

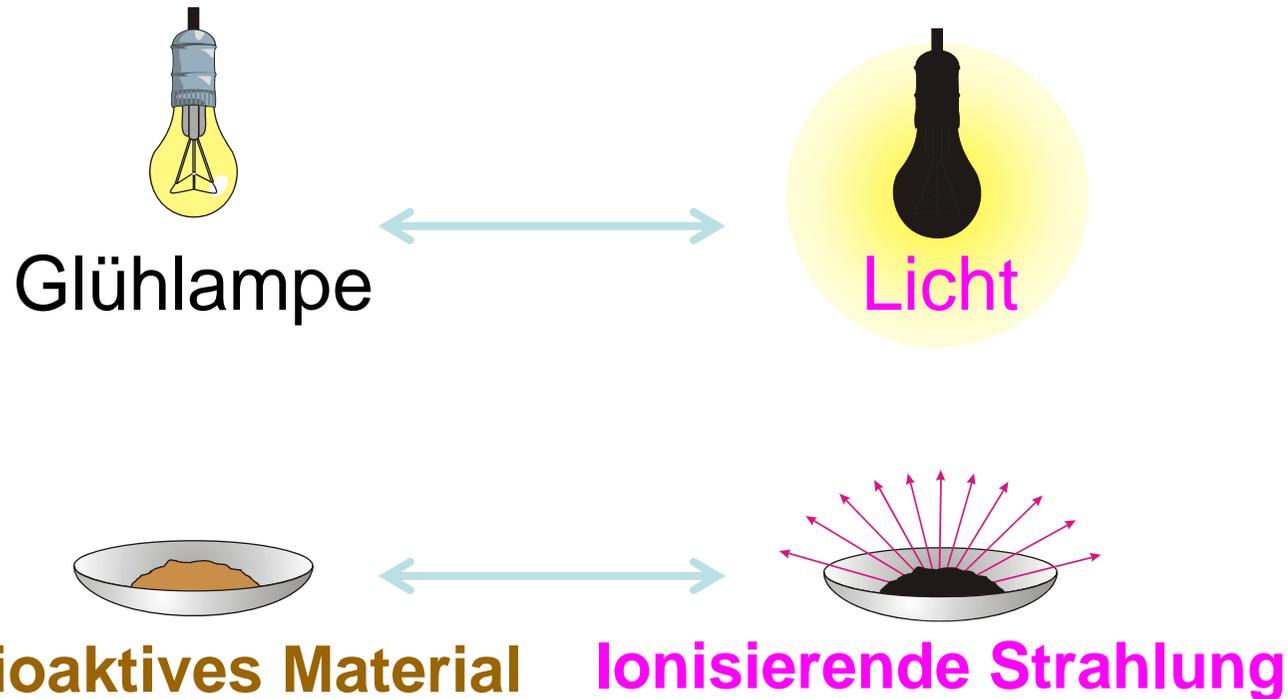
Strahlung und Strahlenschutz in den Physikalischen Praktika

- Was ist Strahlung?
- Welche Gefahren entstehen durch Strahlung?
- Wie kann man sich vor Strahlung schützen?

Was ist Strahlung

Strahlung ist Transport von Energie

z.B. Wasserstrahl, Wärmestrahlung, Licht



Strahlungsklassen

Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen **Materiestrahlung** und **elektromagnetischer Strahlung**.

Materiestrahlen:

α -Strahlen

β -Strahlen

Neutronenstrahlen

Masse wird transportiert!

Elektromagnetische Strahlung

γ -Strahlung

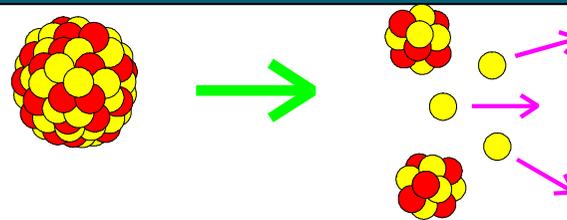
Röntgenstrahlung

Masseloser Energietransport!

Kernreaktionen und Zerfallsarten

Kernspaltung:

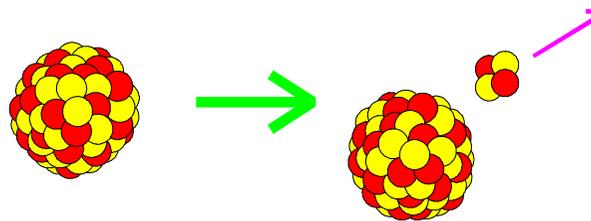
Der Kern zerbricht in zwei etwa gleich große Teile und mehrere freie Neutronen



Neutronen-Strahlung

Alpha-Zerfall:

Der Kern sendet 2 Protonen und 2 Neutronen aus



Alpha-Strahlung

Beta-Zerfall:

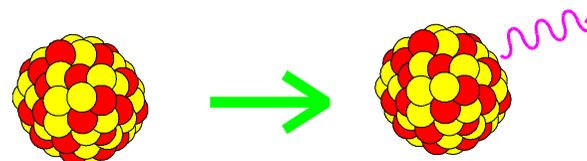
Der Kern sendet ein Elektron oder ein Positron aus



Beta-Strahlung

Gamma-Zerfall:

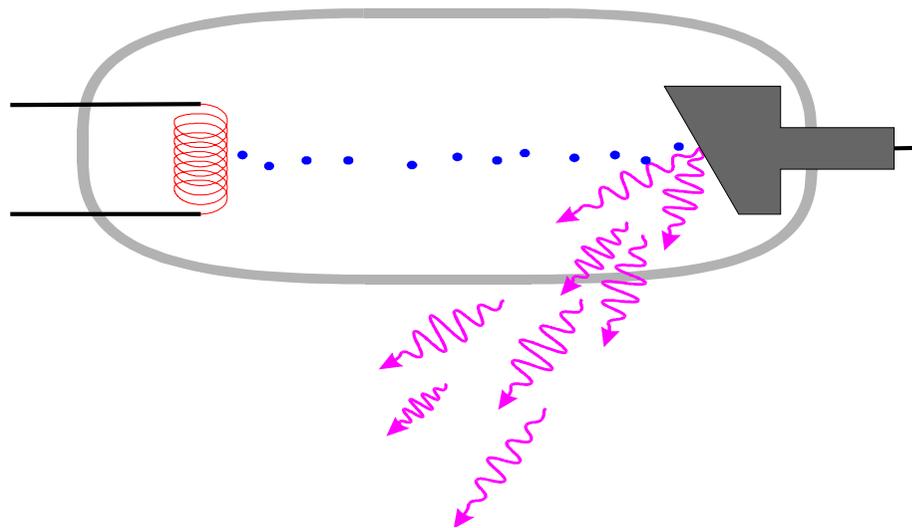
Der Kern sendet ein Photon aus (elektromagnetische Welle)



Gamma-Strahlung

Röntgenstrahlung

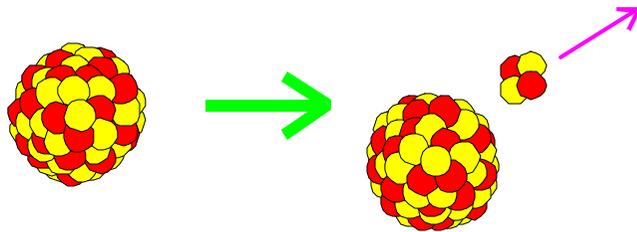
- energiereiche elektromagnetische Strahlung (Photonenstrahlung)
- durchdringende Strahlung
- Röntgenröhre emittiert **Photonen**



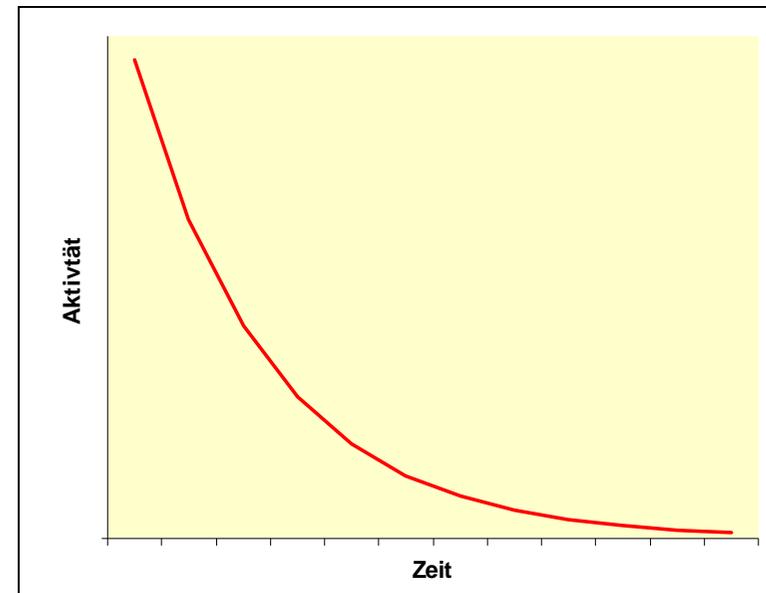


Aktivität

Die **Aktivität** ist ein Maß für die **Menge einer radioaktiven Substanz**.



Sie gibt an, wie viel Atomkerne dieser Substanz pro Sekunde zerfallen und wird gemessen in Becquerel (Bq).

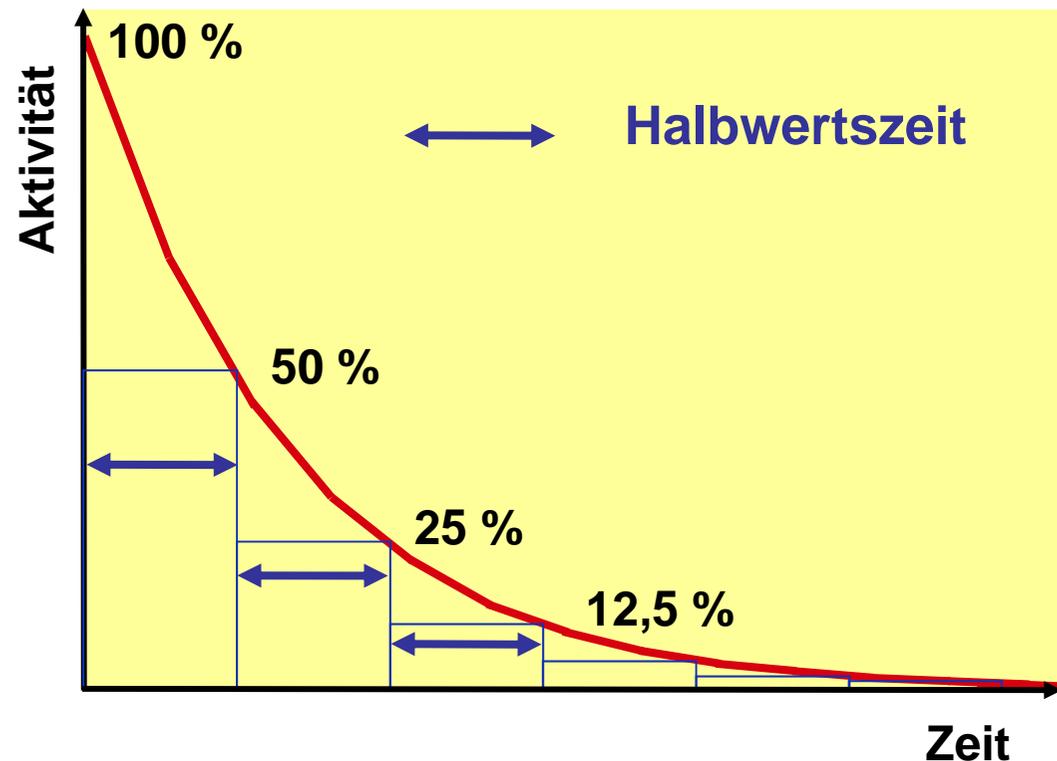


1 Becquerel = 1 Zerfall pro Sekunde
1 Bq = 1/s

Halbwertszeit

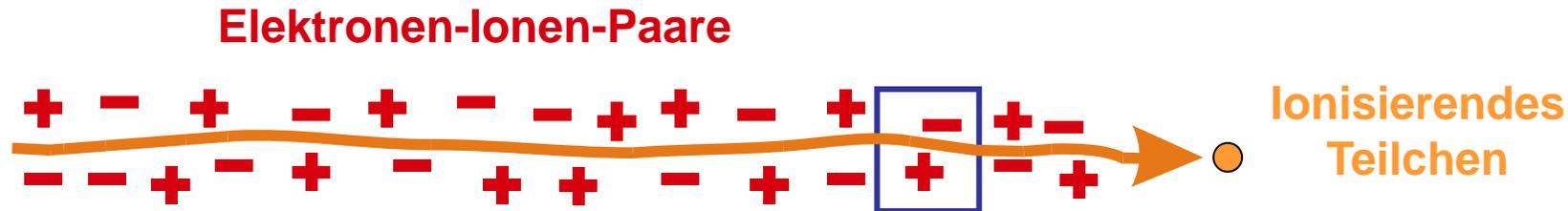
Die **Halbwertszeit** eines Radionuklids ist

- diejenige Zeit, nach der **die Hälfte** der radioaktiven Kerne **zerfallen** ist.
- diejenige Zeit, nach der die **Aktivität auf die Hälfte** abgeklungen ist.



Werte liegen zwischen Bruchteilen von Millisekunden und Jahrmilliarden.

Was ist ionisierende Strahlung ?

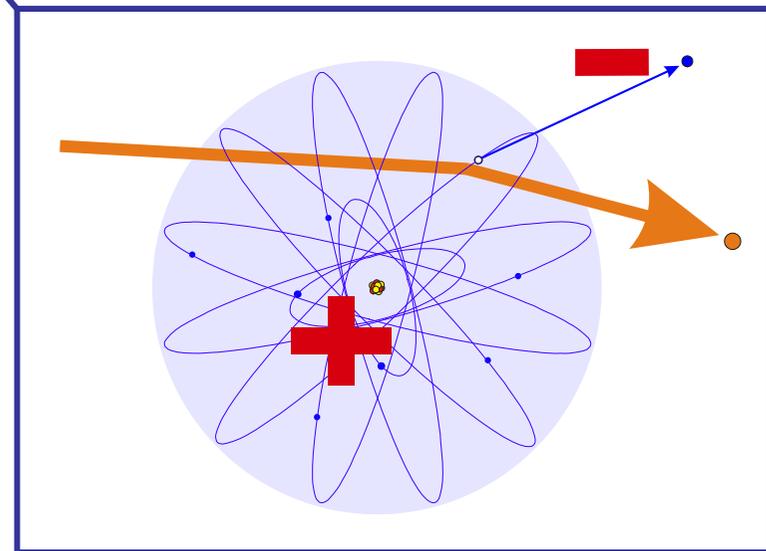


Ionisierung:

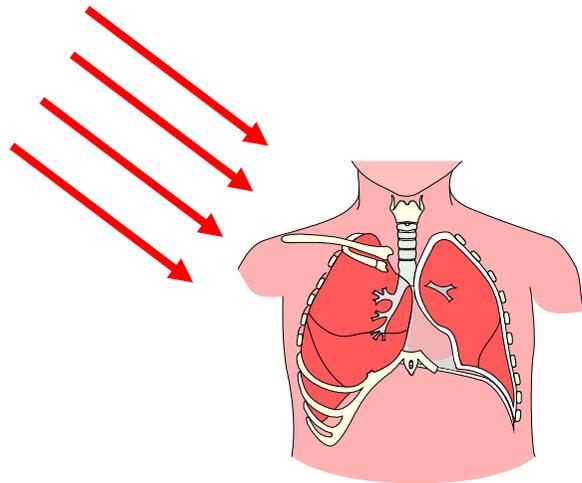
Entlang der **Spur** eines ionisierenden Teilchens bilden sich

Elektronen-Ionen-Paare.

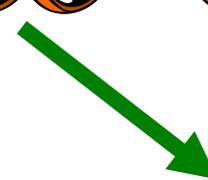
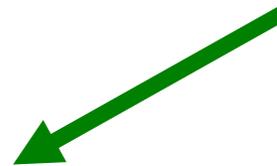
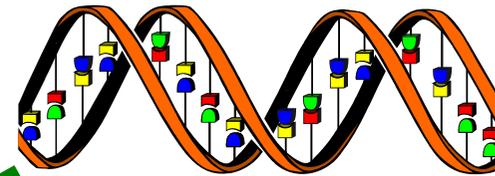
**Insbesondere bei lebender
Materie kann dies
Schädigungen verursachen!**



Wirkung von ionisierender Strahlung auf lebende Materie



Chemische Veränderungen von Zellen
durch Bruch von Bindungen
Insbesondere in der DNA



Reparatur: Intakte Zelle
Keine Reparatur: Zelltod

Fehlerhafte Reparatur:

- Erbgutveränderung
- Krebs

Strahlung und Strahlenschutz in den Physikalischen Praktika

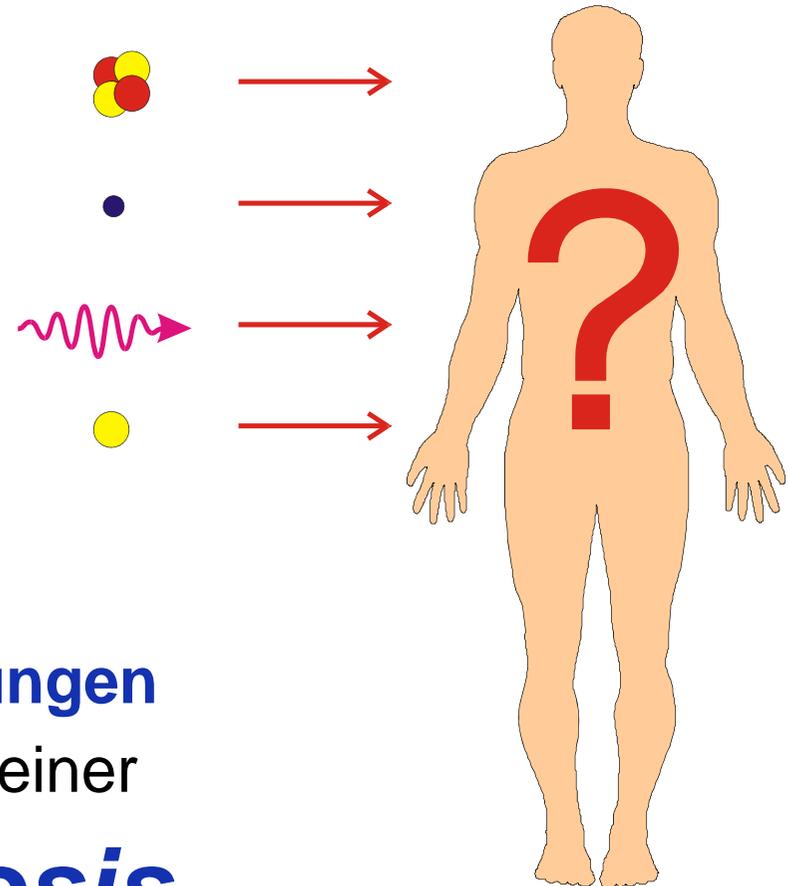
Ionisierende Strahlung

verursacht

***Veränderungen
in der Materie.***

Ein quantitatives
Maß für diese Veränderungen
erhält man durch Angabe einer

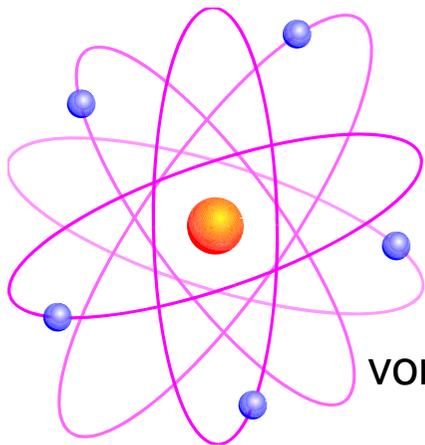
Dosis.



Energiedosis - Körperdosis

Energiedosis

beschreibt physikalische Prozesse
(Energieübertrag auf Materie)



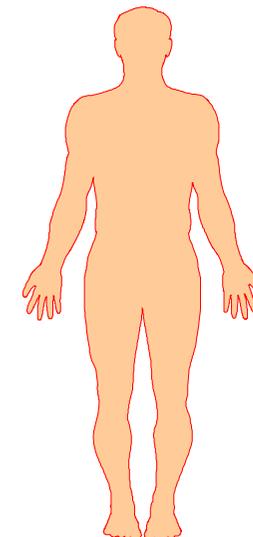
Einheit:
Gray (Gy)

Energieübertrag
von Strahlung auf Materie
 $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$

Körperdosis

ist ein Maß für Gefährdung
(keine physikalische Größe)

Einheit:
Sievert (Sv)



Bindeglied zwischen Energiedosis und Körperdosis:
Strahlungs-Wichtungsfaktoren

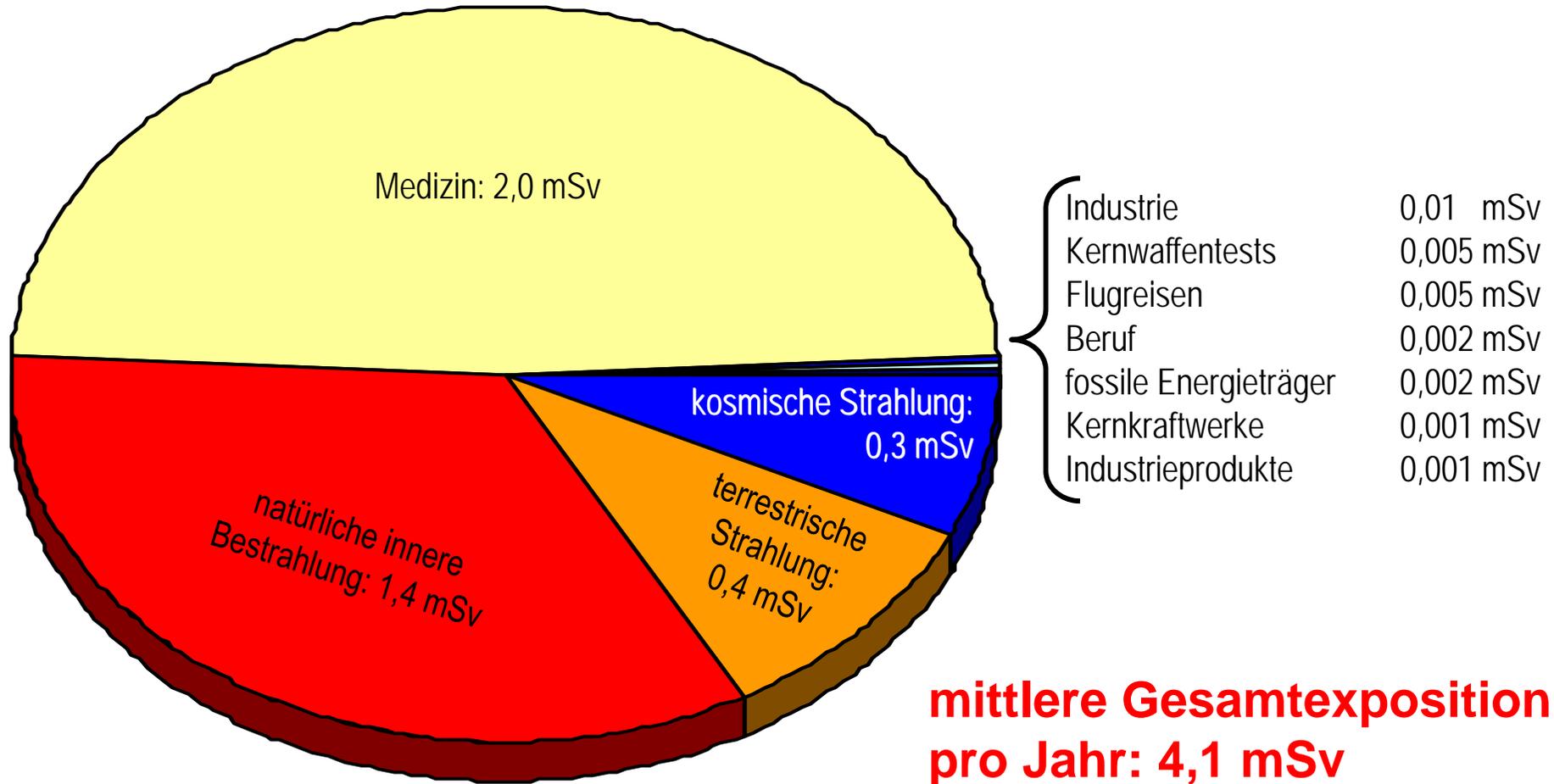
Strahlungs- Wichtungsfaktor

Durch Multiplikation der **Energiedosis [in Gy]**
mit dem **Strahlungs-Wichtungsfaktor**
erhält man die **Körperdosis [in Sv]**.

$$\text{Körperdosis} = \text{Strahlungs-Wichtungsfaktor} \cdot \text{Energiedosis}$$

Strahlung		Wichtungsfaktor
Röntgen- und Gamma-Strahlung:		1
Beta-Strahlung:		1
Neutronenstrahlung:		5–20 (energieabhängig)
Alpha-Strahlung:		20

Strahlenexposition in Deutschland

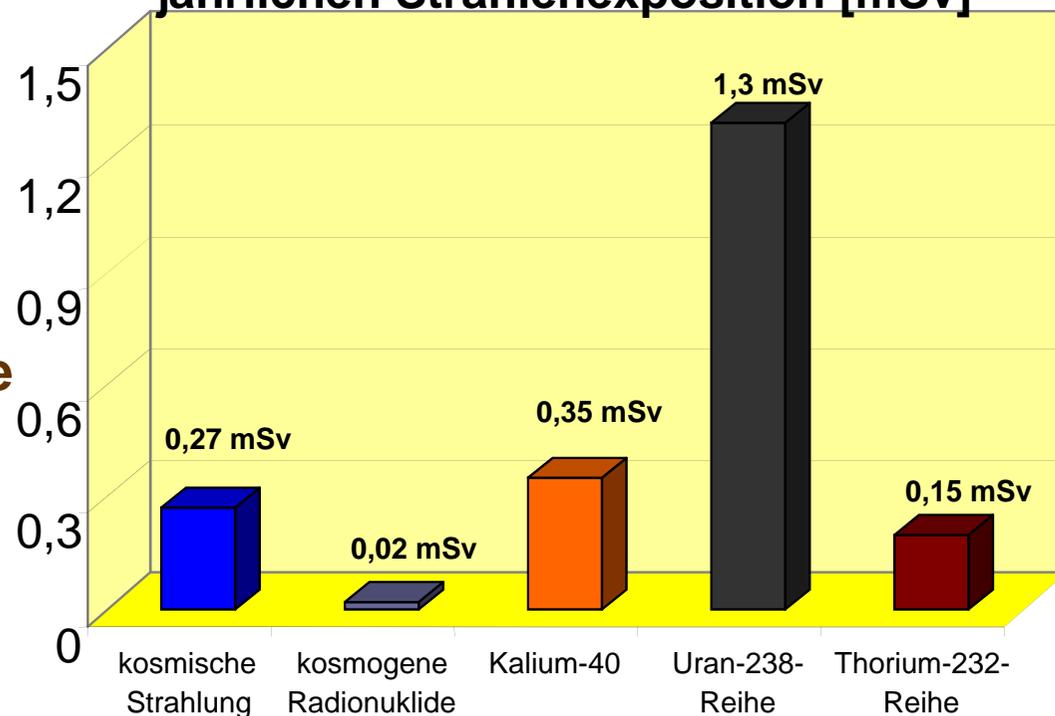


Natürliche Strahlenexposition

Relevante Beiträge
zur natürlichen
Strahlenexposition liefern:

- **kosmische Strahlung**
(externe Bestrahlung)
- **natürliche Radionuklide**
(externe Bestrahlung
und Inkorporation)

Beitrag natürlicher Strahlenquellen zur
jährlichen Strahlenexposition [mSv]



Gesamtexposition aus natürlichen Quellen pro Jahr: 2,1 mSv

Medizin

Beispiele für typische Dosiswerte bei medizinischen Anwendungen:

Röntgendiagnostik:

<i>Untersuchungsart</i>	<i>effektive Dosis</i>
•Zahnaufnahme	$\leq 0,01$ mSv
•Mammographie	0,4 - 0,6 mSv
•Lendenwirbelsäule	0,8 - 1,8 mSv
•CT Kopf	2 - 4 mSv
•Magen	6 - 12 mSv
•CT Bauchraum	10 - 25 mSv
•Arteriographie	10 - 20 mSv

Nuklearmedizin (Szintigraphie):

<i>untersuchtes Organ</i>	<i>effektive Dosis</i>
•Schilddrüse	ca. 1 mSv
•Skelett, Knochenmark	5 - 10 mSv
•Tumor	10 - 30 mSv

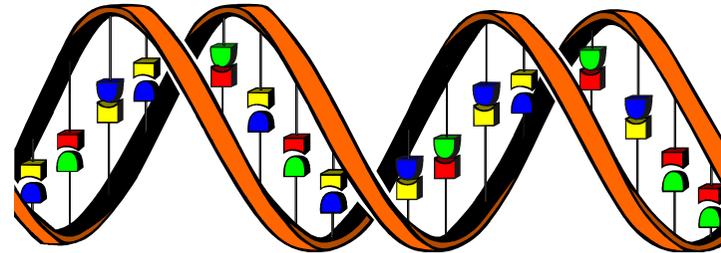
Strahlentherapie:

Zur gezielten Zellabtötung bei der Tumorbekämpfung: **mehrere Sv!**
(i.d.R. Teilkörperdosen)

Strahlenschäden

Akute Strahlenschäden

- deterministische Effekte, d.h. Schwere des Schadens abhängig von der Dosis
- verursacht durch Abtötung von Zellen
- Schäden erst überhalb eines Schwellenwerts (>250 mSv)



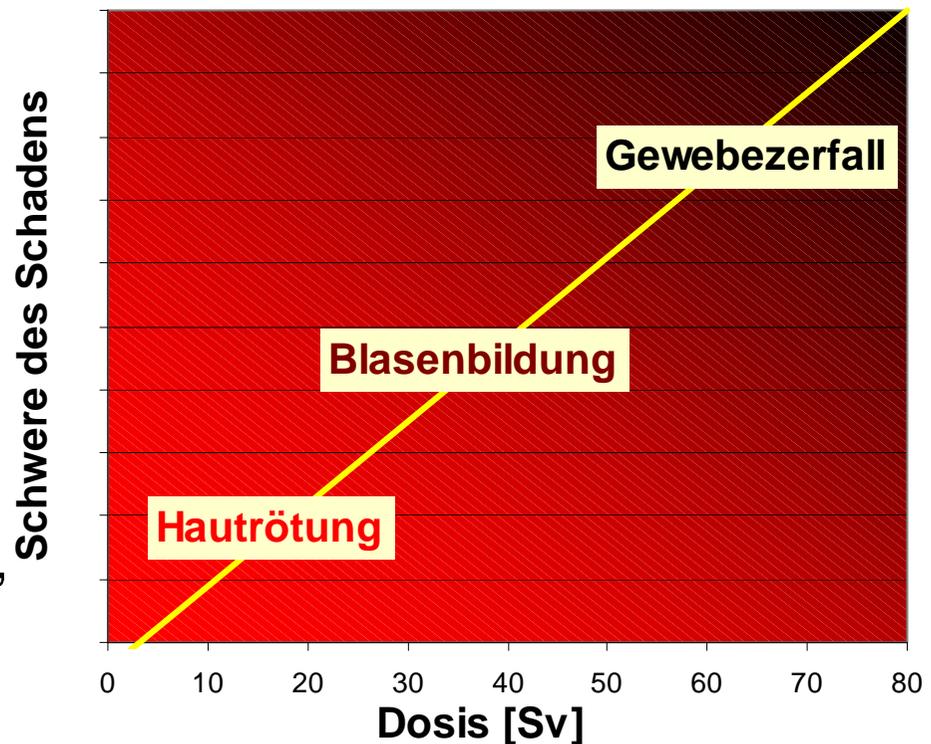
Strahleninduzierte Spätschäden

- stochastische Effekte, d.h. Wahrscheinlichkeit für das Auftreten des Schaden abhängig von der Dosis
- verursacht durch Modifikation der Erbinformation (DNA)
- kein Schwellenwert

Deterministische Schäden

- Schwere des Schadens abhängig von der Dosis
- Schaden tritt oberhalb eines Schwellwerts mit Sicherheit auf
- Dosisrate spielt große Rolle
- Beispiele:
Veränderung des Blutbilds,
Schädigungen der Haut, Übelkeit,
Tod

Deterministische Schäden bei Teilkörperexposition der Haut

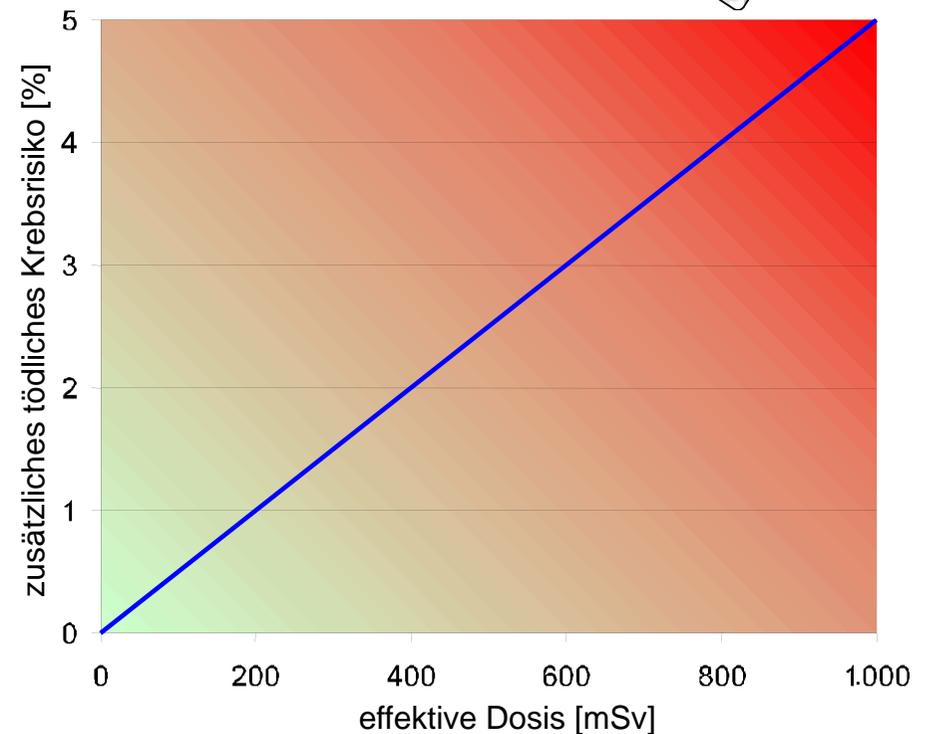
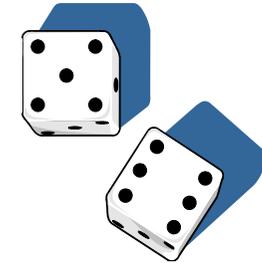


Deterministische Schäden erst bei (Teilkörper-)Dosen über 250 mSv.

Stochastische Schäden

- Schwere des Schadens unabhängig von der Dosis
- **Wahrscheinlichkeit** für das Auftreten des Schadens **abhängig von der Dosis**
- kein Schwellwert
- Dosisrate spielt i.Allg. keine Rolle
- Beispiele:
Krebs, Leukämie, Erbschäden

**Krebsrisiko in
Deutschland
(mit Todesfolge):
ca. 20–25 %**



Strahlenkrankheit

Auswirkungen kurzfristiger radioaktiver Bestrahlung des gesamten Körpers

Äquivalentdosis	Bewertung	Symptome
bis 0,2 Sv		Mögliche angenommene Spätfolgen: Krebs , Erbgutveränderung . Diese zählen nicht zur Strahlenkrankheit im eigentlichen Sinne; sie sind stochastische Strahlenschäden (siehe Strahlenrisiko).
0,2–0,5 Sv		Keine Symptome, nur labortechnisch feststellbare Reduzierung der roten Blutkörperchen
0,5–1 Sv		Leichter Strahlenkater mit Kopfschmerzen und erhöhtem Infektionsrisiko . Temporäre Sterilität beim Mann ist möglich.
1–2 Sv	leichte Strahlenkrankheit	<i>10 % Todesfälle nach 30 Tagen (Letale Dosis(LD) 10/30).</i> Zu den typischen Symptomen zählen – beginnend innerhalb von 3-6 Stunden nach der Bestrahlung, einige Stunden bis zu einem Tag andauernd – leichte bis mittlere Übelkeit (50 % wahrscheinlich bei 2 Sv) mit gelegentlichem Erbrechen. Dem folgt eine Erholungsphase, in der die Symptome abklingen. Leichte Symptome kehren nach 10-14 Tagen zurück. Diese Symptome dauern etwa vier Wochen an und bestehen aus Appetitlosigkeit (50 % wahrscheinlich bei 1,5 Sv), Unwohlsein und Ermüdung (50 % wahrscheinlich bei 2 Sv). Die Genesung von anderen Verletzungen ist beeinträchtigt, und es besteht ein erhöhtes Infektionsrisiko. Temporäre Unfruchtbarkeit beim Mann ist die Regel.
2–3 Sv	schwere Strahlenkrankheit	<i>35 % Todesfälle nach 30 Tagen (LD 35/30).</i> Erkrankungen nehmen stark zu und eine signifikante Sterblichkeit setzt ein. Übelkeit ist die Regel (100 % bei 3 Sv), das Auftreten von Erbrechen erreicht 50 % bei 2,8 Sv. Die Anfangssymptome beginnen innerhalb von einer bis sechs Stunden und dauern ein bis zwei Tage an. Danach setzt eine 7- bis 14-tägige Erholungsphase ein. Wenn diese vorüber ist, treten folgende Symptome auf: Haarausfall am ganzen Körper (50 % wahrscheinlich bei 3 Sv), Unwohlsein und Ermüdung. Der Verlust von weißen Blutkörperchen ist massiv, und das Infektionsrisiko steigt rapide an. Bei Frauen beginnt das Auftreten permanenter Sterilität . Die Genesung dauert einen bis mehrere Monate.
3–4 Sv	schwere Strahlenkrankheit	<i>50 % Todesfälle nach 30 Tagen (LD 50/30).</i> Nach der Erholungsphase treten zusätzlich folgende Symptome auf: Durchfall (50 % wahrscheinlich bei 3,5 Sv) und unkontrollierte Blutungen im Mund , unter der Haut und in den Nieren (50 % wahrscheinlich bei 4 Sv).

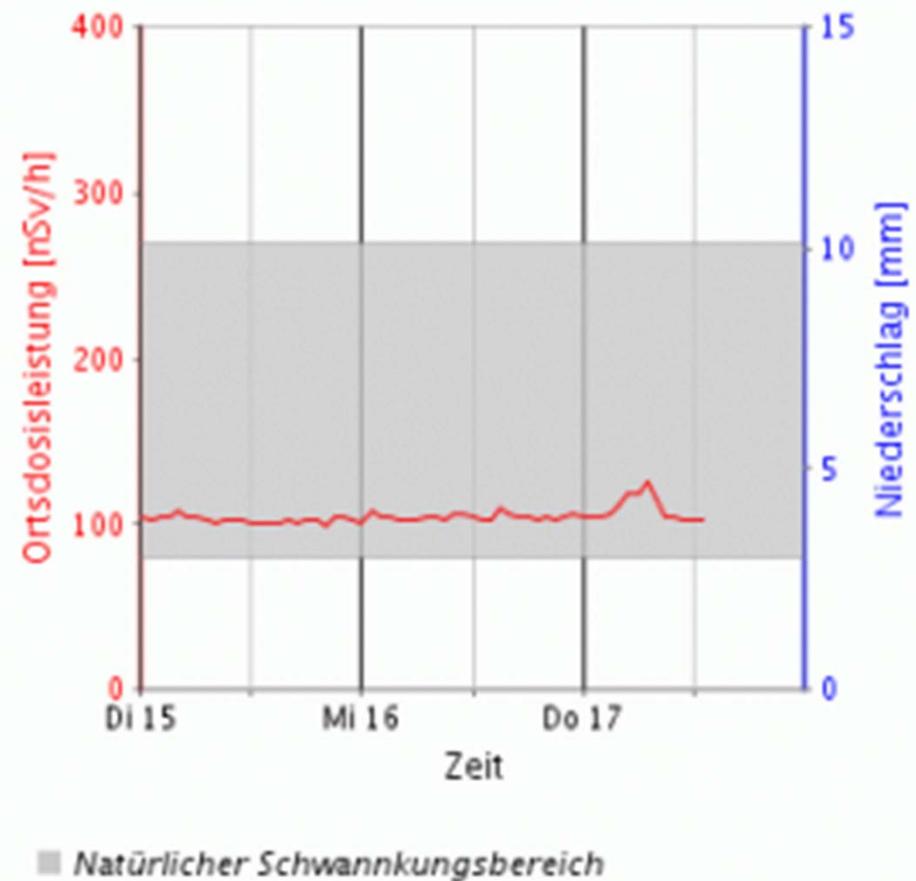
Strahlenkrankheit

4–6 Sv	schwerste Strahlenkrankheit	<p>60 % Todesfälle nach 30 Tagen (LD 60/30).</p> <p>Die Sterblichkeit erhöht sich schrittweise von ca. 50 % bei 4,5 Sv bis zu 90 % bei 6 Sv (außer bei massiver medizinischer Intensivversorgung). Das Auftreten der Anfangssymptome beginnt innerhalb von 30–120 Minuten und dauert bis zu zwei Tage. Danach setzt eine 7- bis 14-tägige Erholungsphase ein. Wenn diese vorüber ist, treten im Allgemeinen die gleichen Symptome wie bei 3–4 Sv verstärkt auf. Bei Frauen ist permanente Unfruchtbarkeit die Regel. Die Genesung dauert mehrere Monate bis 1 Jahr. Der Tod tritt in der Regel 2–12 Wochen nach der Bestrahlung durch Infektionen und Blutungen ein.</p>
6–10 Sv	schwerste Strahlenkrankheit	<p>100 % Todesfälle nach 14 Tagen (LD 100/14).</p> <p>Die Überlebenschance hängt von der Güte und dem möglichst frühen Beginn der intensivmedizinischen Versorgung ab. Das Knochenmark ist nahezu oder vollständig zerstört, und eine Knochenmarktransplantation ist erforderlich. Das Magen- und Darmgewebe ist schwer geschädigt. Die Anfangssymptome treten innerhalb von 15–30 Minuten auf und dauern bis zu zwei Tage an. Danach setzt eine 5- bis 10-tägige Erholungsphase ein, die als Walking-Ghost-Phase bezeichnet wird. Die Endphase endet mit dem Eintritt des Todes durch Infektionen und innere Blutungen. Falls eine Genesung eintritt, dauert sie mehrere Jahre, wobei sie wahrscheinlich nie vollständig erfolgen wird.</p>
10–20 Sv	schwerste Strahlenkrankheit	<p>100 % Todesfälle nach 7 Tagen (LD 100/7).</p> <p>Diese hohe Dosis führt zu spontanen Symptomen innerhalb von 5–30 Minuten. Nach der sofortigen Übelkeit durch die direkte Aktivierung der Chemorezeptoren im Gehirn und großer Schwäche folgt eine mehrtägige Phase des Wohlbefindens (Walking-Ghost-Phase). Danach folgt die Sterbephase mit raschem Zelltod im Magen-Darmtrakt, der zu massivem Durchfall, Darmblutungen und Wasserverlust sowie der Störung des Elektrolythaushalts führt. Der Tod tritt mit Fieberdelirien und Koma durch Kreislaufversagen ein. Behandlung kann nur noch palliativ erfolgen.</p>
20–50 Sv	schwerste Strahlenkrankheit	<p>100 % Todesfälle nach 3 Tagen (LD 100/3), im Übrigen wie bei „10–20 Sv“</p>
über 50 Sv		<p>Sofortige Desorientierung und Koma innerhalb von Sekunden oder Minuten. Der Tod tritt in wenigen Stunden durch völliges Versagen des Nervensystems ein.</p>
über 80 Sv		<p>Die US-Streitkräfte rechnen bei einer Dosis von 80 Sv schneller Neutronenstrahlung mit einem sofortigen Eintritt des Todes.</p>

Natürliche Strahlung

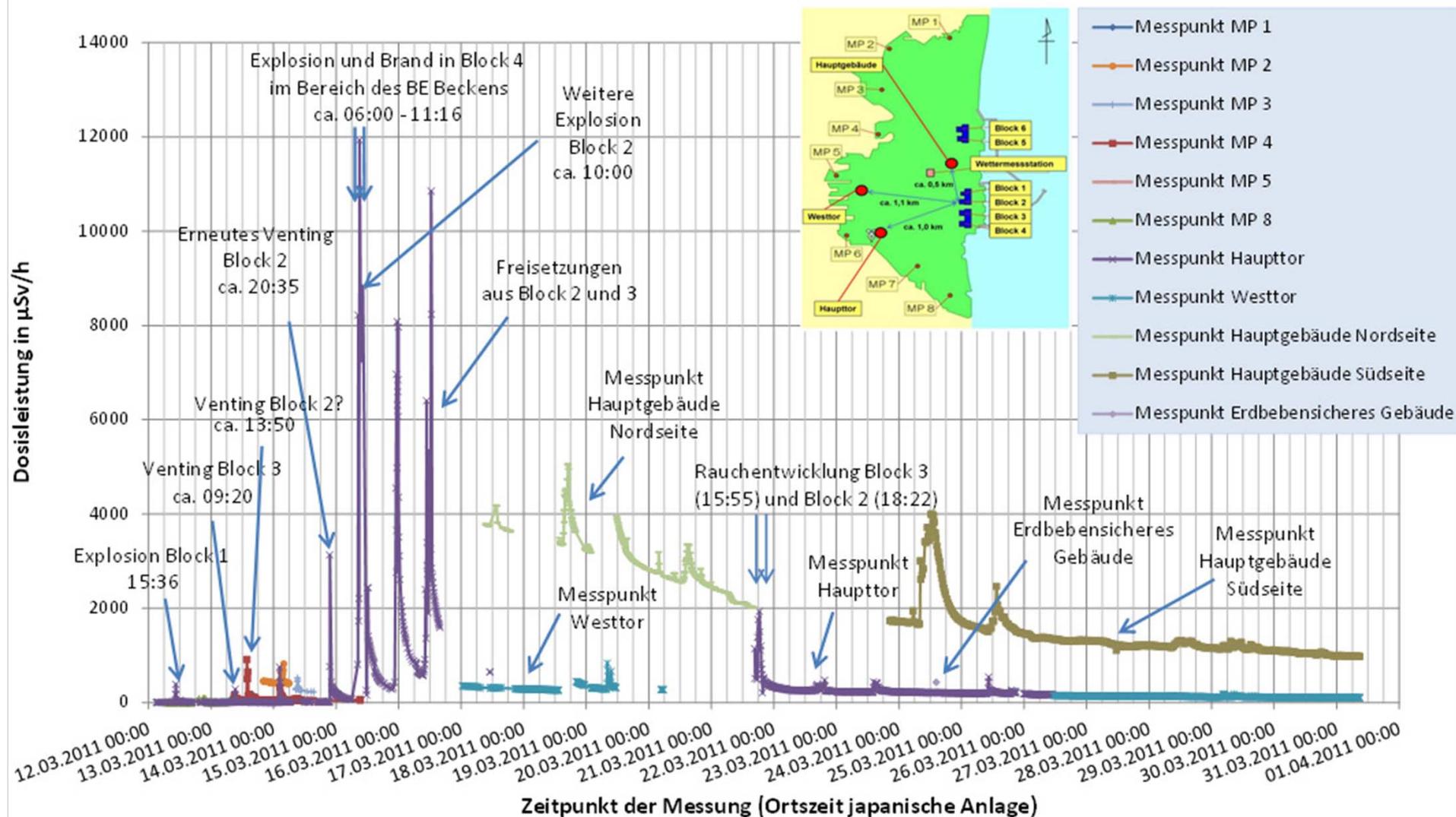
Dosisleistung: ca. 80 – 280 nSV/h

NADAM-Messwerte der Station Zürich-Kloten ZH
Stundenmittelwerte vom 15.3.2011 - 17.3.2011



Fukushima-Daiichi

Gemessene Dosisleistungen an ausgewählten Messpunkten
Fukushima Daiichi - Daten des Betreibers TEPCO



Strahlung und Strahlenschutz in den Physikalischen Praktika

Tödliche Dosis	7000 mSv
Schwellendosis für akute Strahlenschäden	250 mSv
Jahresgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen	20 mSv
Computertomographie Brustkorb	20 mSv
Mittlere jährliche Belastung für den Bundesbürger	4 mSv
Jahresgrenzwert für <u>nicht</u> beruflich strahlenexponierte Personen	1 mSv
Röntgenaufnahme Schädel	0,1 mSv
Physikalisches Praktikum	~10 μSv

Strahlenschutzgrundsätze

Jede unnötige Strahlenexposition vermeiden!

Jede unvermeidbare Strahlenexposition

so gering wie möglich halten!

Die drei „A“ des Strahlenschutzes

**Abstand
halten**

**Aufenthaltsdauer
beschränken**

**Abschirmungen
verwenden**

Abstand halten

Abstandsquadratgesetz:

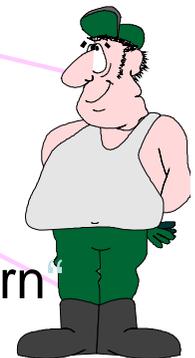
Abstand Dosisleistung

doppelt	$1/4$
3fach	$1/9$
4fach	$1/16$
5fach	$1/25$
.	.

Je größer der Abstand von der Strahlungsquelle, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit getroffen zu werden

großer Abstand:
kleine Anzahl von „Strahlungstreffern“

kleiner Abstand:
große Anzahl von
„Strahlungstreffern“

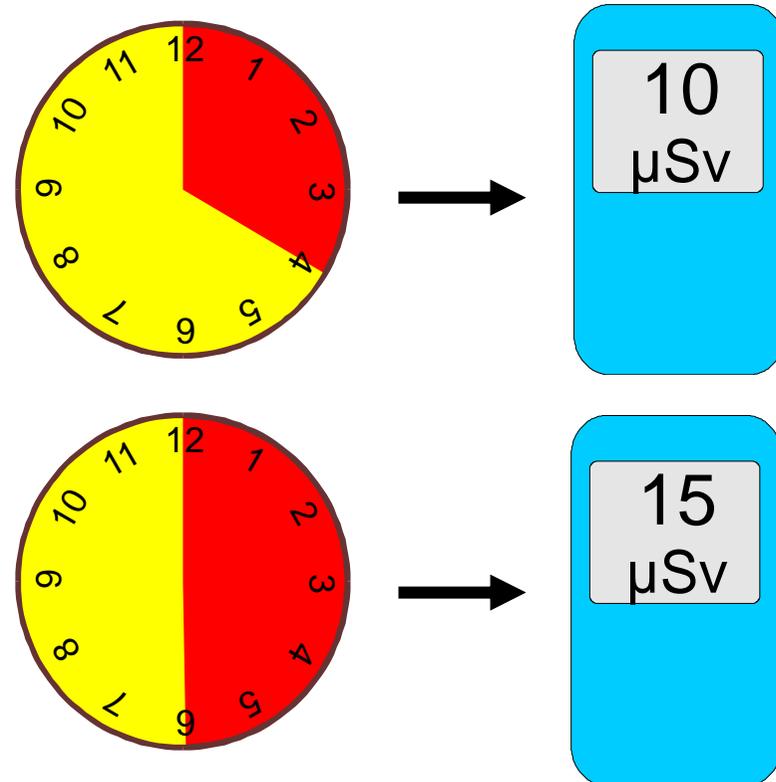


Aufenthaltsdauer beschränken

Die Dosis erhöht sich linear mit der Aufenthaltsdauer:

Dauer	Dosis
doppelt	doppelt
3fach	3fach
4fach	4fach
5fach	5fach

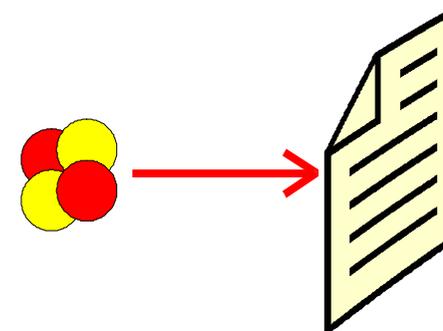
Je länger die Aufenthaltszeit in einem Strahlungsfeld, desto höher ist die dabei erhaltene Dosis.



Abschirmung α -Strahlung

Faustregel für die Reichweite von Alpha-Teilchen:

Reichweite in Luft in cm
=
Energie in MeV



- In festen und flüssigen Stoffen noch sehr viel geringere Reichweiten
- Reichweite in menschlichem Gewebe (Wasser): ca. 0,05 mm

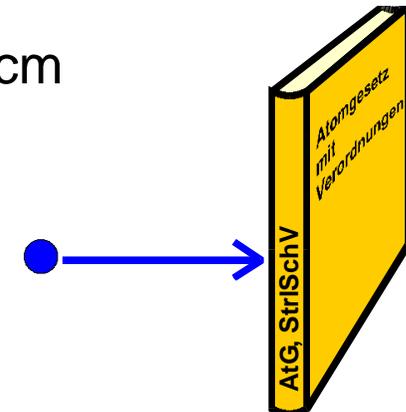


- Alpha-Strahlung muss nicht abgeschirmt werden!
- Inkorporation sehr gefährlich

Abschirmung β -Strahlung

- Reichweite in Luft: einige Meter
- Reichweite in menschlichem Gewebe (Wasser): ca. 1 cm

➔ Wenige Zentimeter **Aluminium** oder **Plexiglas** schirmen Beta-Strahlung **vollständig** ab!



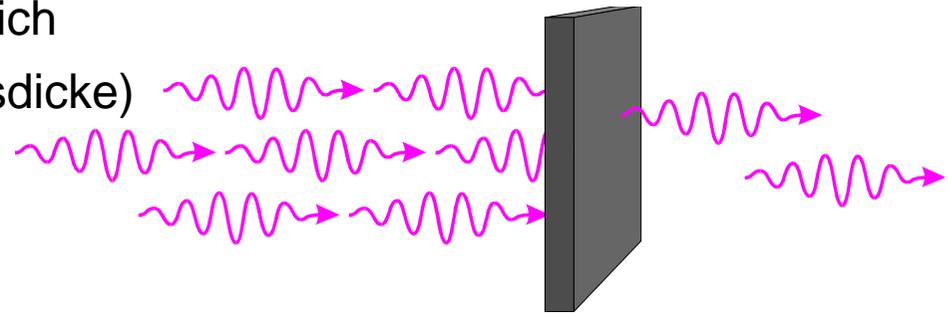
Vorsicht Bremsstrahlung!

Stoffe mit hoher Ordnungszahl (z.B. Blei) eignen sich **nicht** zur Abschirmung von Beta-Strahlung!

Abschirmung γ -Strahlung/Röntgenstrahlung

Gamma-Strahlung hat unendliche Reichweite

- vollständige Abschirmung nicht möglich
- Schwächung exponentiell (Halbwertsdicke)



- Schwächung in Luft vernachlässigbar:
hundert Meter Luft schwächen nur auf die Hälfte
- in menschlichem Gewebe (Wasser): 50 cm schwächen auf ein Zehntel



Gamma-Strahlung wird mit Stoffen **hoher Dichte**
und **hoher Ordnungszahl** effektiv geschwächt!
Dasselbe gilt für Röntgenstrahlung!

Reichweite ionisierender Strahlung

Alpha-Strahlung

- Reichweite in Luft: wenige Zentimeter
- Reichweite in Gewebe: einige Mikrometer

Beta-Strahlung

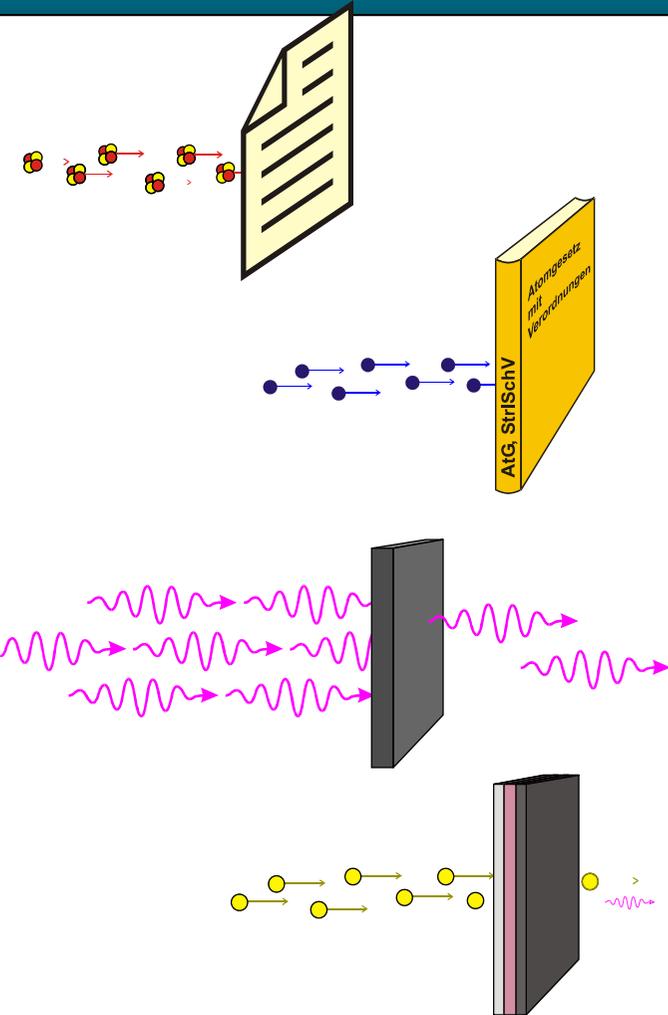
- Reichweite in Luft: maximal wenige Meter
- Reichweite in Gewebe: wenige Millimeter

Gamma- und Röntgen-Strahlung

- Reichweite: unendlich
- Schwächung durch Materialien hoher Dichte (z.B. Blei)

Neutronen-Strahlung

- Reichweite: unendlich
- Schwächung durch Kombination verschiedener Materialien (z.B. Paraffin + Cadmium + Blei)



Umschlossene radioaktive Stoffe

**Radioaktive Substanz in inaktivem Stoff
eingebettet oder umhüllt**

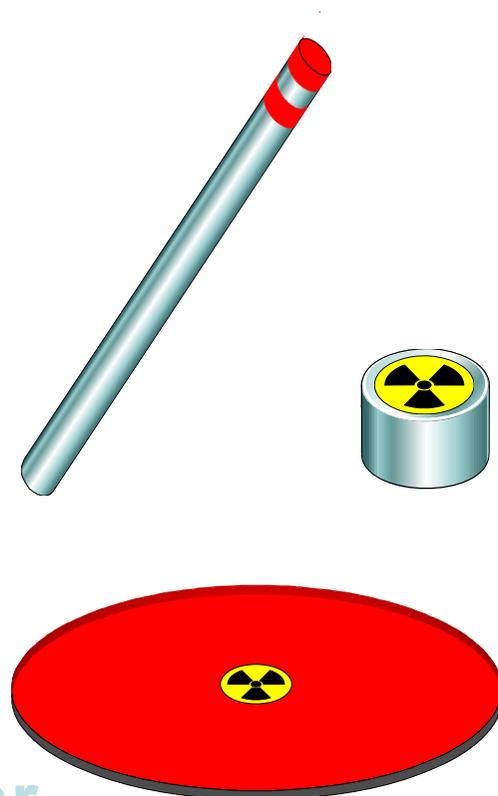
Austritt radioaktiver Stoffe verhindert

Abmessung mindestens 2 Millimeter

Daraus folgt für den Umgang mit
umschlossenen radioaktiven Stoffen:

Keine Inkorporationsgefahr

bei üblicher betriebsmäßiger Beanspruchung.



Die drei „A“ des Strahlenschutzes

**Abstand
halten**

**Aufenthaltsdauer
beschränken**

**Abschirmungen
verwenden**