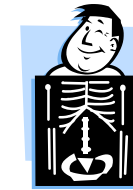




# Dosimetrie der ionisierenden Strahlungen



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.**



## Physikalische Strahlendosimetrie:

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

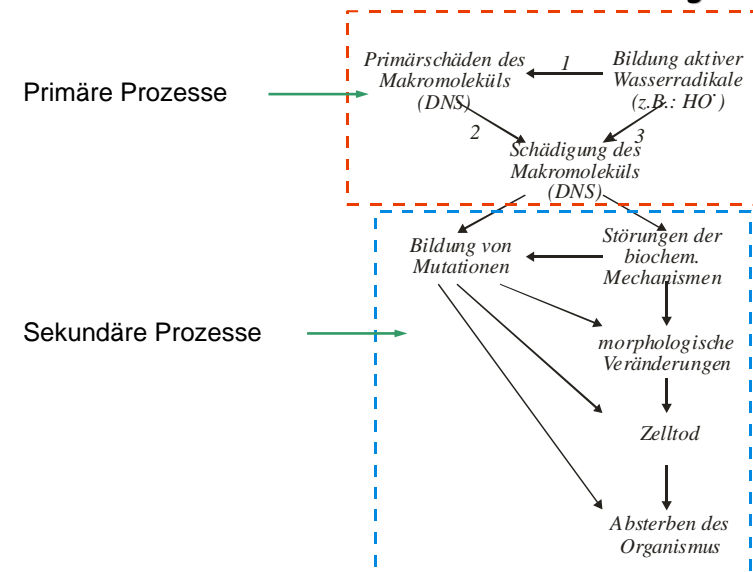
Aus dem Aspekt der biologischen Wirkung ist die  
Kenntnis der absorbierten Energie zwar von elementarer  
Bedeutung, *aber nicht ausreichend.*

## Biologische Strahlendosimetrie:

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

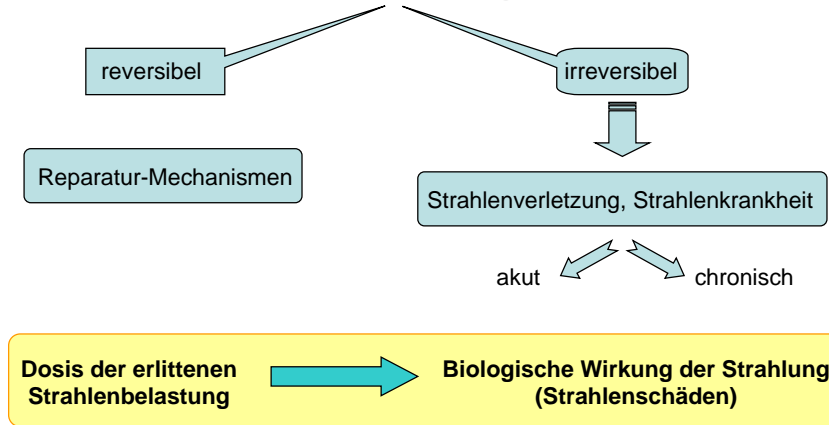


## Der Mechanismus der Strahlenwirkung





## Strahlenwirkung

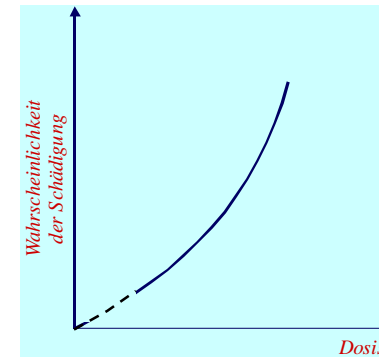


- *Stochastische Wirkung*
- *Deterministische Wirkung*

5



## Stochastische Wirkung



- auf Molekül- oder Zellebene jeder Strahlenschädigung

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

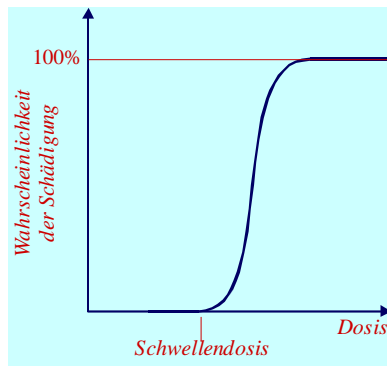
Es gibt keine Schwelldosis!

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

6



## Deterministische Wirkung



z.B.:

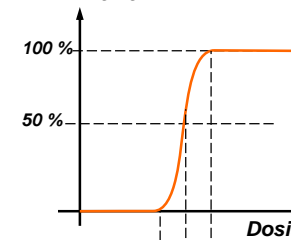
- Strahlenschädigung des roten Knochenmarks,
- Abnahme der Leukozyten,
- Erythem

Erhöhung der Dosis erhöht den Grad der Schädigung

7

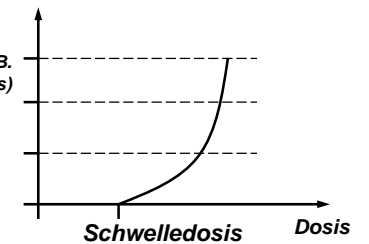


Wahrscheinlichkeit der Schädigung

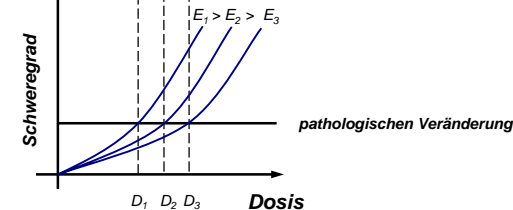


Schweregrad

Schwere Veränderung (z.B. Gewebenekrosis)  
mittlere Veränderung  
leichte Veränderung (z.B. Erythema)



Empfindlichkeit



Schwelldosis der pathologischen Veränderung

8



## Dosisbegriffe

- Physikalische Dosisbegriffe  
Charakterisierung der physikalischen Wirkung
- Biologische Dosisbegriffe  
biologische Effekte werden berücksichtigt



## 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:  
 **$D > 8 \text{ Gy}$  bei Ganzkörperbestrahlung**

**halbletale Dosis ( $LD_{50}$ ):**  
Diejenige Dosis, die innerhalb 30 Tagen beim 50 % der bestrahlten Personen zum Tod führt:  
 **$D > 5\text{-}8 \text{ Gy}$  bei Ganzkörperbestrahlung**



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

<b>Strahlensensible Tumoren</b>	<b>20 - 40 Gy</b>
<b>Mittelmäßig empfindliche Tumoren</b>	<b>40 - 60 Gy</b>
<b>Strahlenresistente Tumoren</b>	<b>über 60 Gy</b>



## 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!



## 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?



## Biologische Dosisbegriffe

Reichen die physikalische Überlegungen und Beziehungen in jedem Fall aus, um aus der absorbierten Energie auf das Risiko der biologischen Schädigung zu schließen?



## C. Äquivalentdosis

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

### Ideen:

- a.) die Wirkungen — es handelt sich jetzt um hauptsächlich biologische Wirkungen — hängen wegen der unterschiedlichen Ionisationsfähigkeiten von der Strahlungsart ab.
- b.) 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)



## $H_T$ : Äquivalentdosis

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

Strahlungsart	Strahlungs-Wichtungsfaktoren $w_R$ (ICRP60)	
Photonen	pauschal	1
Elektronen (incl. $\beta$ )	alle $e^- + \mu$	1
Neutronen	E < 10keV	5
	10-100keV	10
	0.1 -2 MeV	20
	2-20MeV	10
	E>20MeV	5
Protonen	E>2MeV	5
$\alpha$ , 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.  $\gamma$ -Strahlung.



Wenn unterschiedliche Strahlungsarten gleichzeitig wirken, ist die Äquivalentdosis:

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

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



**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.



## 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



## Dosisleistung (Dosirate):

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

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

Für **punktförmige  $\gamma$ -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

$$\text{Messsignal} = f(\text{Strahlendosis})$$



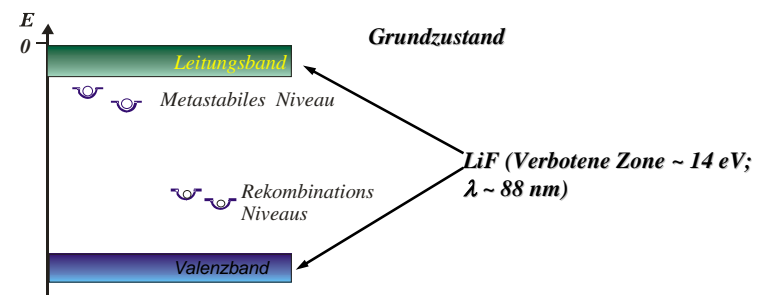
## Thermolumineszenzdosimeter



Am häufigsten angewandten TL Kristalle:

$\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Ti})$ ;  $\text{CaF}_2(\text{Dy})$ ;  $\text{CaF}_2(\text{Mn})$ ;

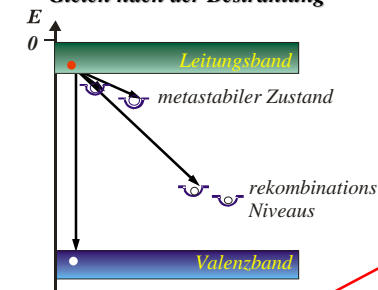
$\text{CaSO}_4(\text{Dy})$ ;  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Mn})$



$$\Delta E_{m-LB}: \sim 30 \sim 60 \text{ meV}$$



Gleich nach der Bestrahlung



Aktivierungsenergien

verschiedene Wellenlänge/Energie

(z.B.  $\text{LiF}(\text{Mg})$ ):

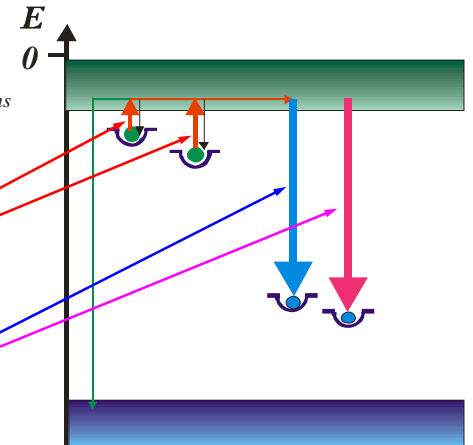
UV: 5,42, 4,42 und 3,57 eV

VIS: 3,07, 2,65 und 2,22 eV

UV: 228, 280, 347 nm;

VIS: 403, 467, 557 nm

Thermolumineszenz





### Vorteile:

- **kleines Detektorvolumen:**  $\sim \text{mm}^3$  — gute räumliche Auflösung;
  - **Strahlentherapie:** Messung *in vivo* („in dem Patient“);
- **Linearität bis ein-paar Gy;**
- **Messbereich:**  $\sim 10^{-5} — 10^3$  Gy;
- **In breitem Bereich unabhängig von der Dosisleistung;**
- **Auswertung getrennt von dem Bestrahlungsort**

25



## Strahlenschutz

ICRP — International Commission on Radiological Protection

### Grundprinzipien:

- a. Rechtfertigung einer Tätigkeit
- b. Optimierung des Schutzes
- c. Individuelle Dosisbeschränkung

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

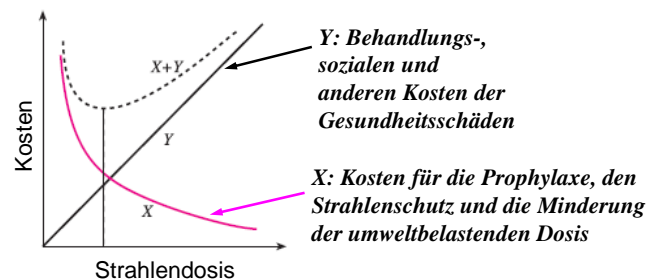
ad. b.:

- Kosten des Strahlenschutzes  $\leftrightarrow$  Gesundheitsrisiko
- ALARA-Prinzip

26



### 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.

27



### 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
Äquivalent-dosis (Augenlinse)	150	15
Extremitäten /Haut	500	50

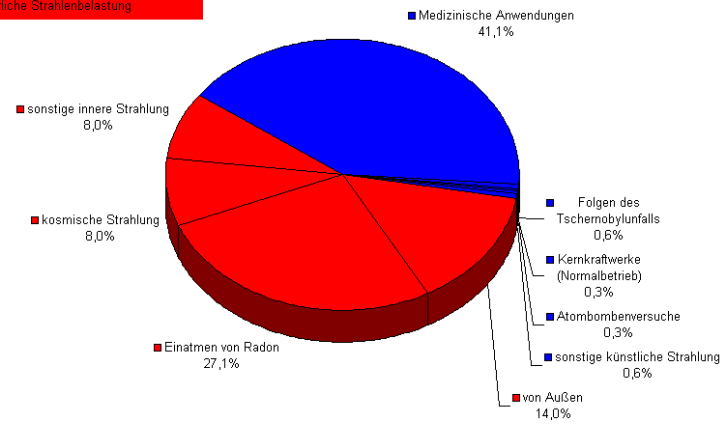
- Unter deterministischen Schwellendosis bleiben
- Das Risiko der stochastischen Schäden durch die berufliche Belastung  $\leq$  das allgemeine Risiko von Berufsunfällen ( $10^{-4}$  Todesfälle/Jahr), (in der Bevölkerung  $10^{-5}$  Todesfälle/Jahr)

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

28



## Alltägliche Strahlenbelastung



## Notwendige Kenntnisse

*Biophysik für Mediziner:*  
II/4, II/4.1, II/4.1.1, II/4.1.2,  
II/4.2.3  
II/4.3, II/4.3.1, II/4.3.2,

*Praktikumsbuch Biophysik:*  
*Dosimetrie*