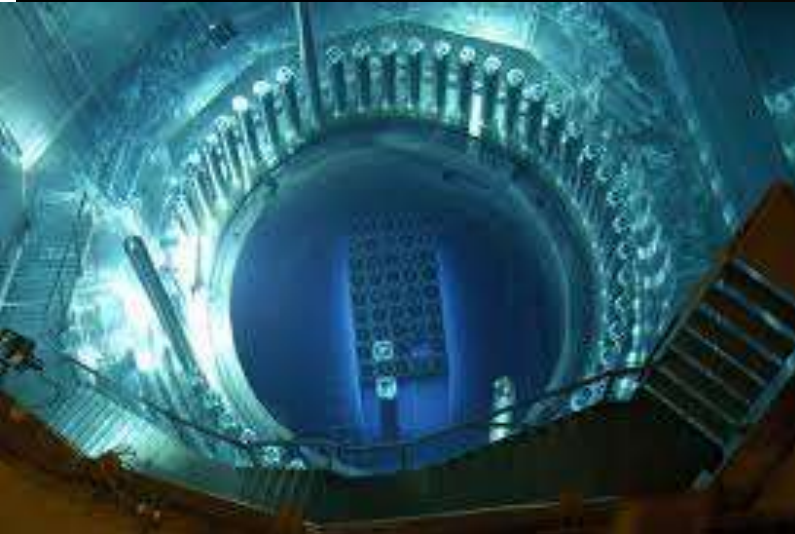


Dosimetrie der ionisierenden Strahlungen. Dosisbegriffe.

Das hier ist Wasserdampf ☺



G.Schay.

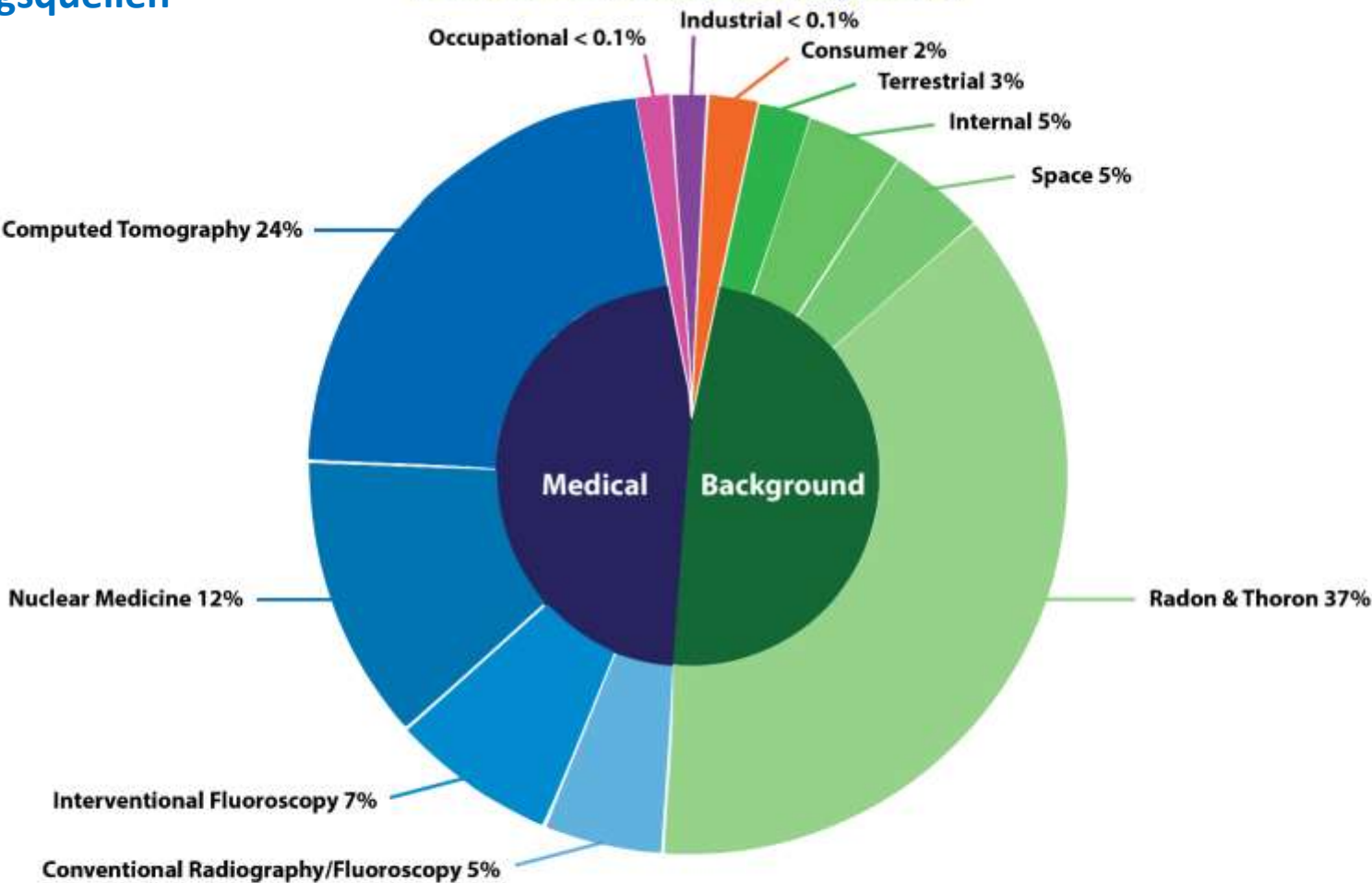
Wie viel Schädigung bekommen wir von Strahlungsquellen?

Was ist die biologische Wirkung?

-> Strahlschutz

Wie „viel“ Strahlung ist noch ertägbar? Ab wann ist es zu viel?
Ist alles gefährlich?

Sources of Radiation Exposure



Average Annual Radiation Dose

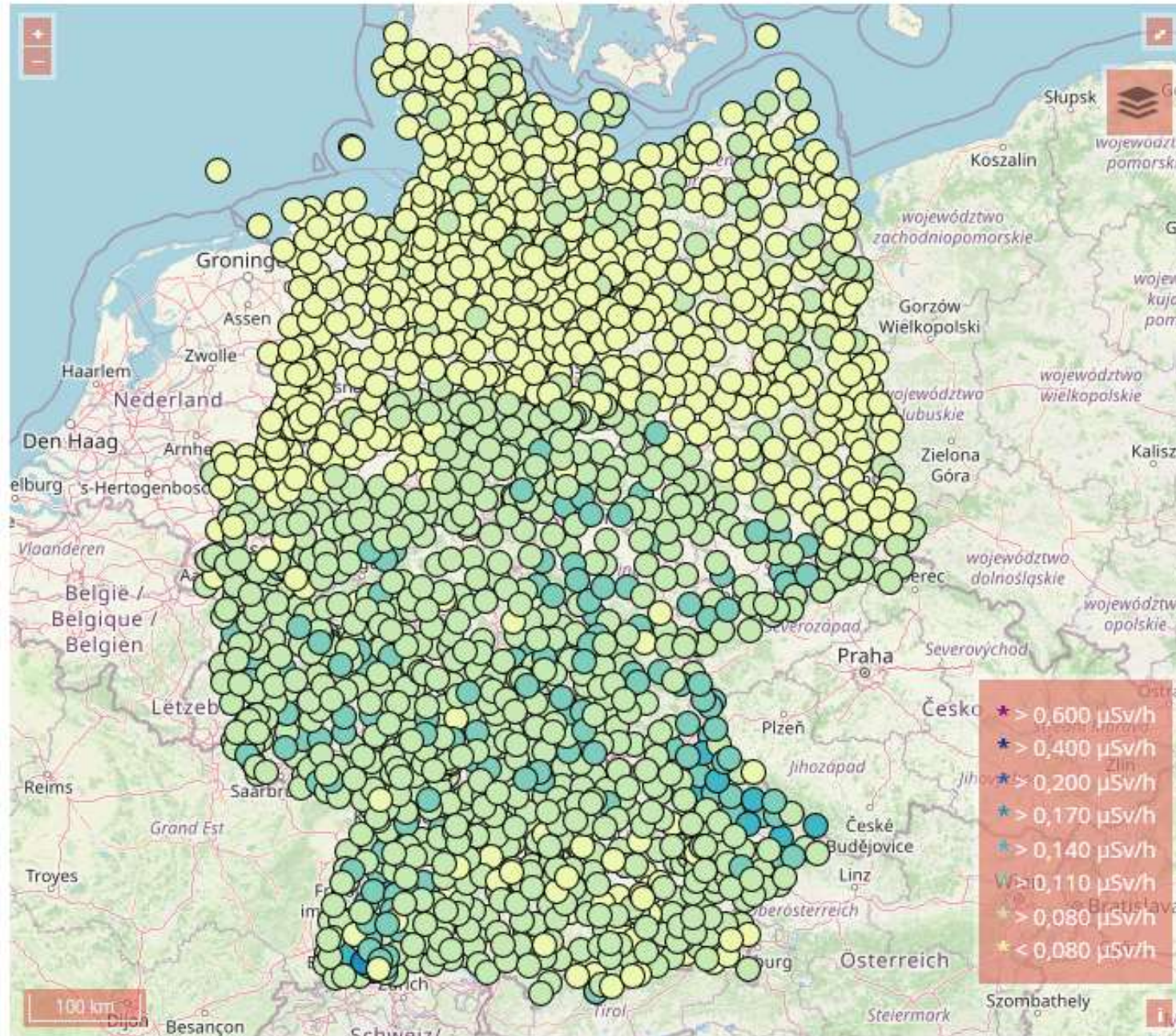
Sources	Radon & Thoron	Computed Tomography	Nuclear Medicine	Interventional Fluoroscopy	Space	Conventional Radiography/Fluoroscopy	Internal	Terrestrial	Consumer	Occupational	Industrial
Units											
mrem (United States)	228 mrem	147 mrem	77 mrem	43 mrem	33 mrem	33 mrem	29 mrem	21 mrem	13 mrem	0.5 mrem	0.3 mrem
mSv (International)	2.28 mSv	1.47 mSv	0.77 mSv	0.43 mSv	0.33 mSv	0.33mSv	0.29 mSv	0.21 mSv	0.13 mSv	0.005 mSv	0.003 mSv

(Source: National Council on Radiation Protection & Measurements, Report No. 160)

Messstellen in Deutschland

Gamma-Ortsdosisleistung (ODL)

Hintergrundstrahlungsmessnetz

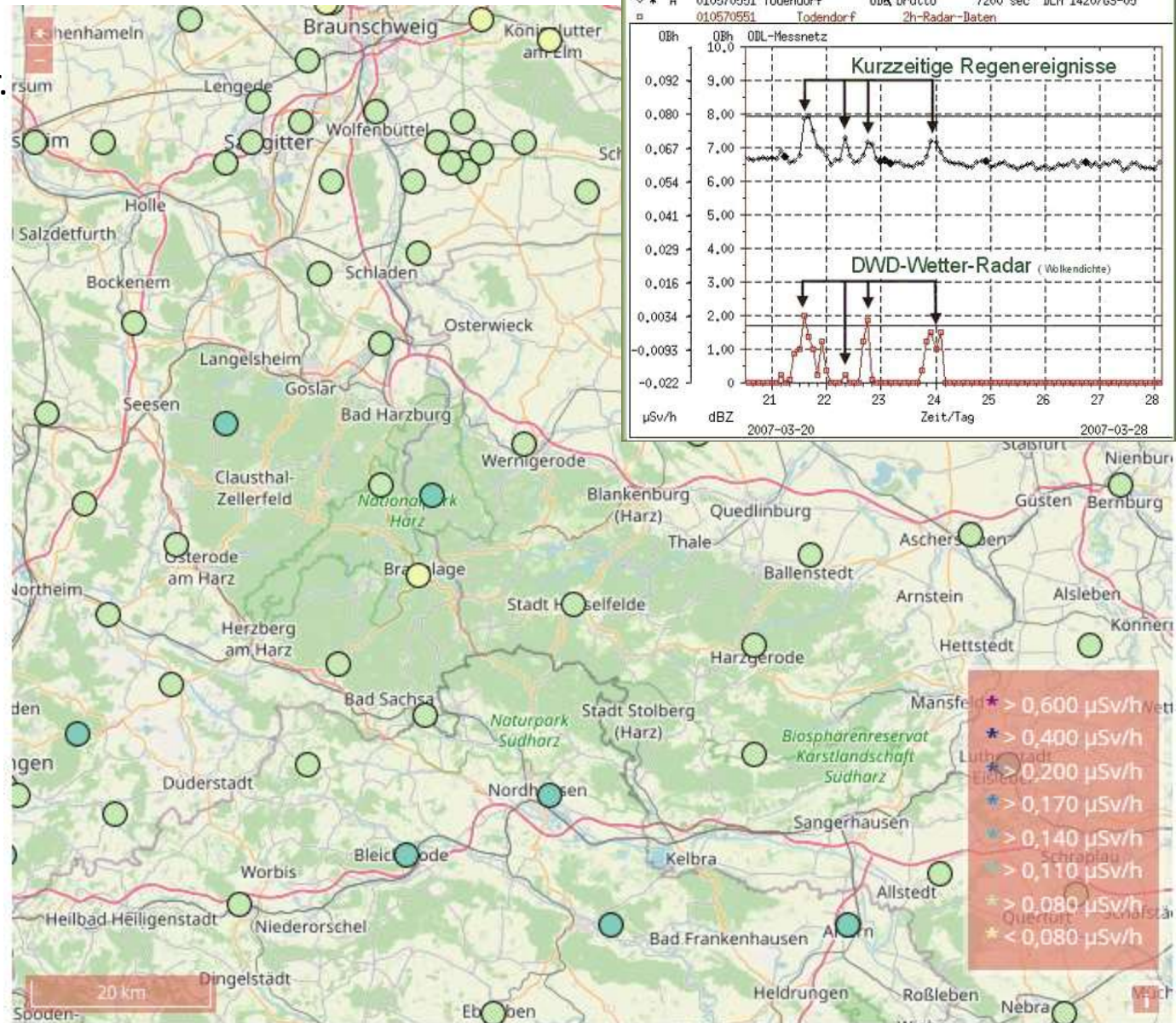


<https://odlinfo.bfs.de/DE/themen/wo-stehen-die-sonden/messstellen-in-deutschland.html>

Sehr abwechselnde Werte, sowohl Zeitlich als auch Räumlich...

Jahreswerte sind benutzbar.

Regen->
Radon-niederschlag



Bátaapáti - Udvar	RHK	104 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
Bátaapáti - Vadászház	RHK	126 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
Bátaapáti - Zsibrik	RHK	92 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
Békéscsaba	OMSZ	69 nSv/h	2021-02-23 20:00	<div></div>
Berettyóújfalu	BM OKF	101 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
Budakeszi	HM	95 nSv/h	2021-02-23 12:20	<div></div>
Budapest - Ferihegy	BM OKF	78 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
Budapest ELTE	EMMI	57 nSv/h	2021-02-23 20:30	<div></div>
Budapest II. ker. THHE	HM	84 nSv/h	2021-02-23 12:20	<div></div>
Budapest SOTE	EMMI	116 nSv/h	2021-02-23 20:40	<div></div>
Budapest V. ker. HM I	HM	83 nSv/h	2021-02-23 12:40	<div></div>
Budapest X. ker. (HTEK VVR)	HM	63 nSv/h	2021-02-23 12:50	<div></div>
Budapest XI. ker. (Őrezred)	HM	88 nSv/h	2021-02-23 12:10	<div></div>
Budapest XIII. ker. (HM II)	HM	73 nSv/h	2021-02-23 12:30	<div></div>
Budapest XIV. ker. OKF	BM OKF	78 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
Budapest XV. ker. HTEK	HM	82 nSv/h	2021-02-23 12:00	<div></div>
Budapest, XVIII. ker.	OMSZ	80 nSv/h	2021-02-23 20:00	<div></div>
Buják	HM	83 nSv/h	2021-02-23 12:10	<div></div>
Csenger	BM OKF	94 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
Csenger	OMSZ	91 nSv/h	2021-02-23 20:00	<div></div>
Csurgó	BM OKF	98 nSv/h	2021-02-23 20:40	<div></div>
Debrecen	EMMI	92 nSv/h	2021-02-23 20:15	<div></div>
Debrecen	HM	78 nSv/h	2021-02-23 19:30	<div></div>

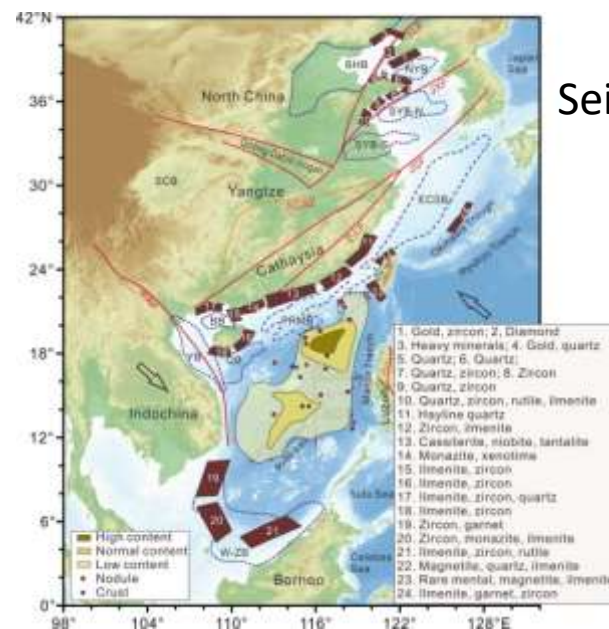
PAKS A6	PA Zrt.	73 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
PAKS A7	PA Zrt.	64 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
PAKS A8	PA Zrt.	77 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
PAKS A9	PA Zrt.	71 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
PAKS G1	PA Zrt.	65 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
PAKS G2	PA Zrt.	65 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
PAKS G3	PA Zrt.	67 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
PAKS G4	PA Zrt.	73 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
PAKS G5	PA Zrt.	65 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
PAKS G6	PA Zrt.	63 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
PAKS G7	PA Zrt.	81 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
PAKS G8	PA Zrt.	82 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
PAKS G9	PA Zrt.	78 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
PAKS G10	PA Zrt.	75 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
PAKS G11	PA Zrt.	68 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
Pápa	HM	85 nSv/h	2021-02-23 19:21	<div></div>
Pécs / Pogány RK	OMSZ	107 nSv/h	2021-02-23 20:00	<div></div>
Pitvaros	OMSZ	92 nSv/h	2021-02-23 20:00	<div></div>
Rétság	BM OKF	98 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
Ruzsa	BM OKF	96 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
Salgótarján	BM OKF	91 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
Sarkad	BM OKF	99 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
Sátoraljaújhely	BM OKF	112 nSv/h	2021-02-23 20:50	<div></div>
Sátoraljaújhely	OMSZ	91 nSv/h	2021-02-23 20:00	<div></div>



Monazit
(Nd,La,Ce,Th,U)PO₄



20-130 uSv/h (normal ~ 0.6-1 uSv/h also 5mSv/Jahr)



Seifenlagerstätten

Extremitäten

Ra-226,
heisse Quellen Ramsar, Iran: 260 mSv/Jahr



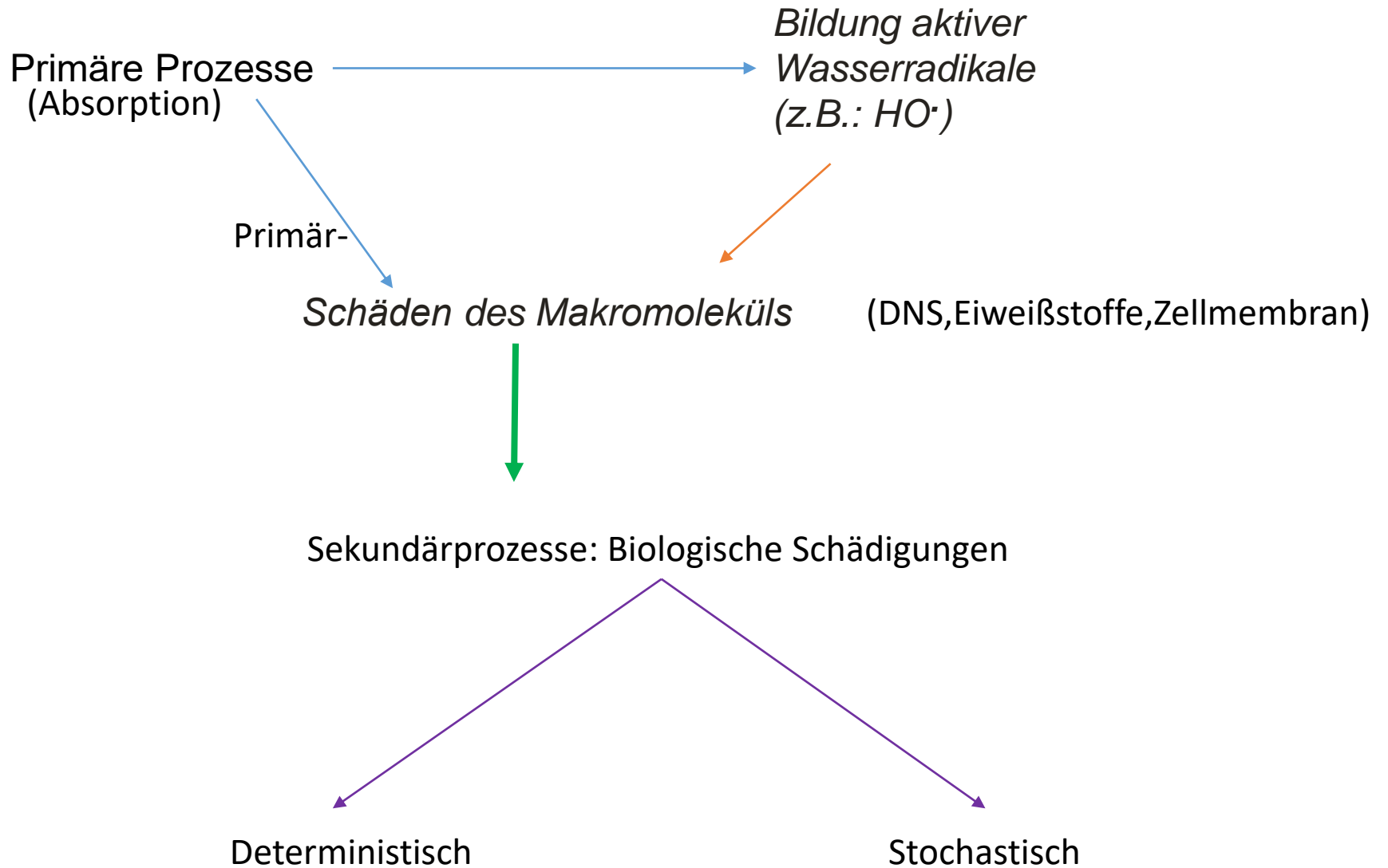
(1uSv/h = 8.7 mSv/Jahr)

- **0.005 mrem** – Sleeping next to someone
- **0.009 mrem** – Living within 30 miles of a nuclear power plant for a year
- **0.01 mrem** – Eating one banana
- **0.03 mrem** – Living within 50 miles of a coal power plant for a year
- **1 mrem** – Average daily dose received from natural background
- **2 mrem** – Chest X-ray
- **4 mrem** – A 5-hour airplane flight
- **60 mrem** – mammogram
- **100 mrem** – Dose limit for individual members of the public, total effective dose per annum
- **365 mrem** – Average yearly dose received from natural background
- **600 mrem** – Chest CT scan
- **1 000 mrem** – Average yearly dose received from natural background in Ramsar, Iran
- **2 000 mrem** – single full-body CT scan
- **18 000 mrem** – Annual dose from natural radiation on a monazite beach near Guarapari, Brazil.
- **500 000 mrem** – Dose that kills a human with a 50% risk within 30 days (LD50/30), if the dose is received over a **very short duration**.

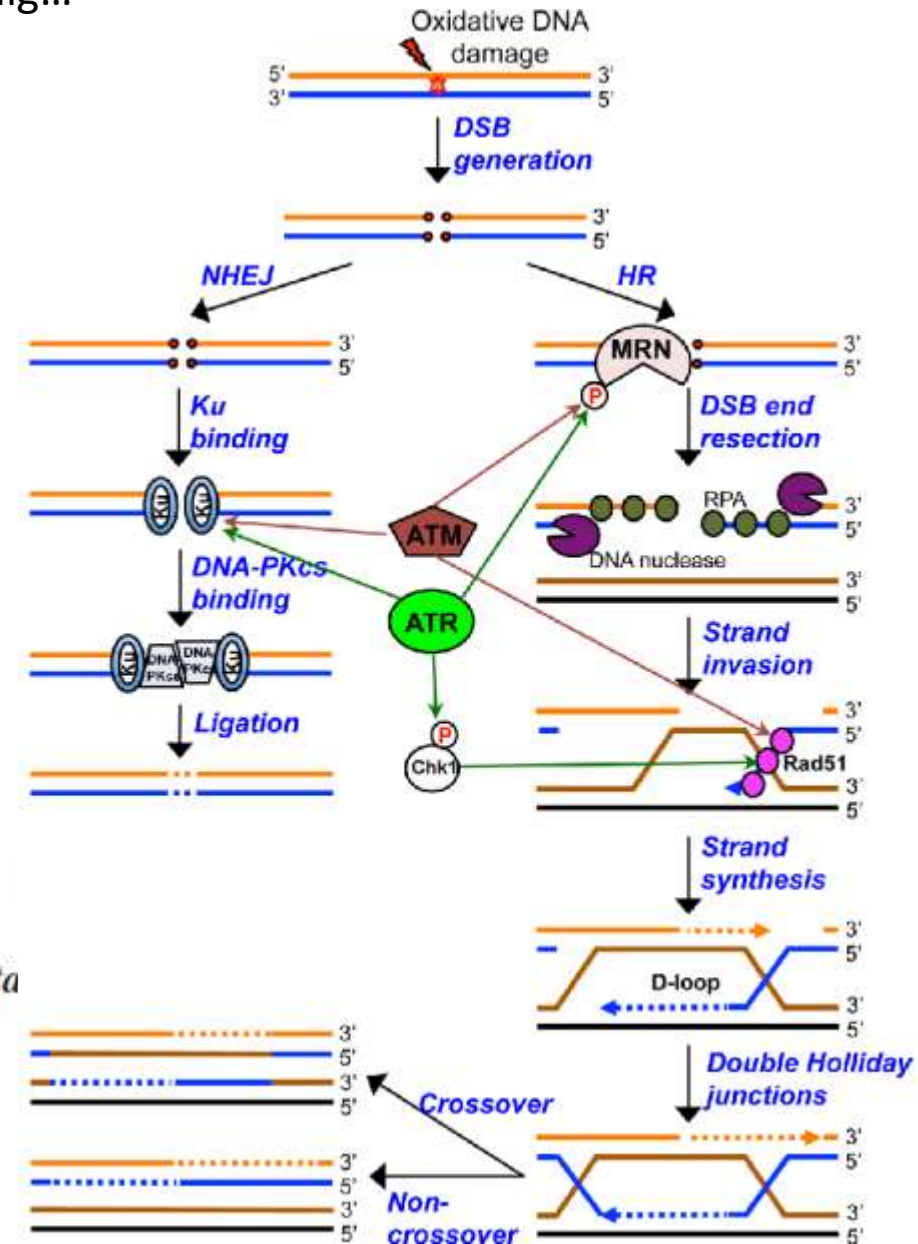
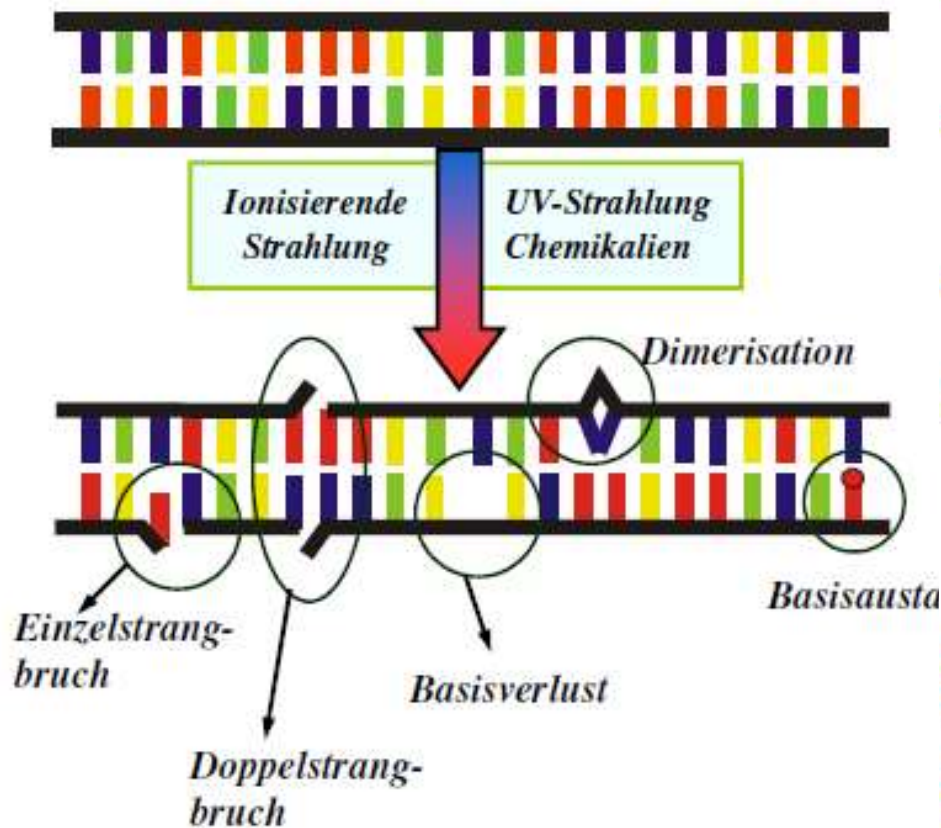
Physikalische Strahlendosimetrie



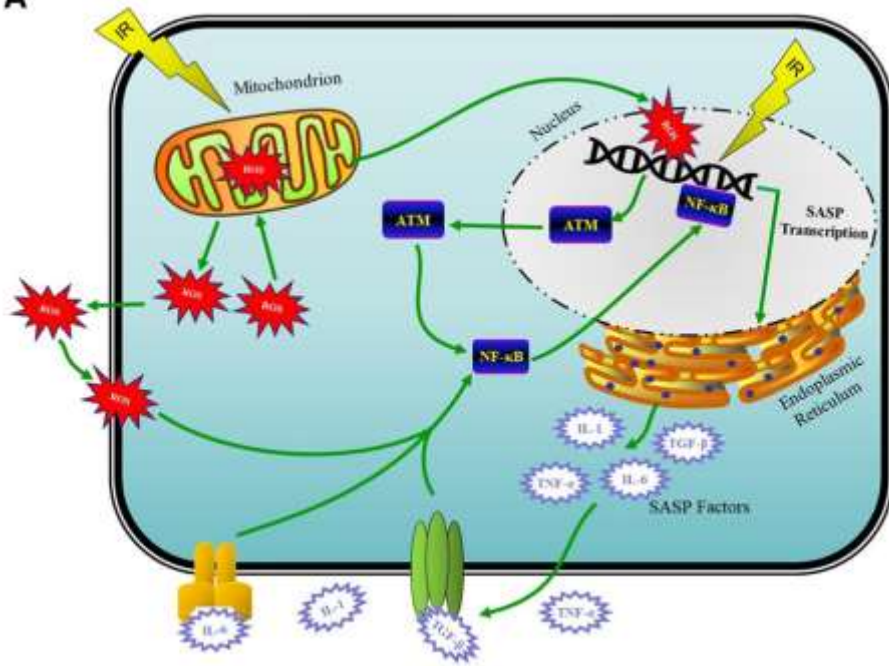
Biologische Strahlendosimetrie



Reparatur ist möglich, aber sehr umständig...



A

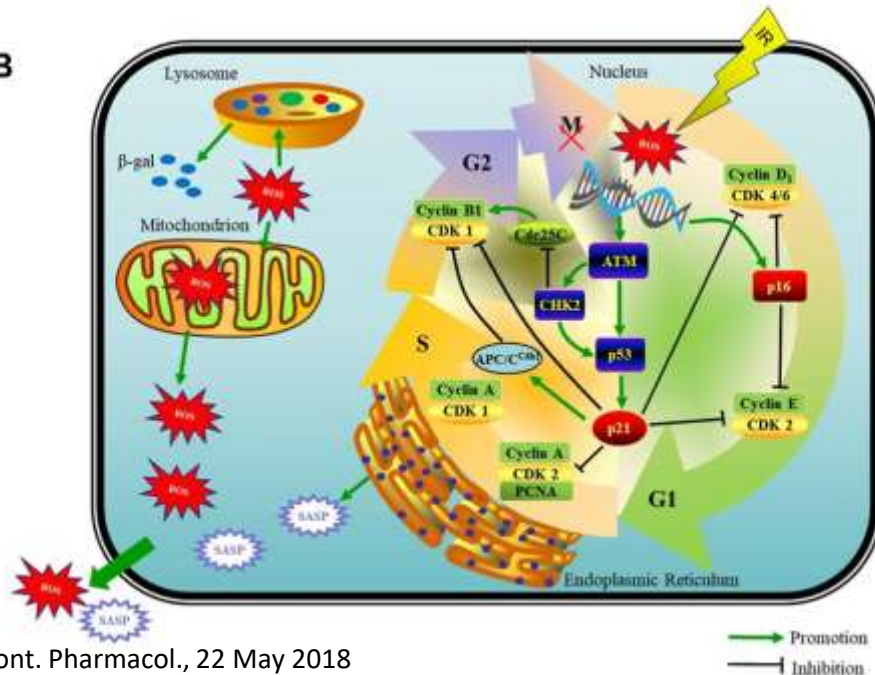


Nicht nur DNS kann beschädigt werden...



Nachbarzellen werden auch benachrichtigt!

B



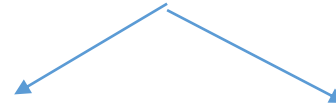
Wirkungen



Reversibel

irreversibel

Reparatur

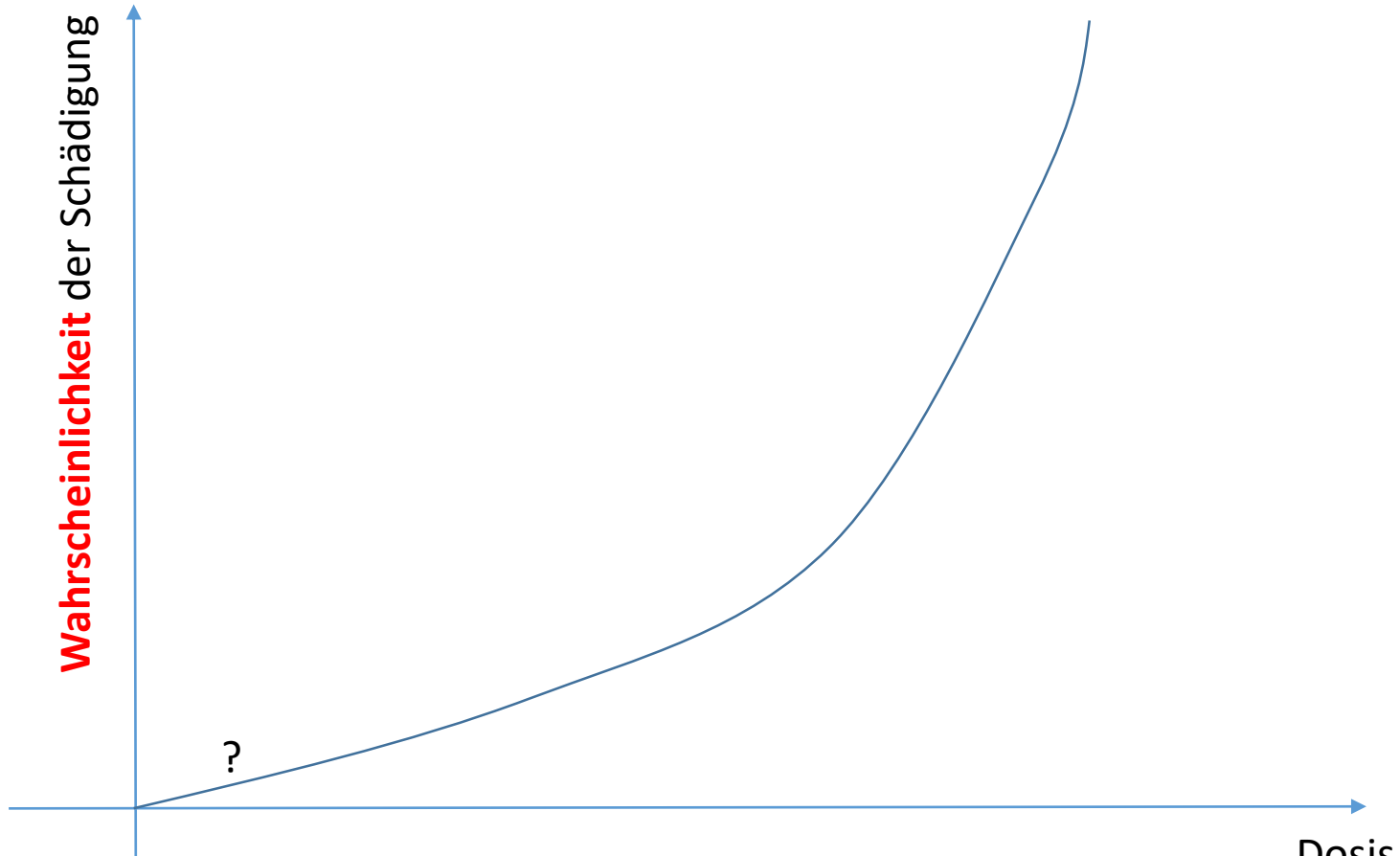


Akut

Chronisch

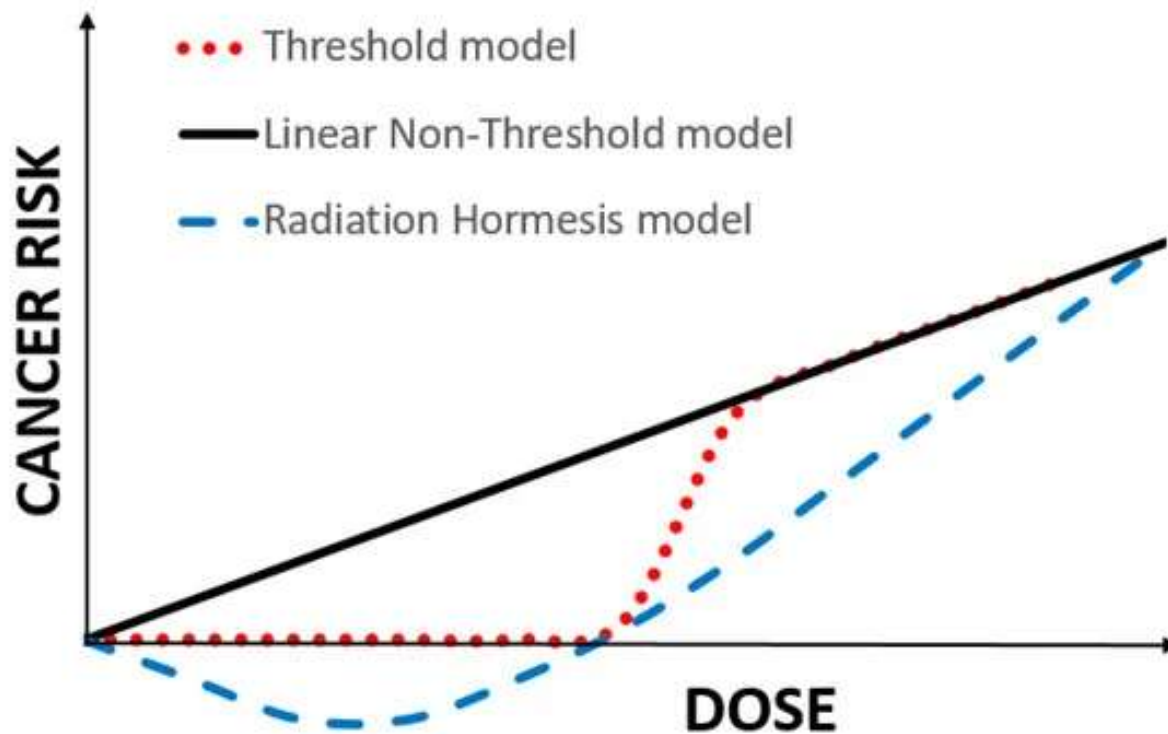
Dosis!

Wahrscheinlichkeit der Schädigung



Was ist bei sehr kleinen
Dosiswerten?

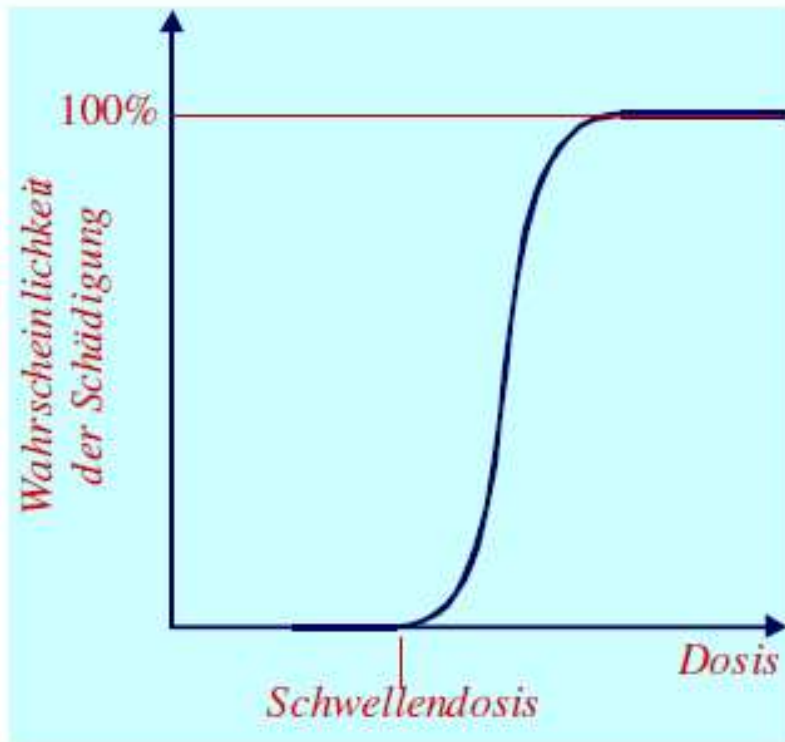
Es gibt keine Schwellendosis!



Int. J. Mol. Sci. **2020**, *21*(18), 6650;
<https://doi.org/10.3390/ijms21186650>

[Front Immunol.](#) **2018**; *9*: 1834. : **Low-Dose Radiotherapy Ameliorates Advanced Arthritis in hTNF- α tg Mice by Particularly Positively Impacting on Bone Metabolism**

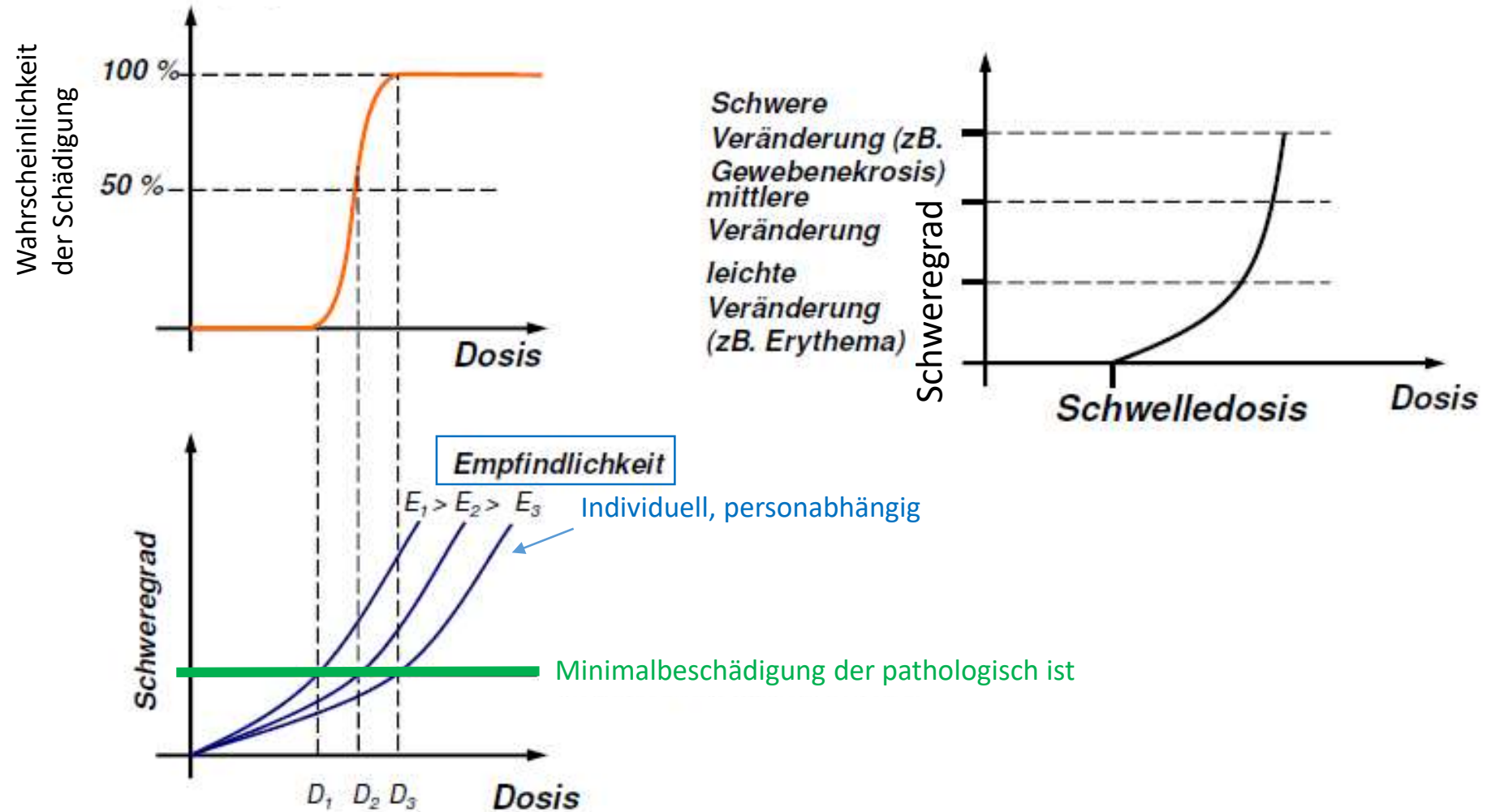
Deterministisch



Erythem
Abnahme der Leukozyten
Knochenmarkschädigung
etc.

Erhöhung der Dosis erhöht den Grad
der Schädigung

Deterministische Beschädigung





$$\text{Energiedosis} = \frac{\text{absorbierte Strahlungsenergie}}{\text{Masse}}$$

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m} = \frac{\Delta E}{\rho \cdot \Delta V} \quad [D] = \frac{J}{kg} = Gy \text{ (Gray)}$$

Gültigkeit:

- für sämtliche Strahlungen
- keine Beschränkung auf Energie oder Materie

Strahlenbelastung und Dosisniveaus

letale Dosis (**LD**):

Diejenige Dosis, die innerhalb 30 Tagen beim 100 % der bestrahlten Personen zum Tod führt:

$D > 6 \text{ Gy}$ bei Ganzkörperbestrahlung

halbletale Dosis (**LD₅₀**):

Diejenige Dosis, die innerhalb 30 Tagen beim 50 % der bestrahlten Personen zum Tod führt:

$D > 3\text{-}4 \text{ Gy}$ bei Ganzkörperbestrahlung

Tumorthherapie:

20-40

~ 50

>60 Gy

empfindliche Tumoren

„durchschnittlich“

strahlenwiderständige Tumoren

Warum ist D direkt nicht messbar?

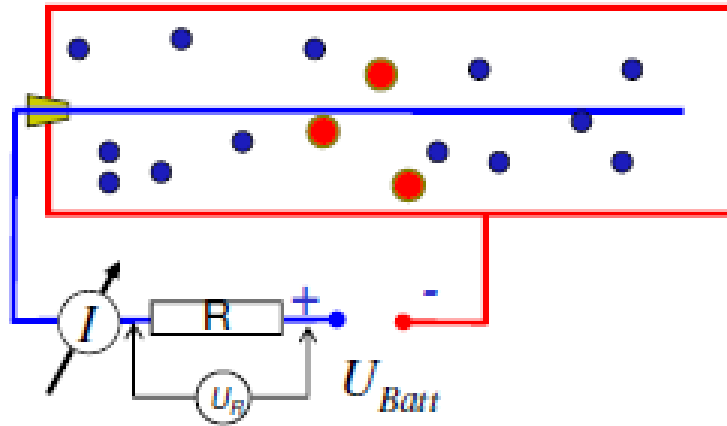
Wie viel würde die Gewebetemperatur steigen bei LD-Dosis?
(sei $D \sim 10 \text{ Gy}$)

$$\Delta T = 0.0028 \text{ K !!}$$

Wir müssen messen, da fühlen werden wir es nicht!
Direkte Energiemessung ist viel zu ungenau.

Spezifische Wärmekapazität

Stoff	$c \text{ (kJ/(kg}\cdot\text{K))}$
Wolfram (W)	0,132
Wasser	4,18
Eis	2,094
Ethanol	2,4
Muskel	3,76
Blut	3,9
Kompakter Knochen	1,3-1,7
Fettgewebe	3
Körpersgewebe (im Durchschnitt)	3,5

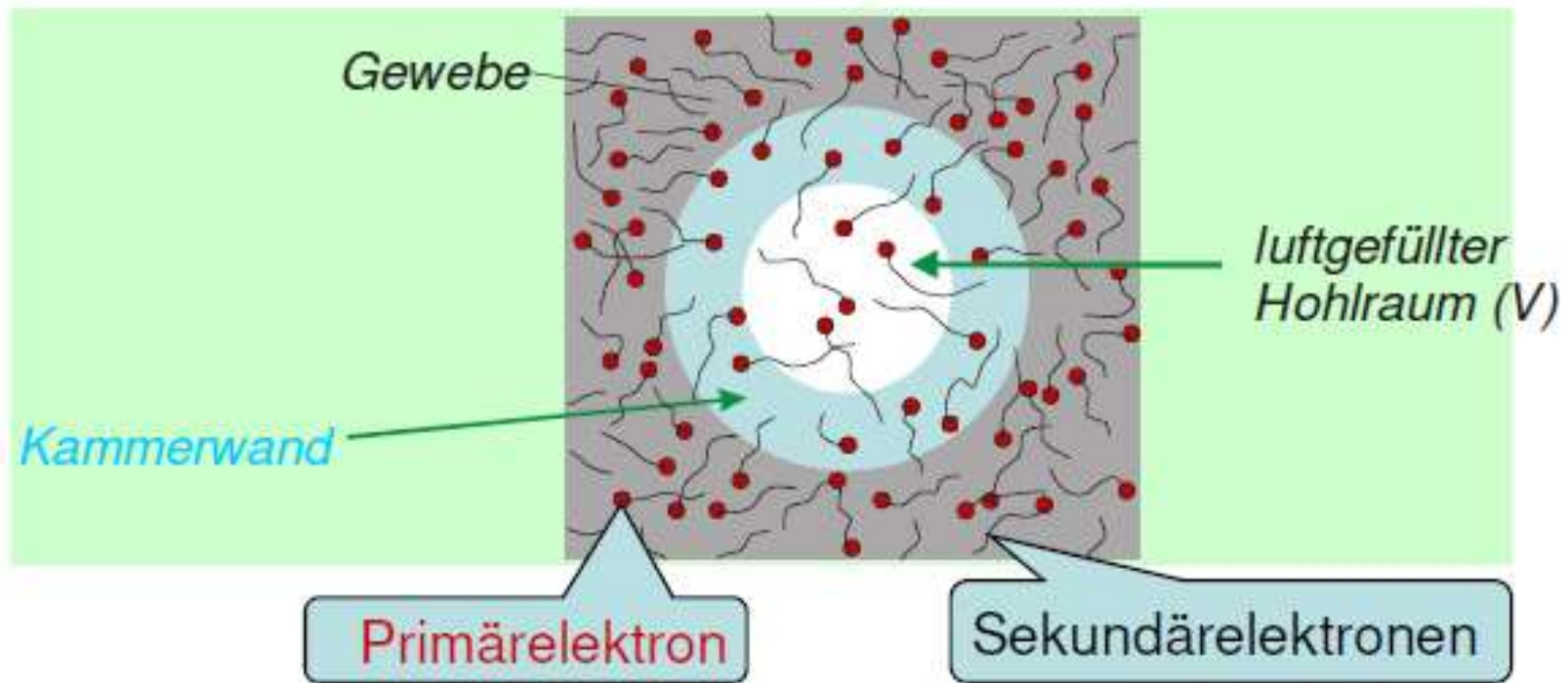


$$\text{Ionendosis} = \frac{\text{elektrische Ladung eines Vorzeichens}}{\text{Luftmasse}}$$

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m_{\text{Luft}}} = \frac{\Delta Q}{\rho_{\text{Luft}} \cdot \Delta V} \quad [X] = \frac{C}{kg}$$

Gültigkeit: Rtg, Gamma ; nur im Luft bis 3MeV ; nur im elektronengleichgewicht!

Elektronengleichgewicht

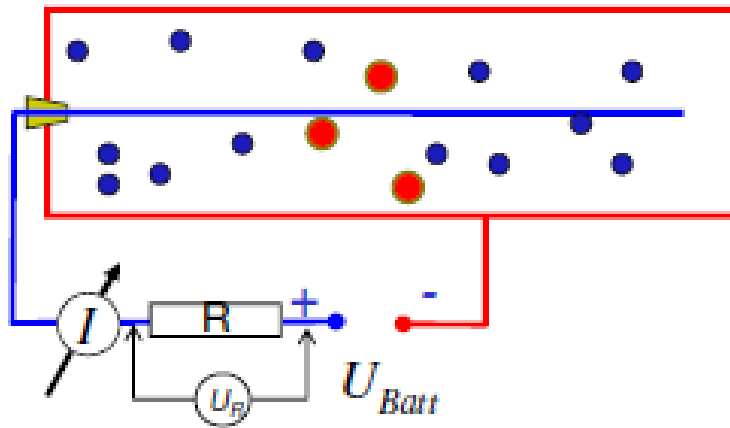


Diese sind sehr wichtig!!

Verlust = Gewinn
In der Messvolumen

Abs -> Primärelektron mit hoher E_{kin}

Sekundäre Ionisation -> Ladungen



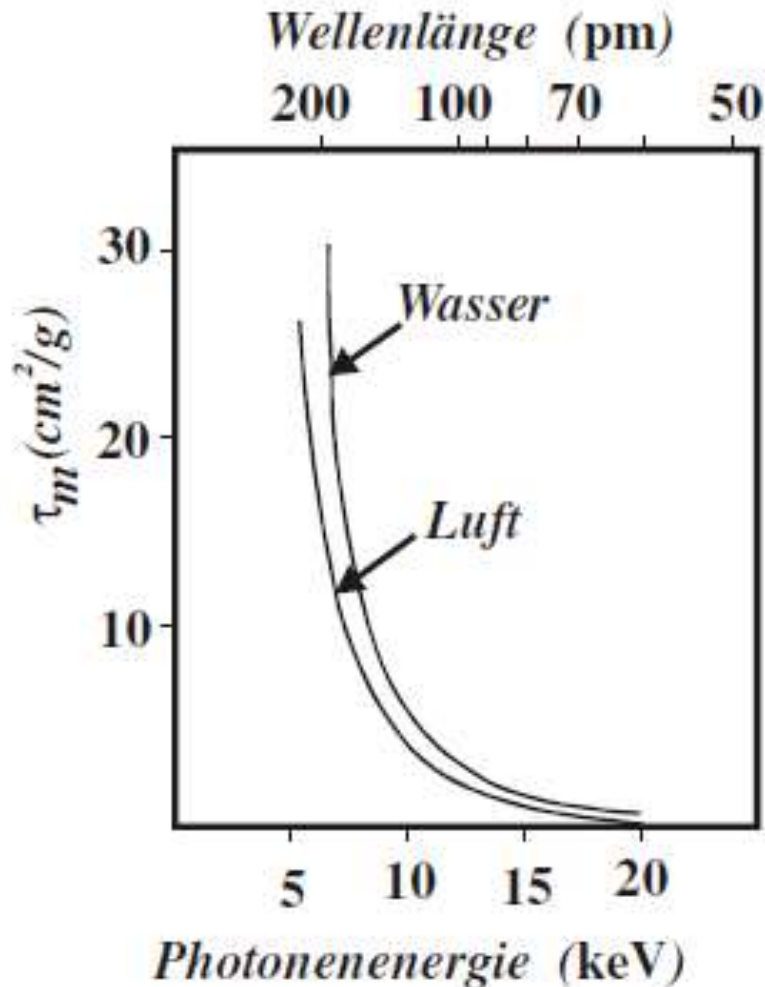
$$X = I \cdot t / m$$

$$D = f_0 \cdot X$$

im Luft:

$$\frac{34 \text{ eV} \cdot \frac{1 \text{ C}}{e}}{1 \text{ kg}} = \frac{34 e \cdot 1 \text{ V} \cdot \frac{1 \text{ C}}{e}}{1 \text{ kg}} = 34 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

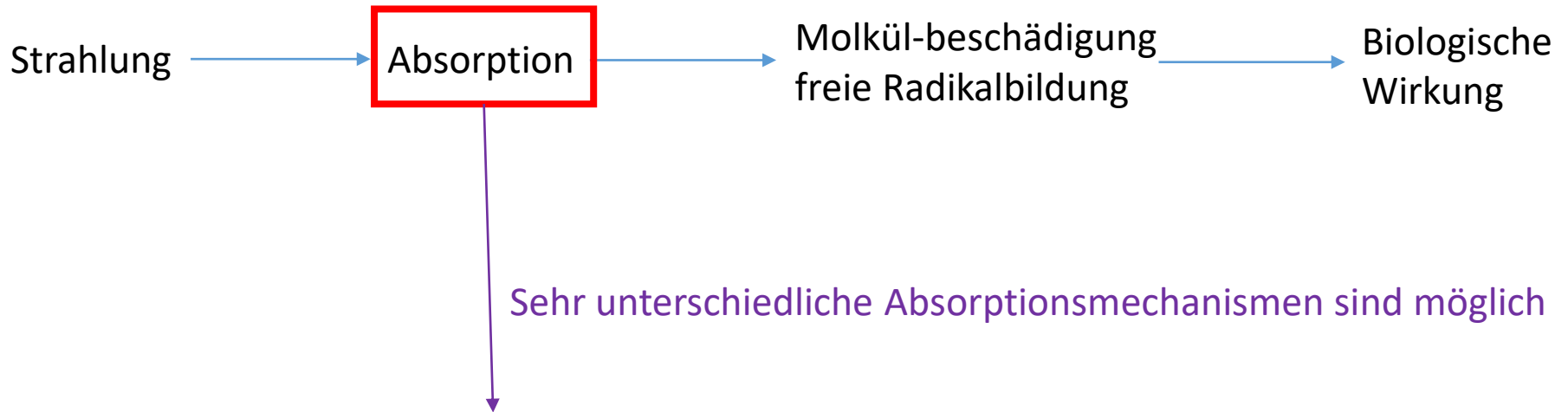
Bei Absorption die Menge der Ladung ist zu dem Massenschwächungskoeffizient des Absorbents proportional



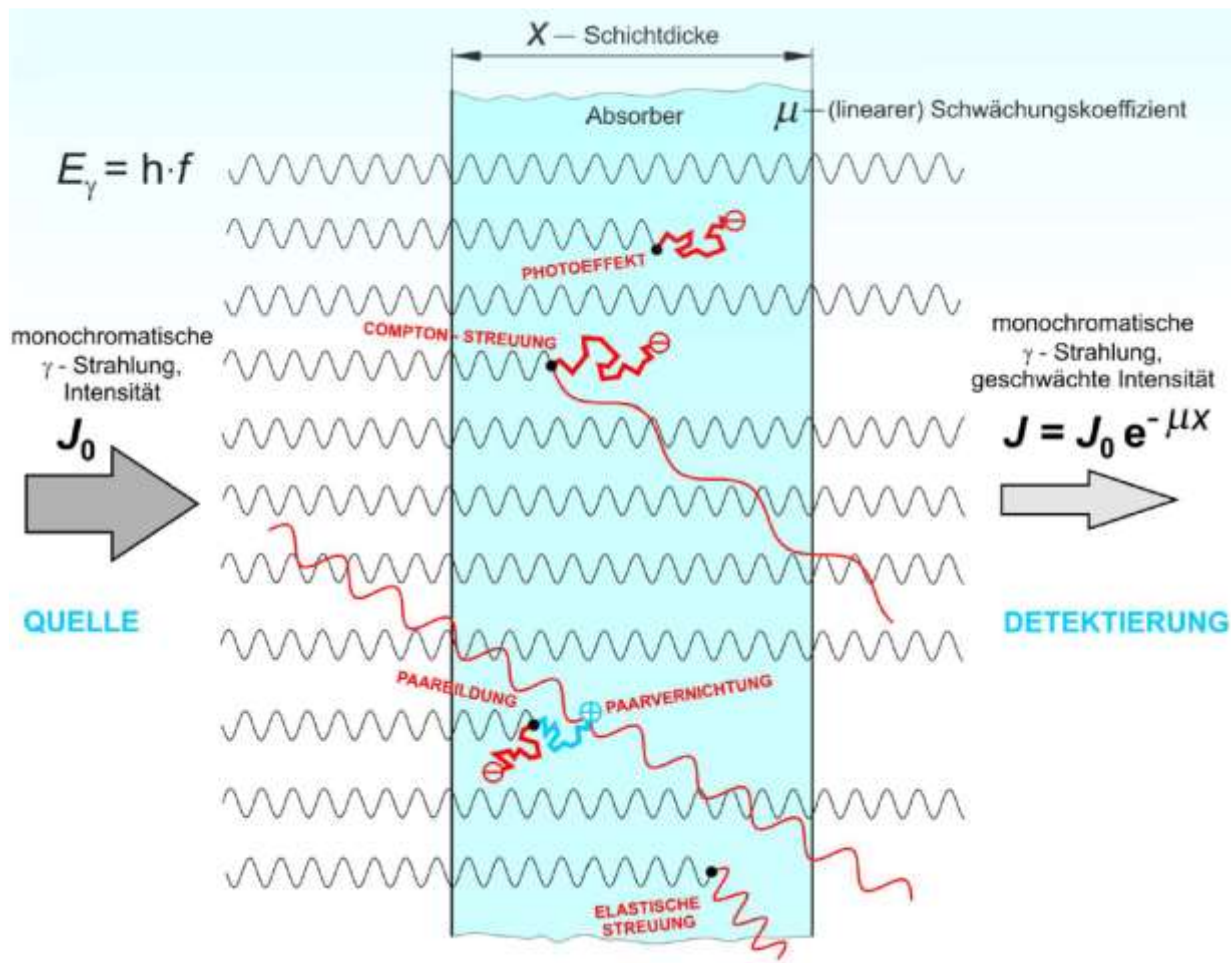
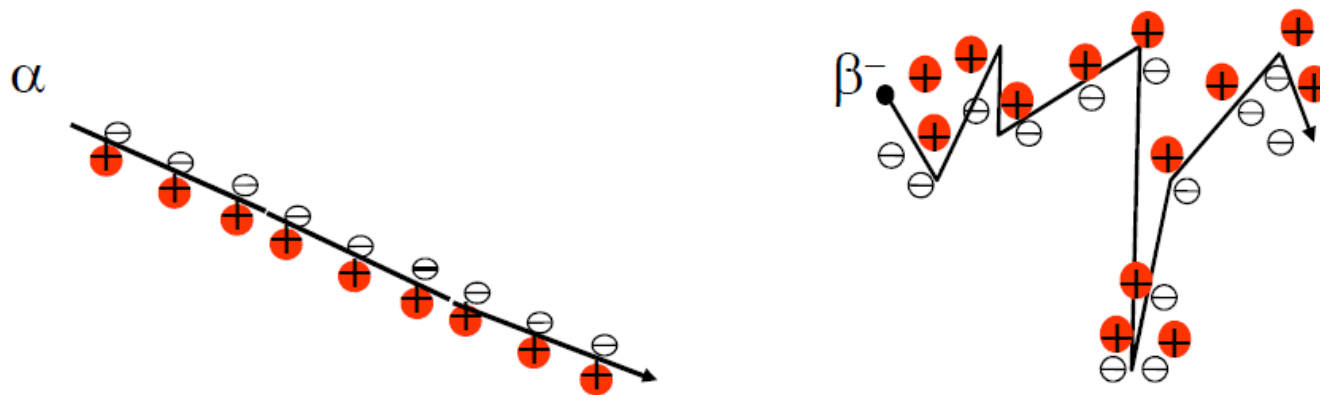
$$\frac{D_{\text{Gewebe}}}{D_{\text{Luft}}} = \frac{\mu_{m,\text{Gewebe}}}{\mu_{m,\text{Luft}}}$$

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

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



IONISIERENDE STRAHLUNGEN			
DIREKTE IONISATION <i>(durch Teilchen mit Ladung)</i>		INDIREKTE IONISATION <i>(durch Photoeffekt, Compton-Streuung, Paarbildung)</i>	
α (Alphastrahlen)	${}^4_2\text{He}$ (Heliumkern)	γ (Gammastrahlen)	$E = h \cdot f$ (100 keV-10 MeV)
β (Betastrahlen)	${}^0_{-1}\text{e}$ (Elektron), ${}^0_1\text{e}$ (Positron)	Röntgenstrahlen	$E = h \cdot f$ (10 eV-1 MeV)
p (Protonenstrahlen)	${}^1_1\text{p}$	n (Neutronenstrahlen)	${}^1_0\text{n}$

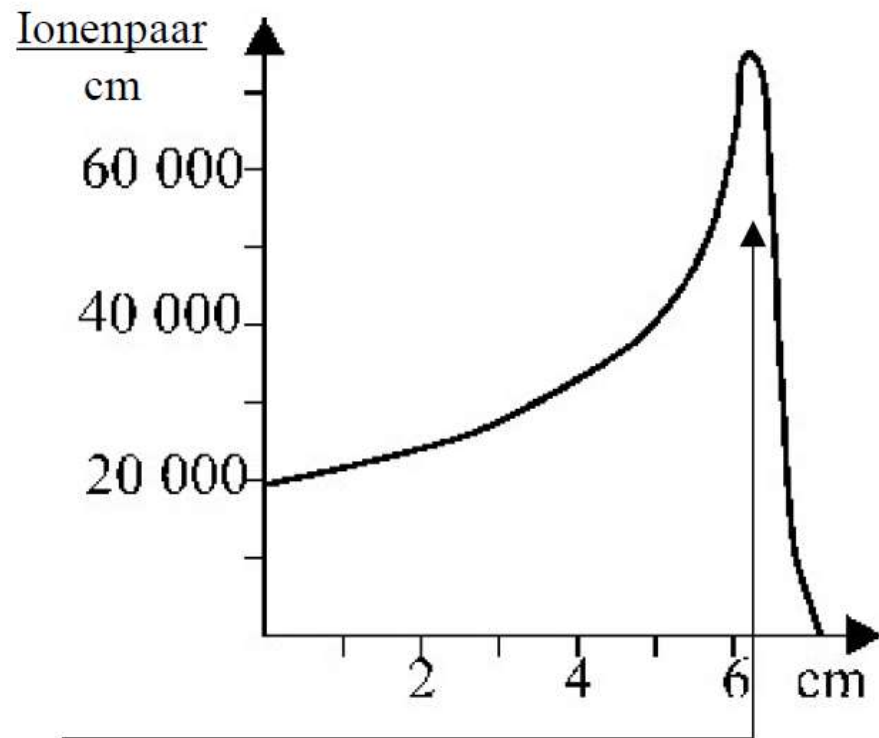


Lineare Energieübertragung (**LET**, Linear Energy Transfer)

$$\text{LET} = (\text{lineare Ionendichte}) \cdot (\text{zur Ionisation notwendige Energie})$$

Lineare Ionendichte für
ein α -Teilchen in Luft

Bragg Spitze



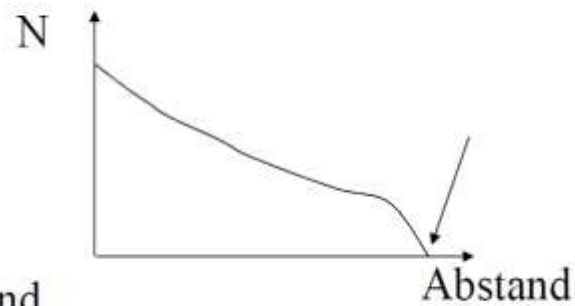
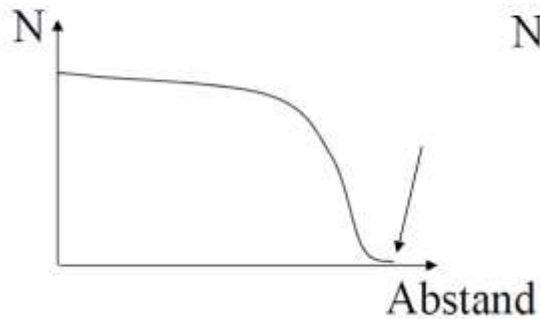
α -Teichen Reichweite β^- -Teilchen

in Luft **einige cm**

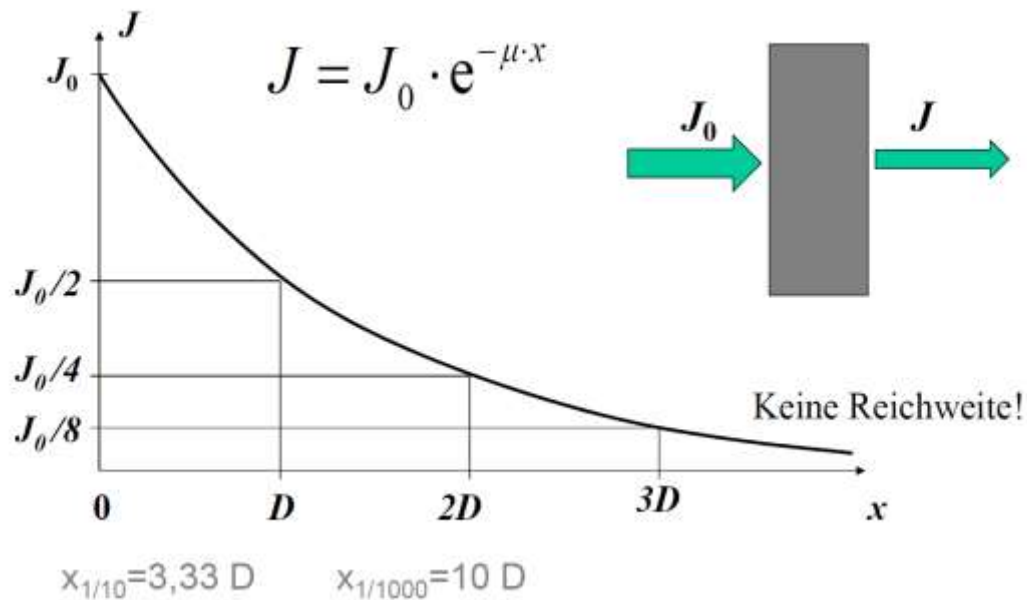
in Luft **m**

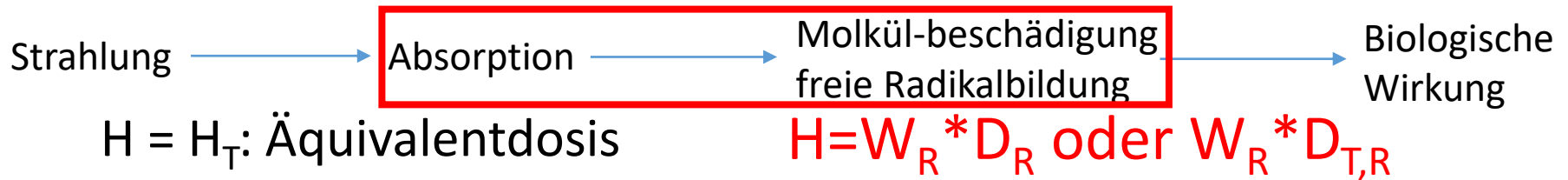
in Gewebe **0,01-0,1 mm**

in Gewebe **cm**



Photonen





Sei: $D_{T,R}$: Energiedosis der untersuchten Strahlung (R) in einem Organ (T)

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

ICRP Publ. 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection

Strahlungsart

Strahlungswichtungsfaktor

W_R

Photonen, alle Energien

1

Elektronen, Myonen, alle Energien

1

Protonen und geladene Pionen

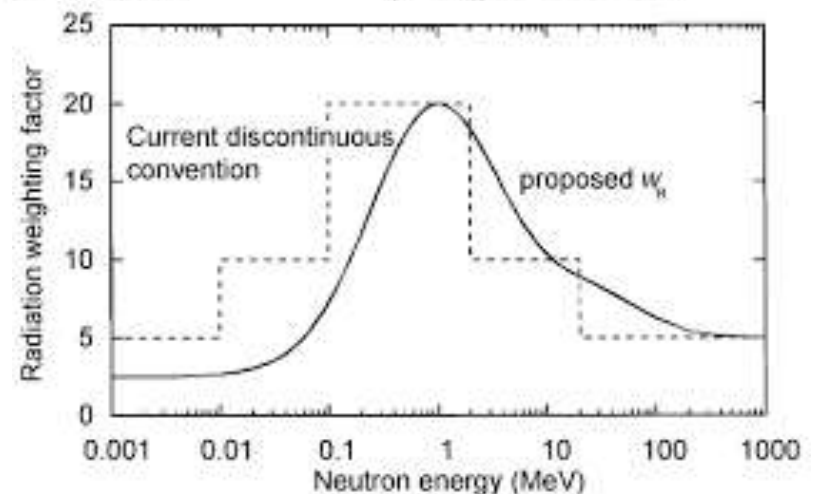
2

Alphateilchen, Spaltfragmente, schwere Ionen

20

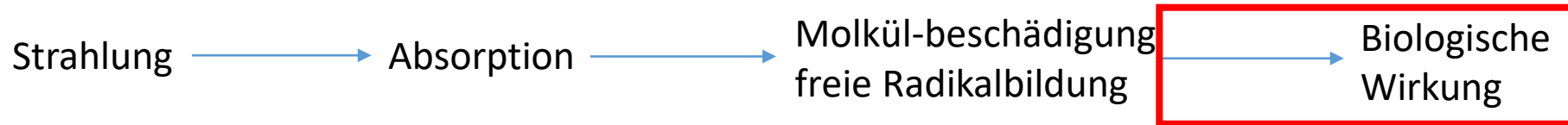
Neutronen

$$w_R = \begin{cases} 2.5 + 18.2e^{-[\ln(E_n)]^2/6}, & E_n < 1 \text{ MeV} \\ 5.0 + 17.0e^{-[\ln(2E_n)]^2/6}, & 1 \text{ MeV} \leq E_n \leq 50 \text{ MeV} \\ 2.5 + 3.25e^{-[\ln(0.04E_n)]^2/6}, & E_n > 50 \text{ MeV} \end{cases}$$



$$H = W_R * D_R \text{ oder } W_R * D_{T,R}$$

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.



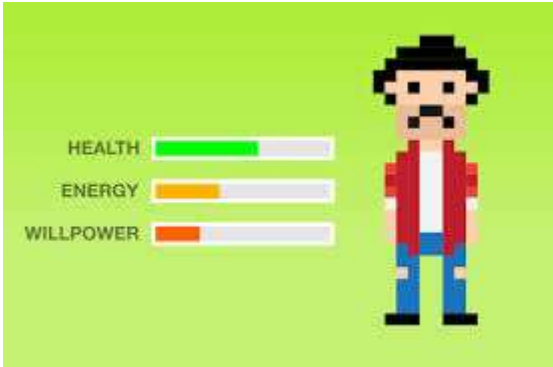
EFFEKTIVDOSIS → Welche Gewebe?

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

ICRP Publ. 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection

Die körporgewebeabhängige 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

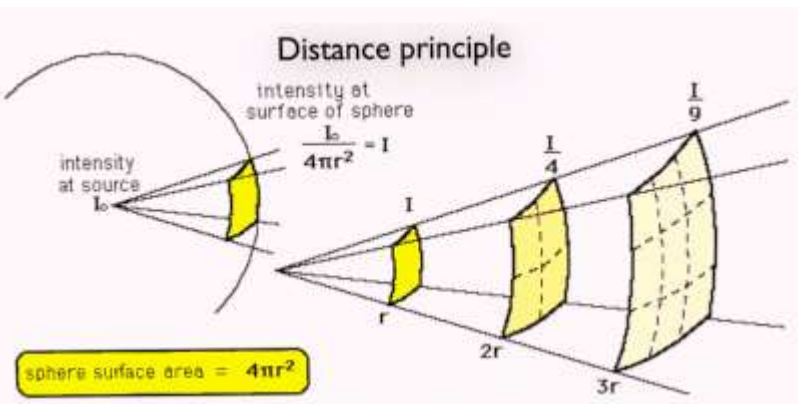


Gewebe	Gewebewichtungs- faktor w _T	Σ w _T
Knochenmark (rot), Dickdarm, Lunge, Magen, Brust, Restgewebe *	0,12	0,72
Gonaden	0,08	0,08
Blase, Speiseröhre, Leber, Schilddrüse	0,04	0,16
Knochenoberfläche, Gehirn, Speicheldrüsen, Haut	0,01	0,04
	Gesamt	1,00
* Restgewebe: Nebennieren, extrathorakalen (ET) Region, Gallenblase, Herz, Nieren, Lymphknoten, Muskel, Mundschleimhaut, Bauchspeicheldrüse, Prostata (♂), Dünndarm, Milz, Thymus, Uterus / Zervix (♀)		

Dosisleistung = Dosis Expositionszeit

$$D_{\text{Luft}} = K_{\gamma} \cdot \frac{A \cdot t}{r^2}$$

$$[K_{\gamma}] = \frac{\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2}{\text{h} \cdot \text{GBq}}$$



Chemisches Element und seine Ordnungszahl	Symbol des Isotops	Physikalische Halbwertszeit	Zerfallstyp	Maximale Teilchenenergie (MeV)	γ -Energie (MeV)	K_{γ} Dosis-konstante $\left(\frac{\mu\text{Gy}_{\text{Luft}} \cdot \text{m}^2}{\text{GBq} \cdot \text{h}}\right)$
Wasserstoff	1 ^3H	12,33 Jahre	β^-	0,0186	–	
Kohlenstoff	6 ^{11}C	20,4 Minuten	β^+	0,96	–	
	^{14}C	5760 Jahre	β^-	0,155	–	
Stickstoff	7 ^{15}N	10 Minuten	β^+	1,19	–	
Sauerstoff	8 ^{15}O	2 Minuten	β^+	1,73	–	
Fluor	9 ^{18}F	109,8 Minuten	β^+	0,633	–	
Natrium	11 ^{24}Na	15,02 Stunden	β^-, γ	1,392	2,754 1,369	444
Phosphor	15 ^{32}P	14,28 Tage	β^-	1,710	–	
Schwefel	16 ^{35}S	87,2 Tage	β^-	0,167	–	
Kalium	19 ^{40}K	1,28·10 ⁹ Jahre	$\beta^-, \text{K (10\%)}$	1,31	1,46 nach K	
	^{42}K	12,36 Stunden	β^-, γ	3,52 (75%) 1,99 (25%)	1,525	
Calcium	20 ^{45}Ca	163 Tage	β^-	0,257	–	
Chrom	24 ^{51}Cr	27,7 Tage	$\text{K, e}^-, \gamma$	0,315 (e ⁻)	0,320	
Eisen	26 ^{54}Fe	8,2 Stunden	β^+, γ	0,8	0,5	160
	^{59}Fe	44,6 Tage	β^-, γ	1,566	1,30 1,10	
Kobalt	27 ^{60}Co	5,272 Jahre	β^-, γ	0,318	1,33 1,17	305
Kupfer	29 ^{64}Cu	12,74 Stunden	β^- (39%) β^+ (19%) K (42%) γ (1%)	0,575 0,656	1,34	
Krypton	36 ^{85}Kr	10,73 Jahre	β^-, γ	0,687	0,514	
Rubidium	37 ^{81}Rb	4,7 Stunden	β^+, γ	0,99	1,93 0,95	
	^{86}Rb	18,65 Tage	β^-, γ	1,78	1,078	
Strontium	38 ^{90}Sr	29 Jahre	β^-	0,546	–	
Yttrium	39 ^{90}Y	64 Stunden	β^-, γ (0,4%)	2,29	1,761	
Technetium	43 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	6,02 Stunden	γ	–	0,140	
Indium	49 $^{115\text{m}}\text{In}$	1,658 Stunden	γ	–	0,391	
Jod	53 ^{123}I	13,3 Stunden	K, γ	–	0,16	54
	^{125}I	59,7 Tage	K, γ	–	0,0355	
	^{131}I	8,04 Tage	β^-, γ	0,606 0,25 0,81	0,364 0,080 0,723	
Xenon	54 ^{133}Xe	5,29 Tage	β^-, γ	0,346	0,081	
Cäsium	55 ^{137}Cs	30,1 Jahre	β^-, γ	0,512 (92,6%) 1,173 (7,4%)	0,661	80
Gold	79 ^{198}Au	2,695 Tage	β^-, γ	0,961	0,411	
Quecksilber	80 ^{203}Hg	46,6 Tage	β^-, γ	0,212	0,279	
Radon	86 ^{222}Rn	3,824 Tage	α	5,489	–	
Radium	88 ^{226}Ra	1600 Jahre	α, γ (6%)	4,784	0,186 0,260 0,609	
				4,598		
Uran	92 ^{238}U	4,47·10 ⁹ Jahre	α, γ	4,2	0,048	



2.120. Es ist die Dosis auf der Hand zu berechnen, wenn man ein Probierglas mit einer ^{24}Na -Lösung mit einer Aktivität von 680 MBq 30 Sekunden lang in der Hand hält. Die Entfernung zwischen Hand und Flüssigkeit beträgt 1 cm. Es soll auch die Dosis für den Fall berechnet werden, wenn das Probierglas mit einer ca. 20 cm langen Zange angefasst wird. Welche Lehre kann man aus der Rechnung ziehen?

2.121. Wie groß ist die in der Luft erwartete Dosisleistung 30 cm von einem ^{24}Na -Isotop entfernt, das eine Aktivität von 0,6 GBq besitzt?

2.122. Wie fern sollte man sich in der Umgebung eines ^{131}I -Isotops mit einer Aktivität von 0,56 GBq aufhalten, um eine Dosisleistung von $20 \mu\text{Gy}_{\text{Luft}}/\text{h}$ nicht zu überschreiten?

2.123. Wie lange dürfen wir uns in 30 cm Entfernung von einem ^{59}Fe -Präparat aufhalten, dessen Aktivität 0,75 GBq beträgt, ohne die für eine Woche erlaubte Dosis (1 mSv) zu überschreiten?

2.124. Wir legen ein ^{24}Na -Isotop mit einer Aktivität von 0,5 GBq hinter eine 2 cm dicke Bleiwand. Wie groß ist die Dosisleistung an der anderen Seite der Bleiwand in einer Entfernung von 30 cm?



Grundprinzipien:

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

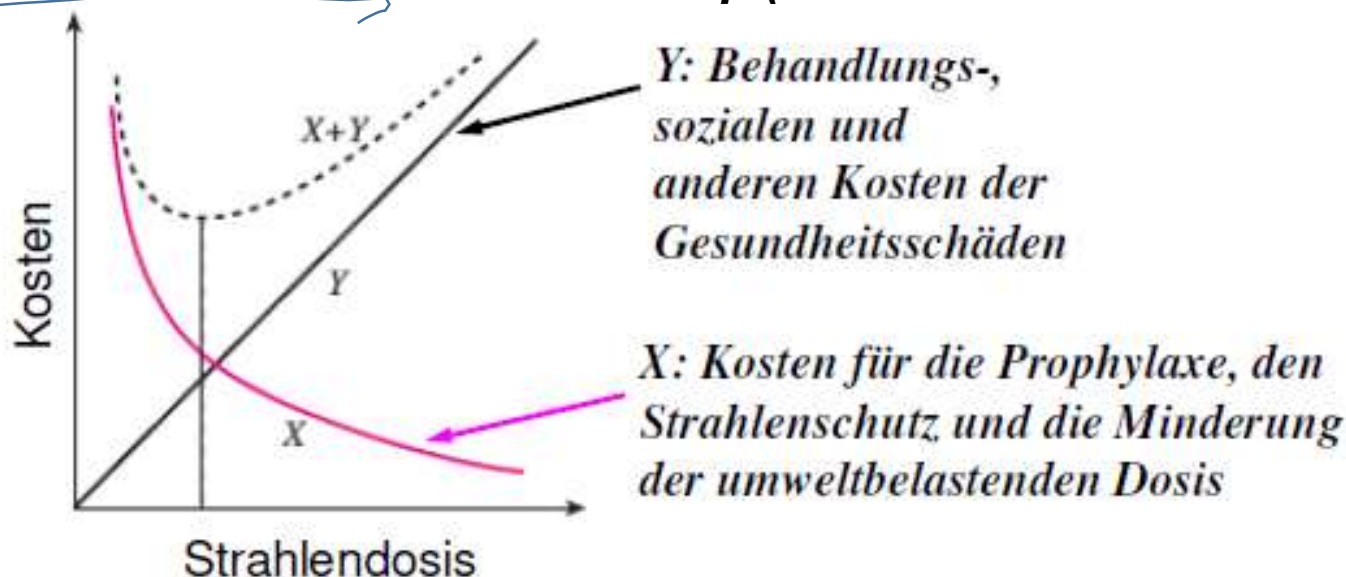
Das Risiko der stochastischen Schäden durch die berufliche Belastung sollte \leq das allgemeine Risiko von Berufsunfällen (10-4 Todesfälle/Jahr),
(in der Bevölkerung 10-5 Todesfälle/Jahr)

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

ad. b.:

- Kosten des Strahlenschutzes \leftrightarrow Gesundheitsrisiko
- ALARA-Prinzip

ALARA-Prinzip (As Low As Reasonable Achievable)



	Berufliche Strahlen- exposition (mSv/Jahr)	Bevölke- rung (mSv/Jahr)
Effective Dosis	20*	1
Äquivalent- dosis (Augenlinse)	150	15
Extremitäten /Haut	500	50

Weitere Einheiten (nicht SI)

rem: “**Roentgen Equivalent Man**”

rad :**R**adiation **A**bsorbed **D**ose

1Gy= 1J/1kg

1 Gy = 100 rad.

1Sv = 100 rem

3876 R (Röntgen) = 1C/kg

- 0.005 mrem** – Sleeping next to someone
- 0.009 mrem** – Living within 30 miles of a nuclear power plant for a year
- 0.01 mrem** – Eating one banana
- 0.03 mrem** – Living within 50 miles of a coal power plant for a year
- 1 mrem** – Average daily dose received from natural background
- 2 mrem** – Chest X-ray
- 4 mrem** – A 5-hour airplane flight
- 60 mrem** – mammogram
- 100 mrem** – Dose limit for individual members of the public, total effective dose per annum
- 365 mrem** – Average yearly dose received from natural background
- 600 mrem** – Chest CT scan
- 1 000 mrem** – Average yearly dose received from natural background in Ramsar, Iran
- 2 000 mrem** – single full-body CT scan
- 18 000 mrem** – Annual dose from natural radiation on a monazite beach near Guarapari, Brazil.
- 500 000 mrem** – Dose that kills a human with a 50% risk within 30 days (LD50/30), if the dose is received over a **very short** duration.