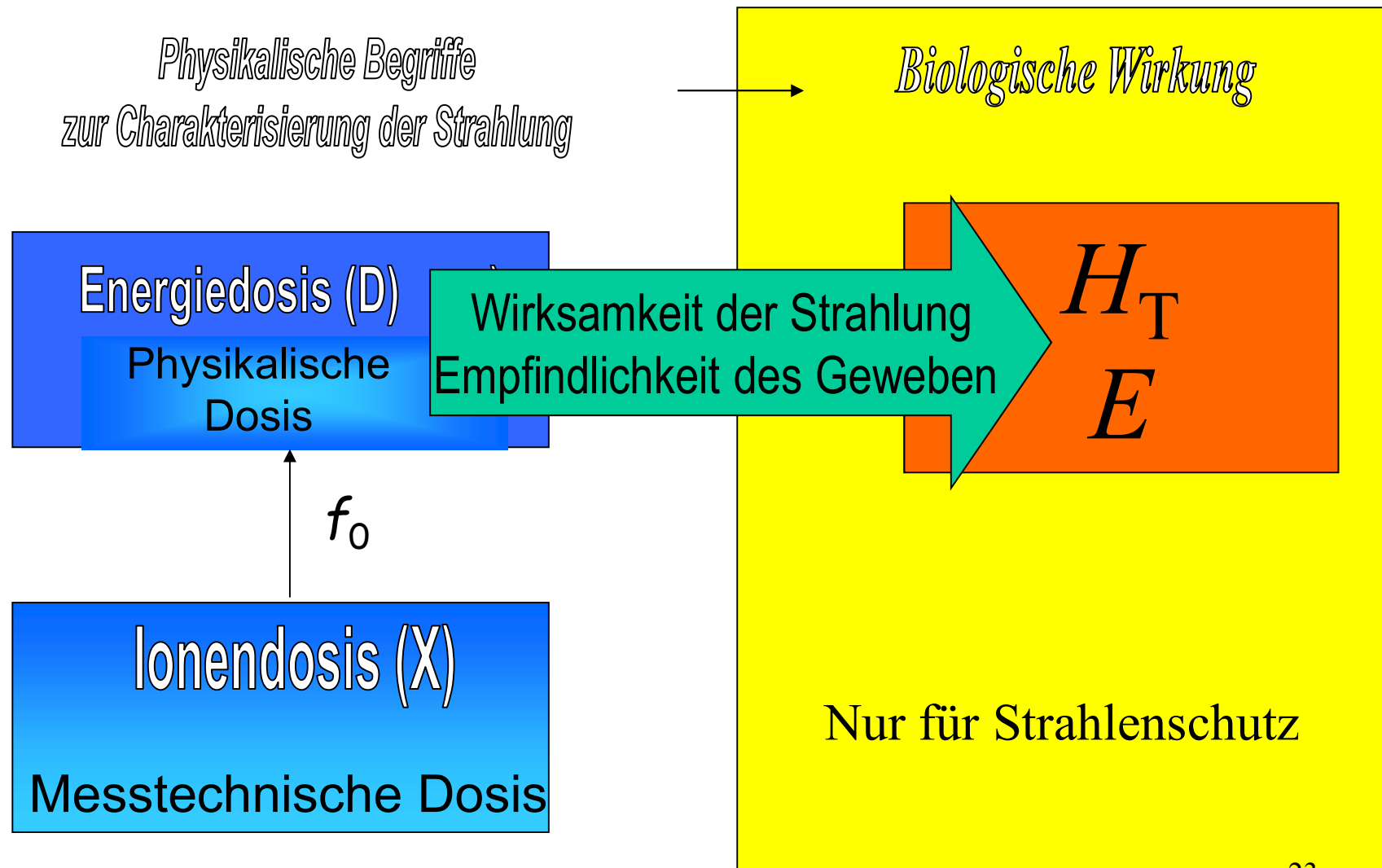
$$\sum_T w_T = 1$$

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

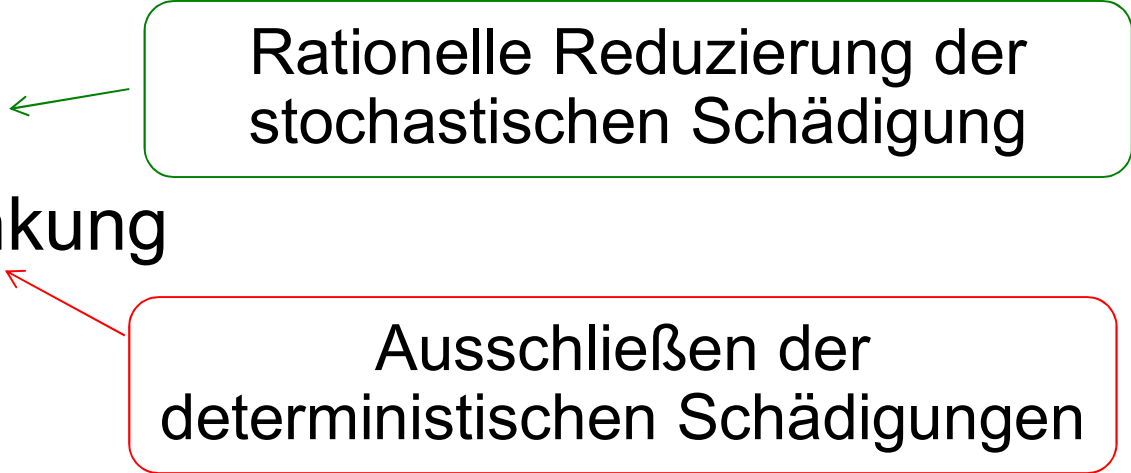
Personal:

Rechtfertigung

Optimierung

Dosisbeschränkung

Rationelle Reduzierung der  
stochastischen Schädigung



Patienten:

Rechtfertigung: *cost-benefit* Prinzip

Optimierung : diagnostische Empfehlungen

Ausschließen der  
deterministischen Schädigungen

Dokumentierung der Patientendosen



# Berechnung der Energiedosis bei einem $\gamma$ -strahlenden Isotop

Punktförmige Strahlenquelle:

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

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

$\Lambda$ : 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  $^{137}\text{Cs}$  :

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

800 x Hintergrundstrahlung 

# Dosisbeschränkungen

- Unter Schwellendosis der deterministischen Schädigung bleiben.
- Das Risiko der stochastischen Strahlenschädigung soll kleiner sein als das allgemeine Risiko von Berufsunfällen

Dosisbeschränkung  $\neq$  erlaubte Dosis!

## **Dosisbeschränkungen :**

1. berufliche

2. für Bevölkerung

**Es gibt keine für Patienten !**

# Dosisbeschränkungen

≠erlaubte Dosis!

## Beruflichen Strahlenexposition

- Ganzkörperbestrahlung 20 mSv/ év

(~ 10 $\mu$ Sv/ Arbeitsstunde)

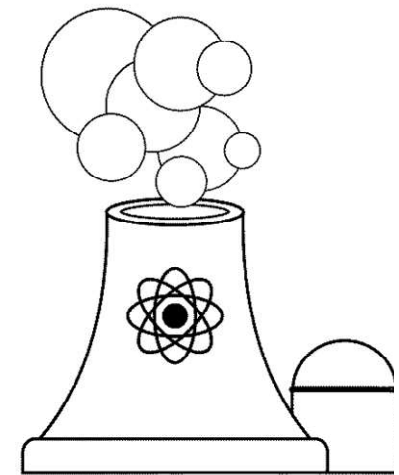
- Augenlinse 20 mSv/Jahr
- Haut 500 mSv/Jahr
- Extremitäten 500 mSv/Jahr

# Dosisbeschränkungen

≠ erlaubte Dosis!

Für Bevölkerung\*

- Ganzkörperbestrahlung: 1 mSv/Jahr
- Augenlinse 15 mSv/Jahr
- Haut 50 mSv/Jahr
- Extremitäten:  
50 mSv/Jahr



\* Zusätzliche Strahlenbelastung, ausgenommen die natürliche Hintergrundstrahlung und die ärztliche Strahlendosis

\*\* Zum Vergleich: Dosisleistung der Hintergrundstrahlung  $\approx 2,4$  mSv/Jahr

# Einige typische Dosiswerte (und Dosisleistungswerte)

Natürliche Hintergrundstrahlung: 2,4 mSv/J

Ärztliche Untersuchungen (Patientendosis)

Gewöhnliche Röntgenaufnahme: 0,2-1 mSv

CT: 2-8 mSv

Therapie:

Interventionsradiologie

Arzt: Hand: 50 mSv/Monat

Auge: 15 mSv/Monat

Gonaden

(unter Bleischutzmantel): 0,25 mSv/Monat

Patient: bis 1 Gy!!



Strahlentherapie: typisch 45-60 Gy aber lokalisiert und fraktioniert! (2 Gy/Tag)