

Dosimetrie der ionisierenden Strahlungen

Dr. László Smeller

Institut für Biophysik und Strahlenbiologie

Semmelweis Universität



Dosimetrie der ionisierenden Strahlungen

1. Biologische Wirkung der ionisierenden Strahlungen

- 1.1. Mechanismus der Wirkungen der Strahlung
- 1.2. Klassifizierung der Strahlenwirkungen

2. Dosisbegriffe

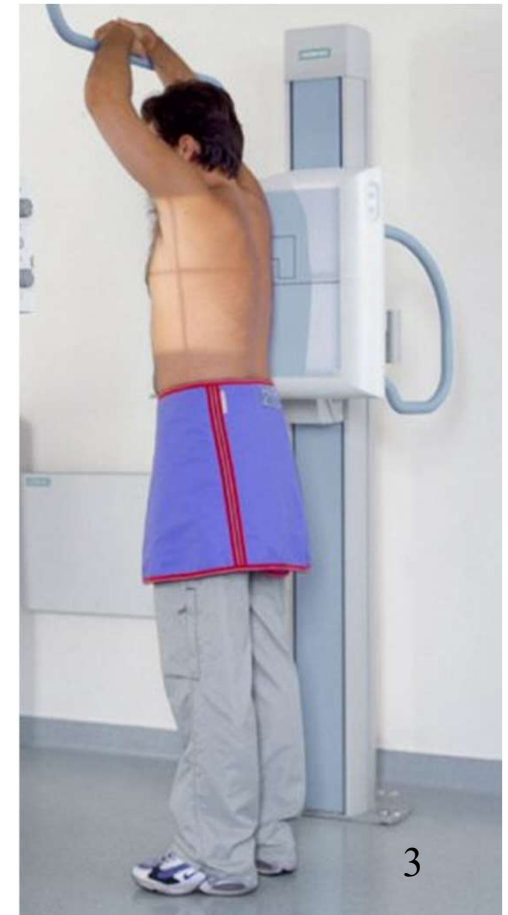
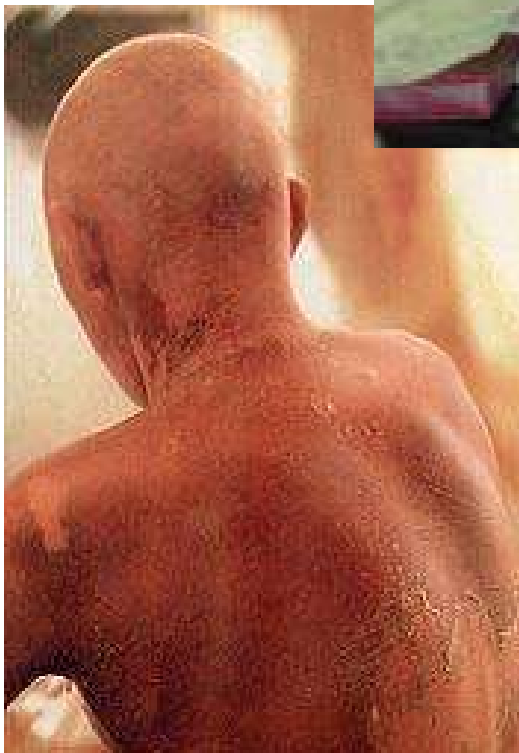
- 2.1. Energiedosis
- 2.2. Ionensdosis
- 2.3. Umrechnung: $X_{\text{Luft}} \Rightarrow D_{\text{gewebe}}$
- 2.4. Bestimmung der biologischen Wirkung
- 2.5. Equivalentdosis
- 2.6. Effektive Dosis
- 2.7. Energiedosis eines punktförmigen Isotopes

3. Strahlenschutz

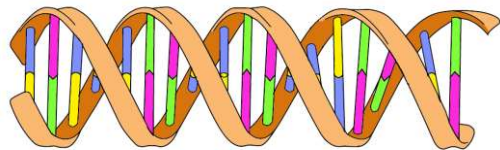
- 3.1. Prinzipien
- 3.2. Dosisbeschränkungen
- 3.3. Schwellendosiswerte der deterministischen Schädigung
- 3.4. Einige typische Dosiswerte



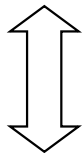
1. Biologische Wirkung der ionisierenden Strahlungen



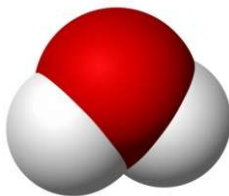
1.1. Mechanismus der Wirkungen der Strahlungen



direkte



indirekte



Physikalische Phase

10^{-17} - 10^{-12} s Ionisation

Chemische (biochemische) Phase:

10^{-10} -1s Reaktion der freien Radikale.

Biologische Phase:

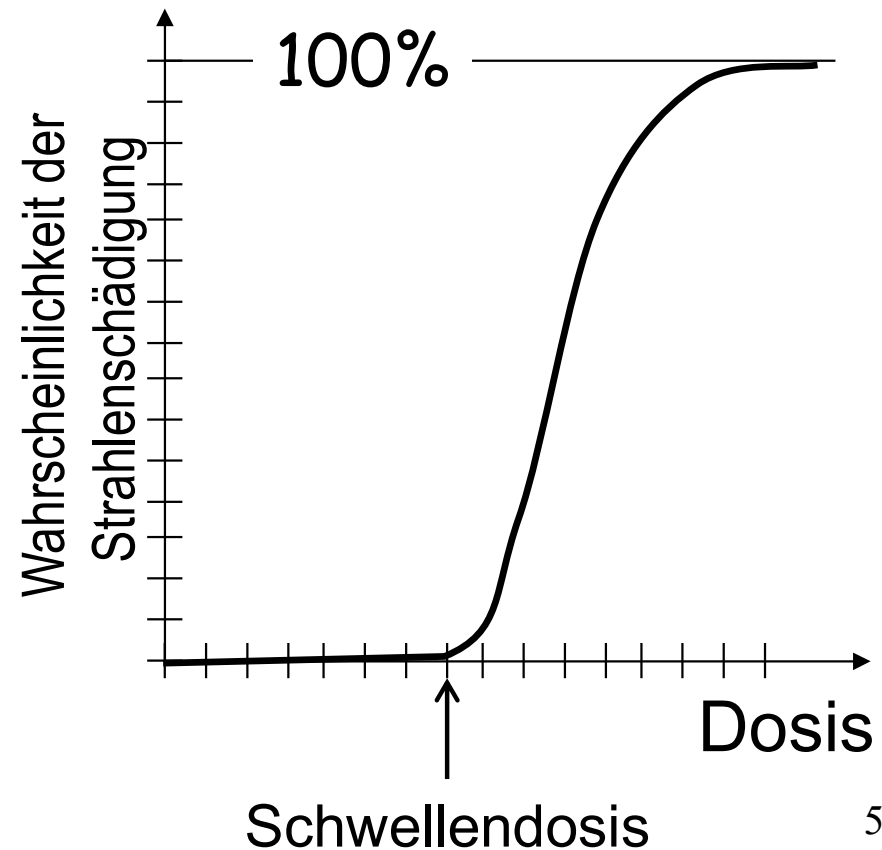
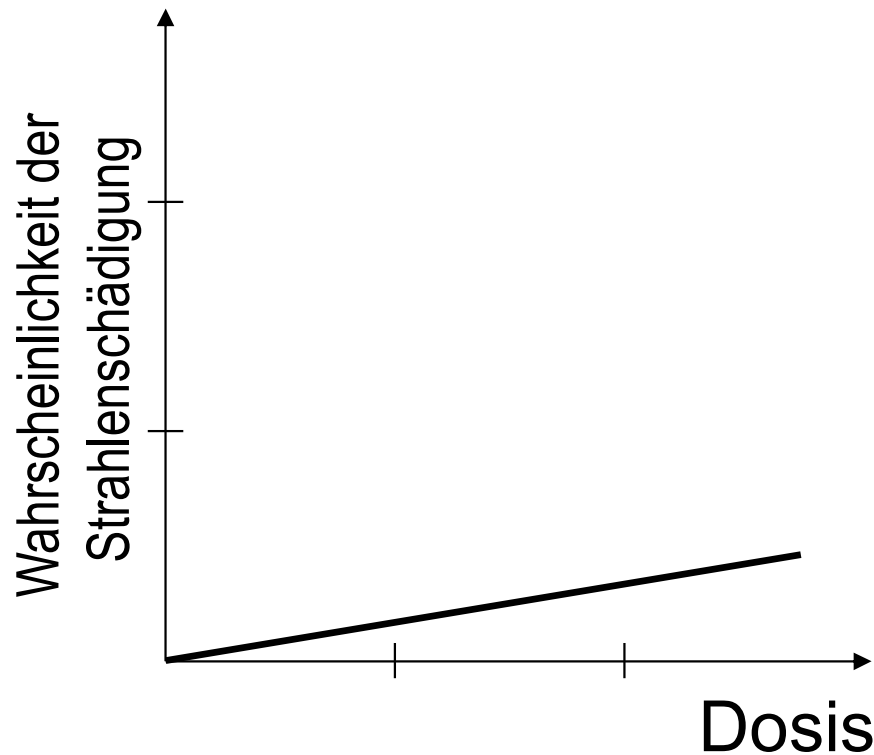
Stunden: Gewebeschädigungen

Tage-Jahre: Somatische Schädigungen, Tumor

1.2. Klassifizierung der Strahlenwirkungen

stochastische

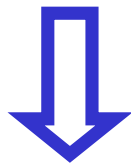
deterministische



Klassifizierung der Strahlenwirkungen

stochastische

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



Personal in den Röntgen
und Isotoplaboratorien

Patienten der Rtg oder
Isotopenuntersuchungen

deterministische

- Beim hohen Dosisniveau
- Kommt über einer Schwellendosis vor
- Schweregrad der Schädigung nimmt mit der Dosis zu



Unfälle

Strahlentherapie

2. Dosisbegriffe

2.1. Energiedosis

Definition von
Energiedosis:

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

← Die in Δm Masse
absorbierte
Strahlungsenergie

➡ In 1 kg Masse absorbierte Energie

Einheit J/kg = Gy (gray)

Messung:

- Die direkte Messung ist fast unmöglich minimale Temperaturerhöhung: $\Delta T < 0,01 \text{ °C} / 6 \text{ Gy}$
- indirekte Methode
 - Ionisationskammer
 - Halbleiterdetektor
 - Thermolumineszenz Dosimeter
 - ...



Louis Harold Gray

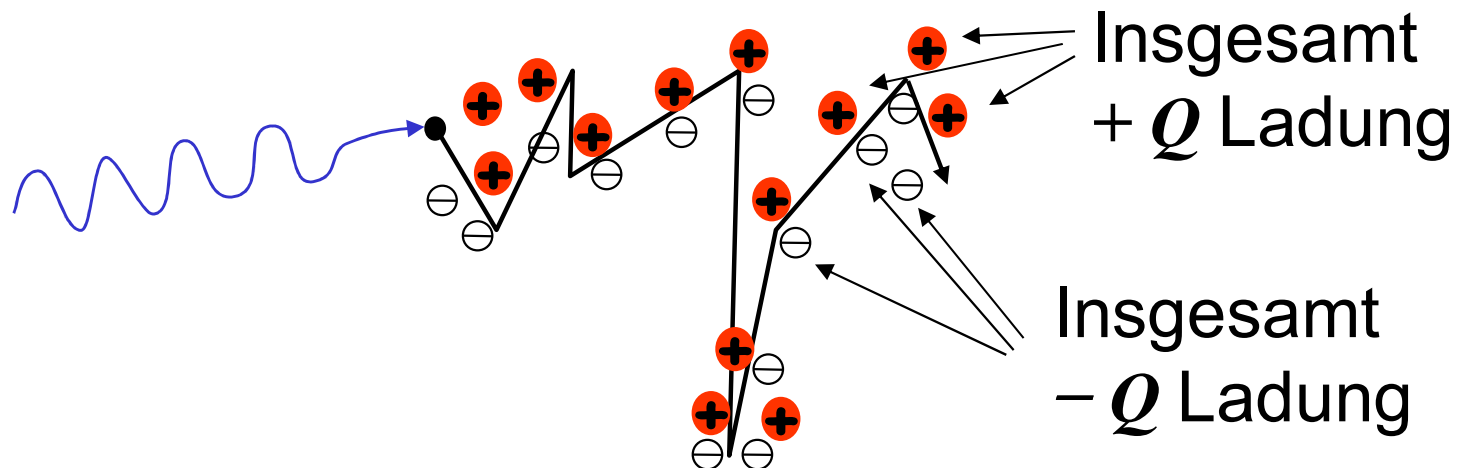
2.2. Ionendosis

Definition der
Ionendosis:

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

Die in Δm Masse
entstandene
positive Ladung

Maßeinheit: C/kg

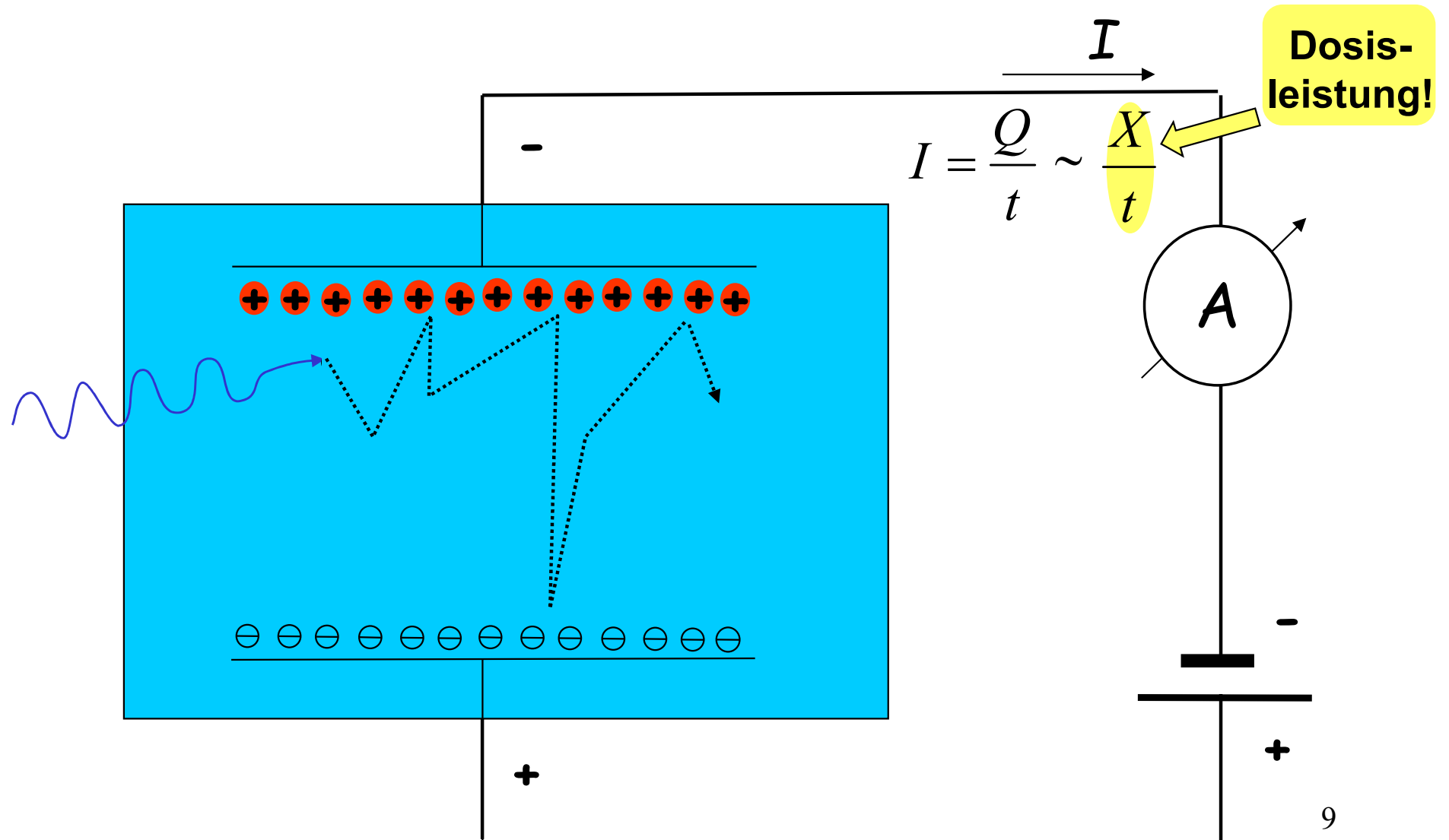


Nur für γ und Röntgenstrahlung
 $E_{\text{Photon}} < 3\text{MeV}$ in Luft

Ionendosis

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

Kann mit Ionisationskammer gemessen werden



2. Energiedosis in Luft -> Energiedosis in Gewebe

Massenschwächungskoeffizient ist bestimmend: $D \sim \mu_m$

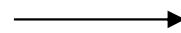
$$\frac{D_{\text{Gewebe}}}{D_{\text{Luft}}} = \frac{\mu_{m,\text{Gewebe}}}{\mu_{m,\text{Luft}}}$$

$$D_{\text{Gewebe}} = \frac{\mu_{m,\text{Gewebe}}}{\mu_{m,\text{Luft}}} f_0 X \quad f_0 = 34 \frac{\text{J}}{\text{C}}$$

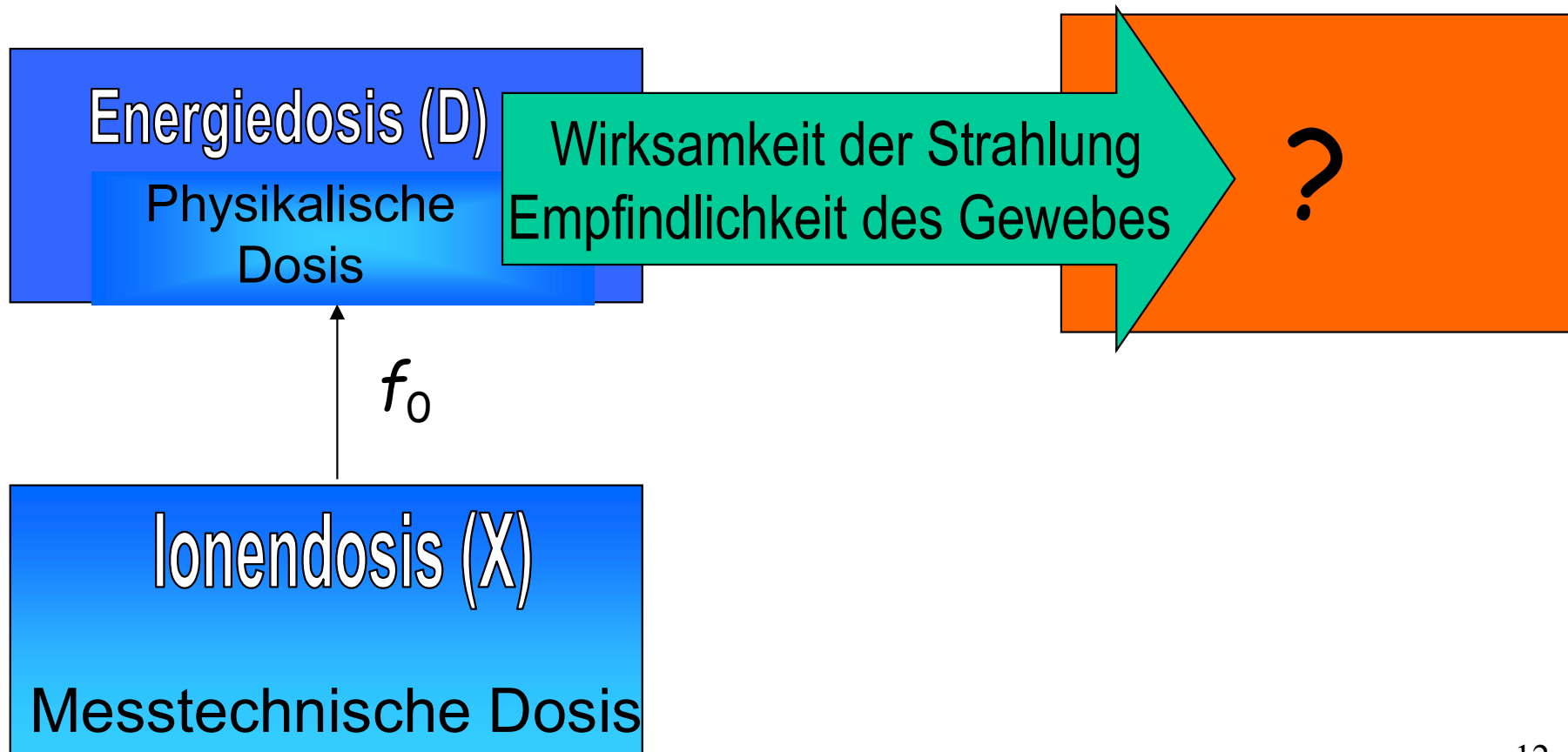
$E_{\text{Photon}} < 0,6 \text{ MeV}$, für Weichteilgewebe: $\frac{\mu_{m,\text{Gewebe}}}{\mu_{m,\text{Luft}}} \approx 1,1$

2.4 Bestimmung der biologischen Wirkung

*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 werden bestrahlt

Energiedosis

Wichtungsfaktoren

Biologische Wirkung



+



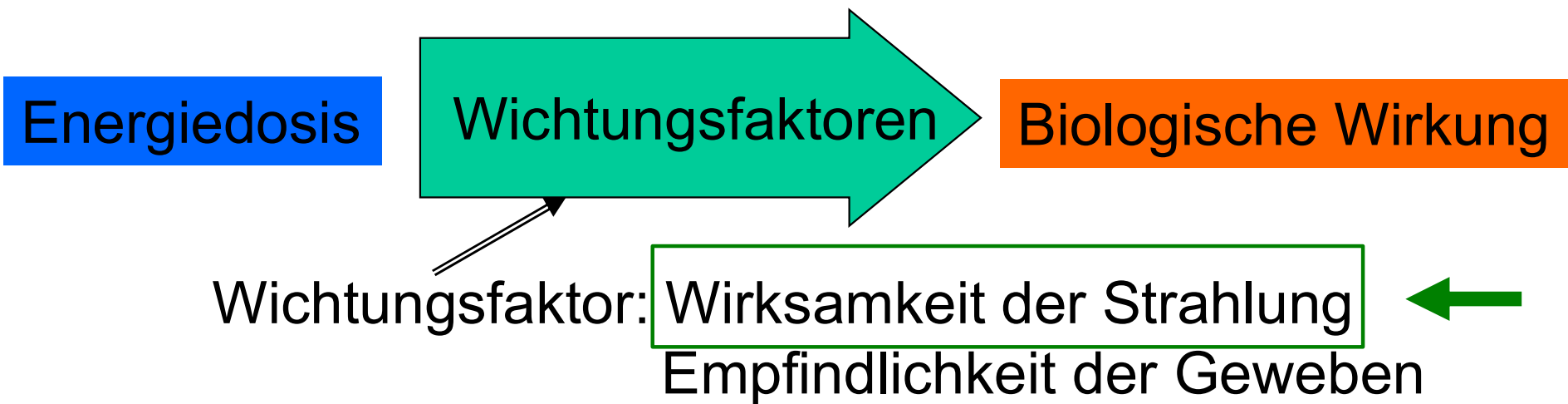
+



=



2.5. Äquivalentdosis



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

$D_{T,R}$ Energiedosis der Strahlung R in einem Organ T .

w_R Strahlungswichtungsfaktor



Rolf Maximilian Sievert

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!)

Teilchen	Energie	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

**Kontinuierliches Funktion der Energie (>2)*

ICRP



EU



Staatliches Gesetz

2.6. Effektive Dosis



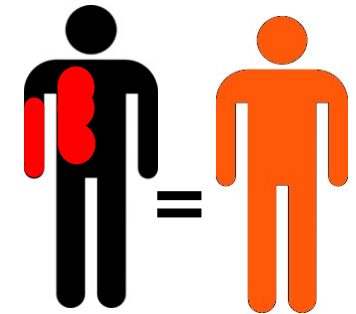
Wichtungsfaktor: Wirksamkeit der Strahlung

Empfindlichkeit der Gewebe



Effektivdosis:

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



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: $E = H$ 16

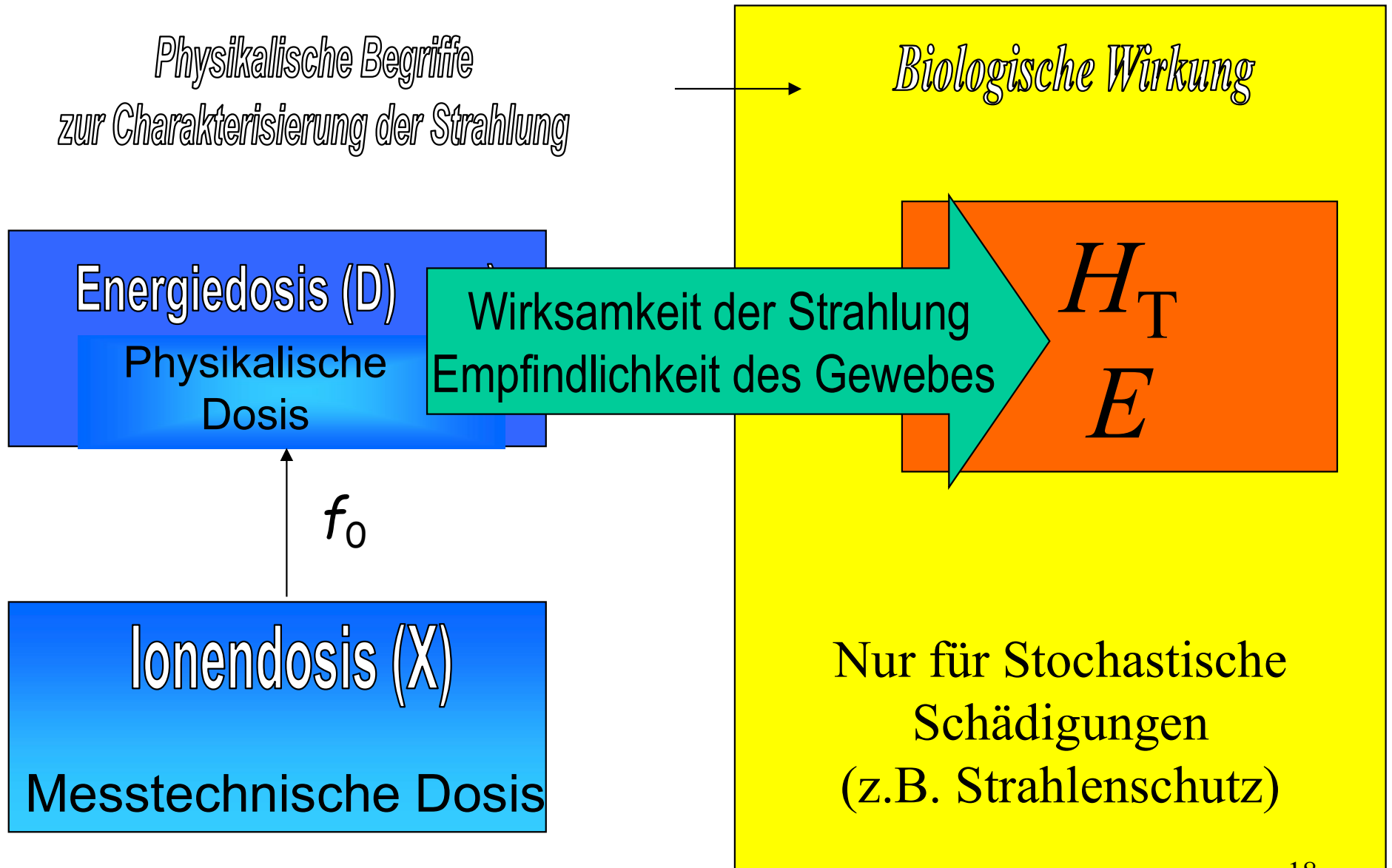
Wichtungsfaktor w_T

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		

ICRP 103/60 (2017)

IRCP → EU → Staatliches Gesetz

Zusammenfassung der Dosisbegriffe



2.7. 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 ^{137}Cs

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

800 x Hintergrundstrahlung 

3. Strahlenschutz

3.1. Prinzipien

Personal:

Rechtfertigung der Anwendung der Strahlung

Optimierung

Dosisbeschränkung

Rationelle Reduzierung der
stochastischen Schädigung

Ausschließen der
deterministischen Schädigungen

Patienten:

Rechtfertigung: cost-benefit Prinzip

Optimierung : diagnostische Empfehlungen

Dokumentierung der Patientendosen

3.2. Dosisbeschränkungen

- Die deterministische Schädigungen müssen unbedingt vermieden werden
 - Risiko der stochastischen Strahlenschädigungen muss gleich oder kleiner sein als das allgemeine Risiko der Berufsunfällen* (annehmbares Risiko)
- Dosisbeschränkung \neq erlaubte Dosis!



Dosisbeschränkungen: berufliche
für die Bevölkerung
~~für Patienten !~~



* ungefähr 10^{-4} / Jahr

Dosisbeschränkungen*

≠erlaubte Dosis!

Berufliche Stahlenexposition

– Ganzkörperbestrahlung **20 mSv/Jahr**

(~ 10 μ Sv/ Arbeitsstunde**)

– Augenlinse 20 mSv/Jahr

– Haut **500 mSv/Jahr**

– Extremitäten 500 mSv/Jahr

* Die Werte sind schon niedriger als was man in dem Buch findet!

** Zum Vergleich:

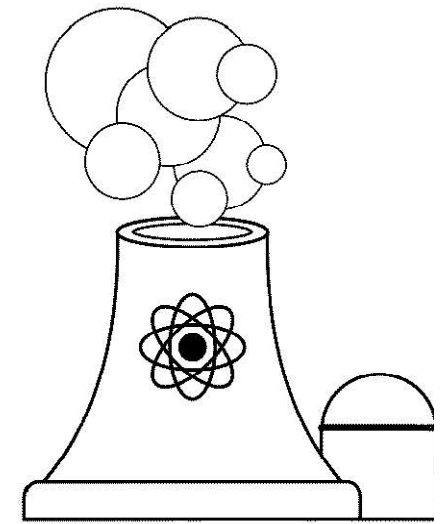
Dosisleistung der natürlichen Hintergrundstrahlung: 100 nSv/Stunde

Dosisbeschränkungen

≠erlaubte Dosis!

Bevölkerung*

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



* Nur für die Strahlenbelastung aus künstlichen Quellen.

Die Strahlenbelastung der ärztlichen Untersuchungen zählen nicht zu.

** Zum Vergleich:

Dosisleistung der natürlichen Hintergrundstrahlung: $\approx 2,4$ mSv/Jahr

3.4. Einige typische Dosiswerte: Schwellendosenwerte der deterministischen Strahlenschädigung

Knochenmark:

Erniedrigung der Blutbildung

0,5 Gy

Testikel (Hoden):

Temporäre Sterilität

0,15 Gy

Endgültige Sterilität

3,5-6 Gy

Augenlinse

Anfang der Linsentrübung

0,5-2 Gy

Cataracta

5 Gy

Haut:

Temporäre Erythema

2 Gy

Erythema

6 Gy

Temporäre Epilation

3 Gy

Bei einer Ganzkörperbestrahlung: Median letale Dose: 4 Gy

Letale Dose

6 Gy

Einige typische Dosiswerte

Natürliche Hintergrundstrahlung: 2,4 mSv/Jahre

Ärztliche Untersuchungen (Patinentendosis)

Röntgendurchleutung: 0,2-1 mSv

CT Aufnahme: 2-8 mSv

Therapie (Interventionsradiologie):

Arzt: Hand: 100 mSv/2M**

Auge: 30 mSv/2M

Knie: 20 mSv/2M

Gonaden*: 0,5 mSv/2M

Patient: manchmal bis 1 Gy!!

Strahlentherapie: typisch 45-60 Gy

(lokalisiert in 2 Gy Fraktionen)



*unter dem Bleimantel

**2M = zwei Monaten Messperiode