

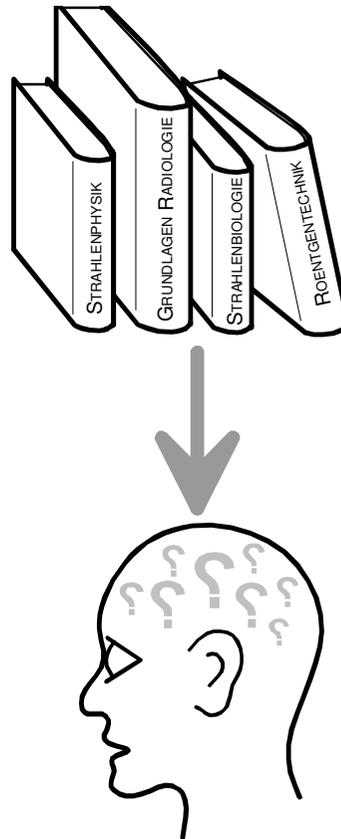
Radiologie Modul I



Teil 1
Grundlagen Röntgen

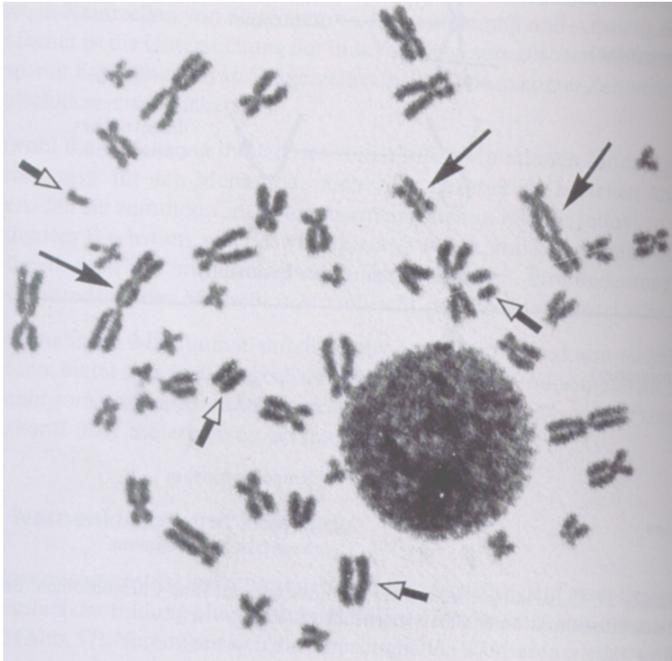
Teil 1

Inhalt



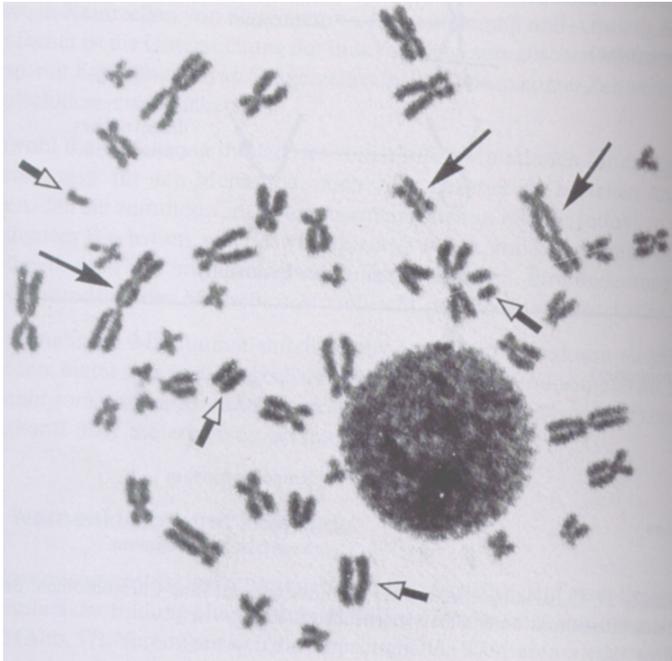
- physikalische Grundlagen Röntgen
- **Strahlenbiologie**

Inhalt



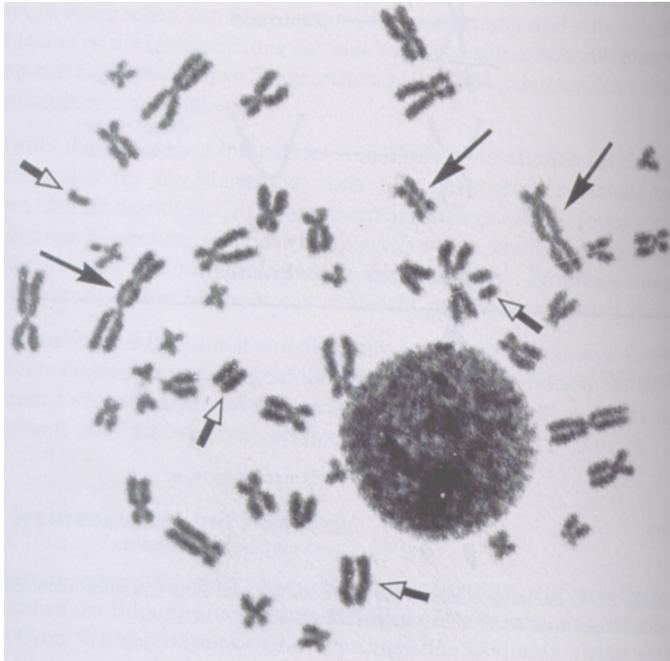
- zelluläre Strahlenbiologie
- Strahlenpathologie
- Risiko & effektive Dosis

Lernziele



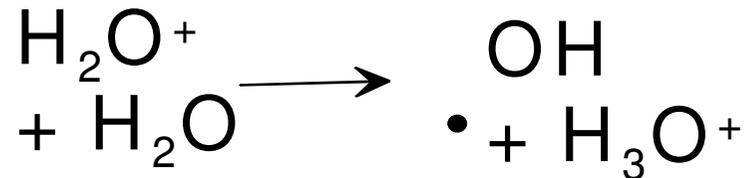
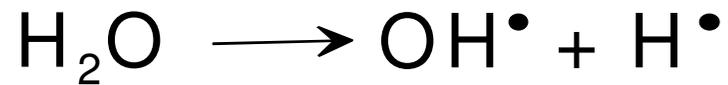
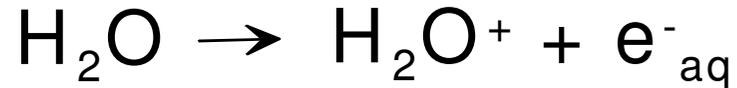
- Ereignisse zwischen Energieabsorption & Zellschaden aufzählen und erklären können
- durch Strahlung ausgelöste Pathologien kennen und ihren Schwellendosiswerten zuordnen können
- Strahlenrisiken abschätzen können

Wirkungskette



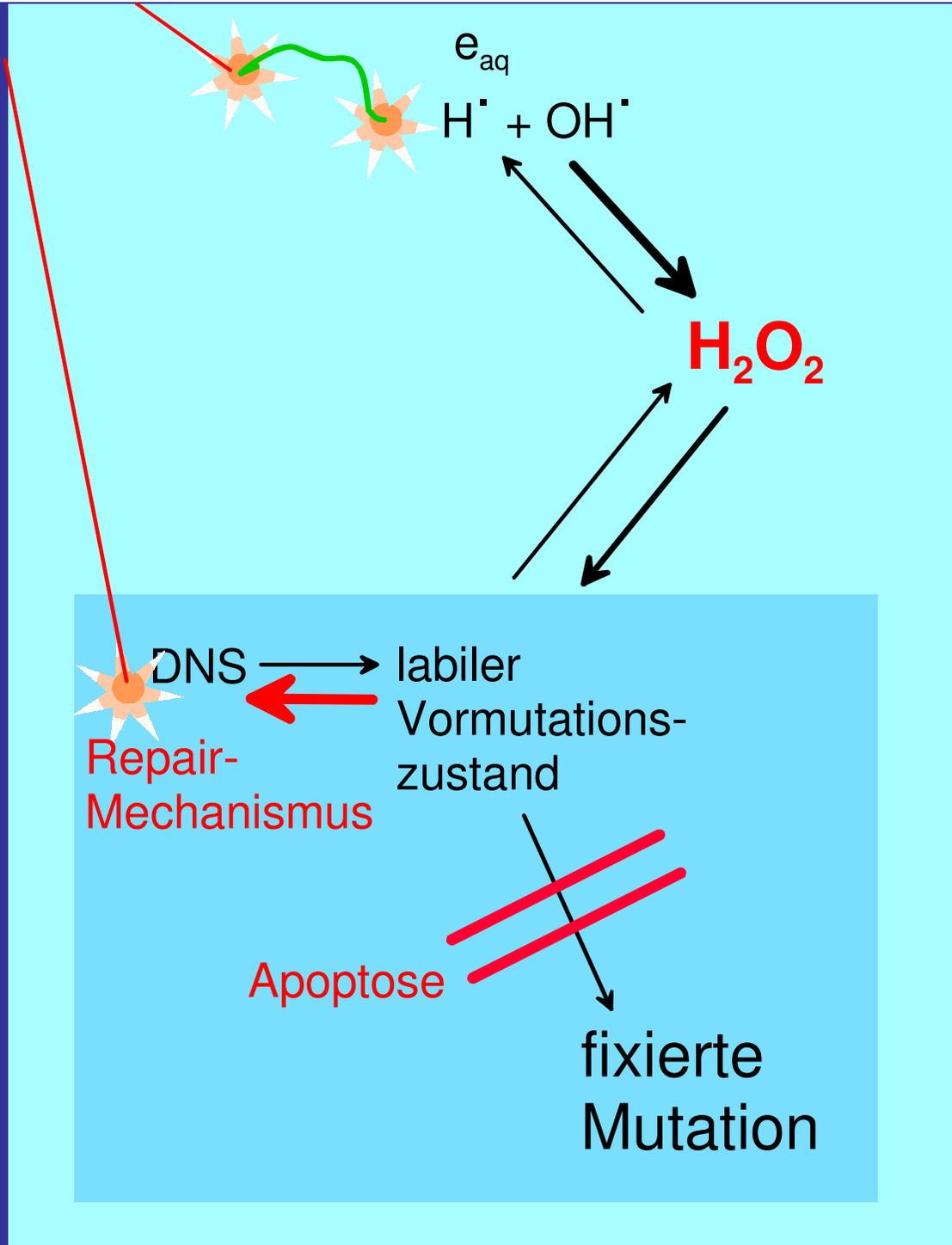
- Energieabsorption
- Bildung von freien Radikalen (indirekte Wirkung)
- Schädigung der DNA

Wasserradiolyse

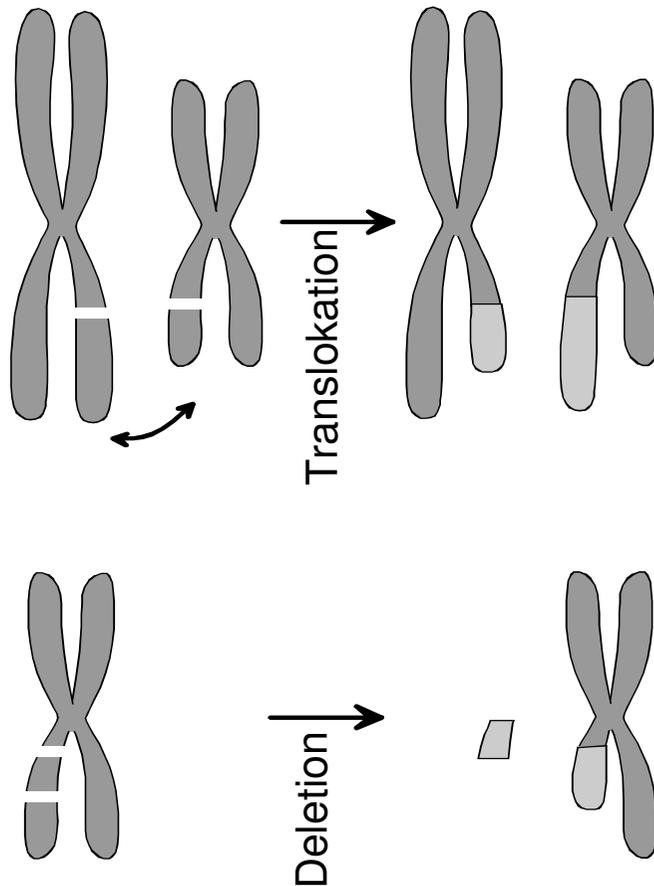


- Spaltung oder Ionisation von Wasser

- Folgereaktionen:
Radikalbildung

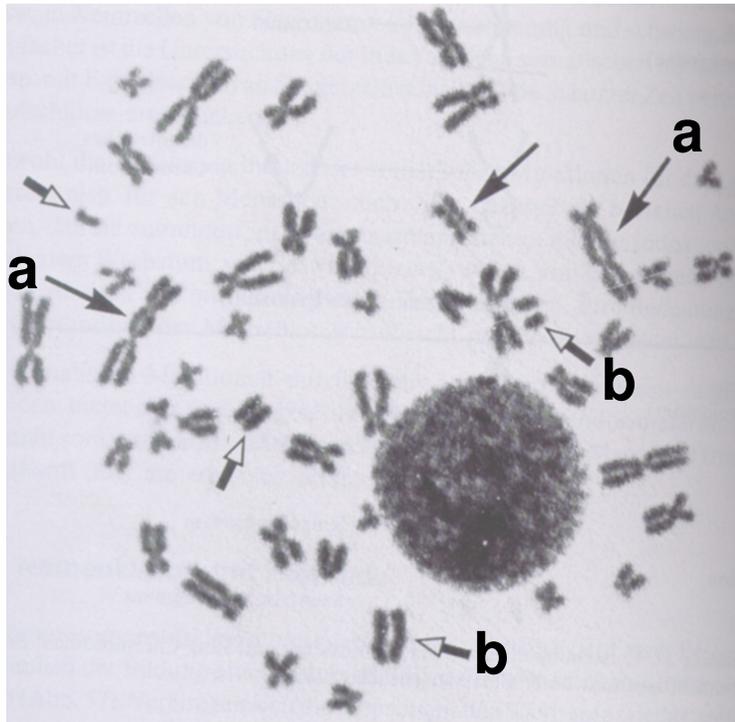


Chromosomenschäden



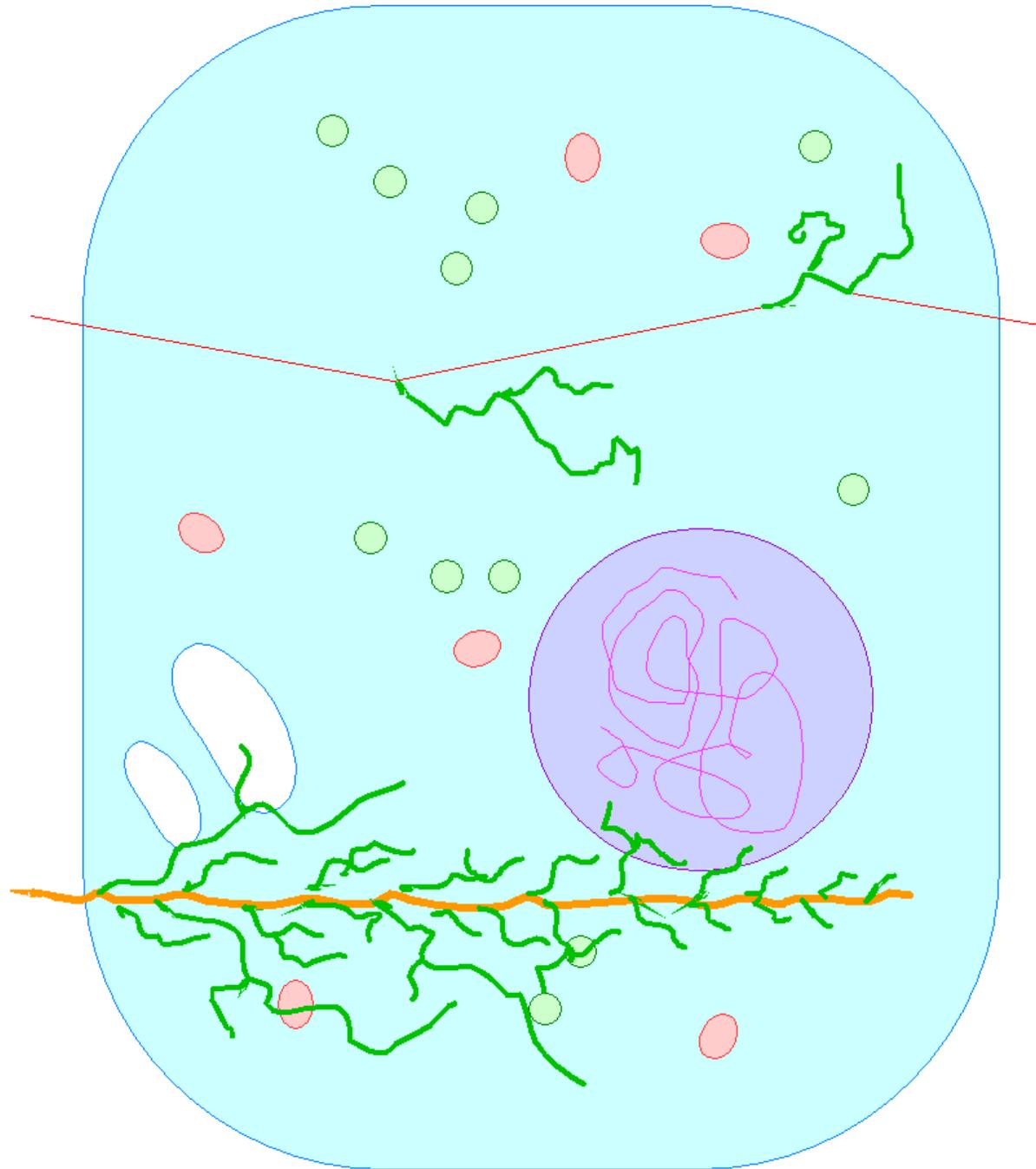
- Einzelstrangbrüche: relativ unbedeutend
- Doppelstrangbrüche: Zelltod, Mutationen, Kanzerogenese
- verschiedene Arten von Chromosomenaberrationen

Chromosomenschäden

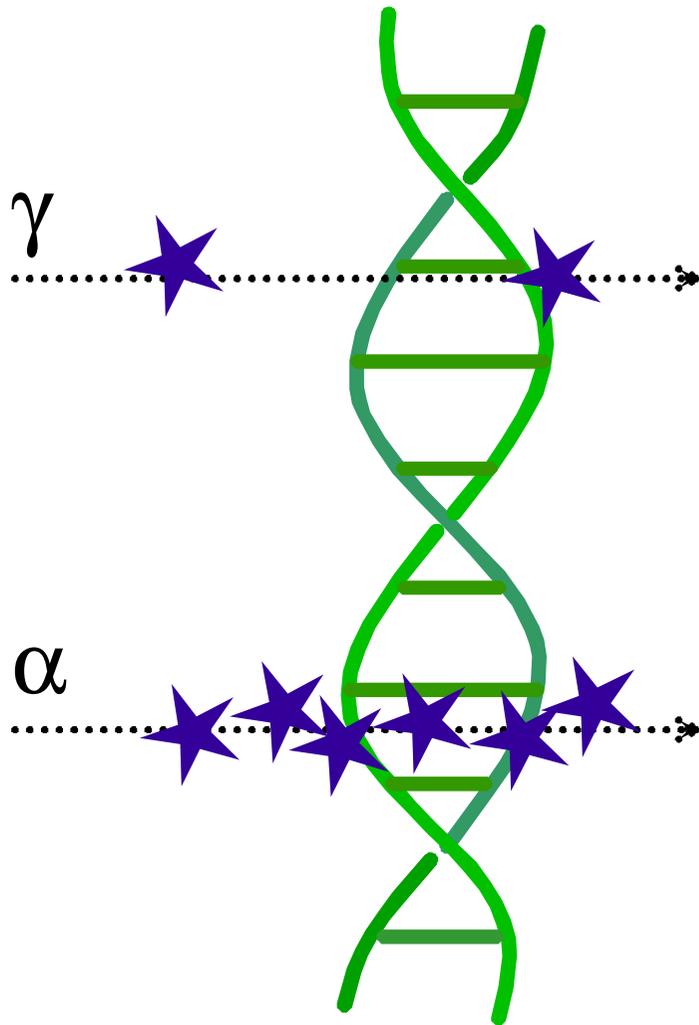


- a) dizentrisches Chromosom
- b) azentrisches Fragment

- letale Schäden:
Dizentrische
Chromosomen, Ringe,
etc...
- Aktivierung von
Onkogenen:
Deletionen,
Translokationen



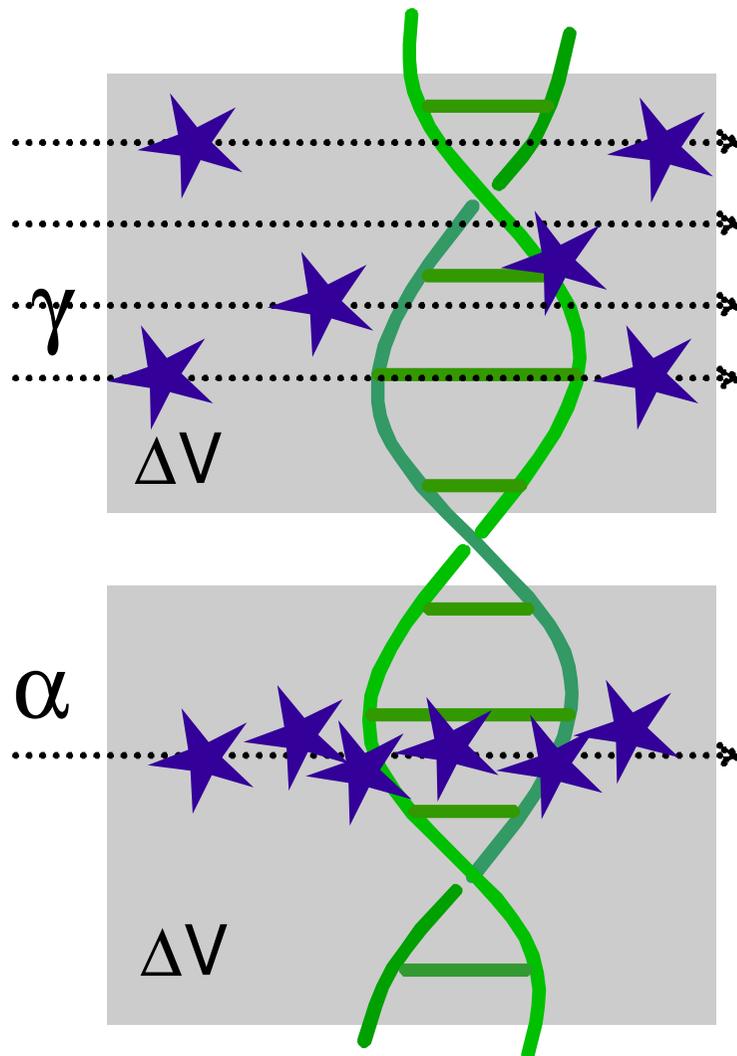
Linearer Energie-Transfer



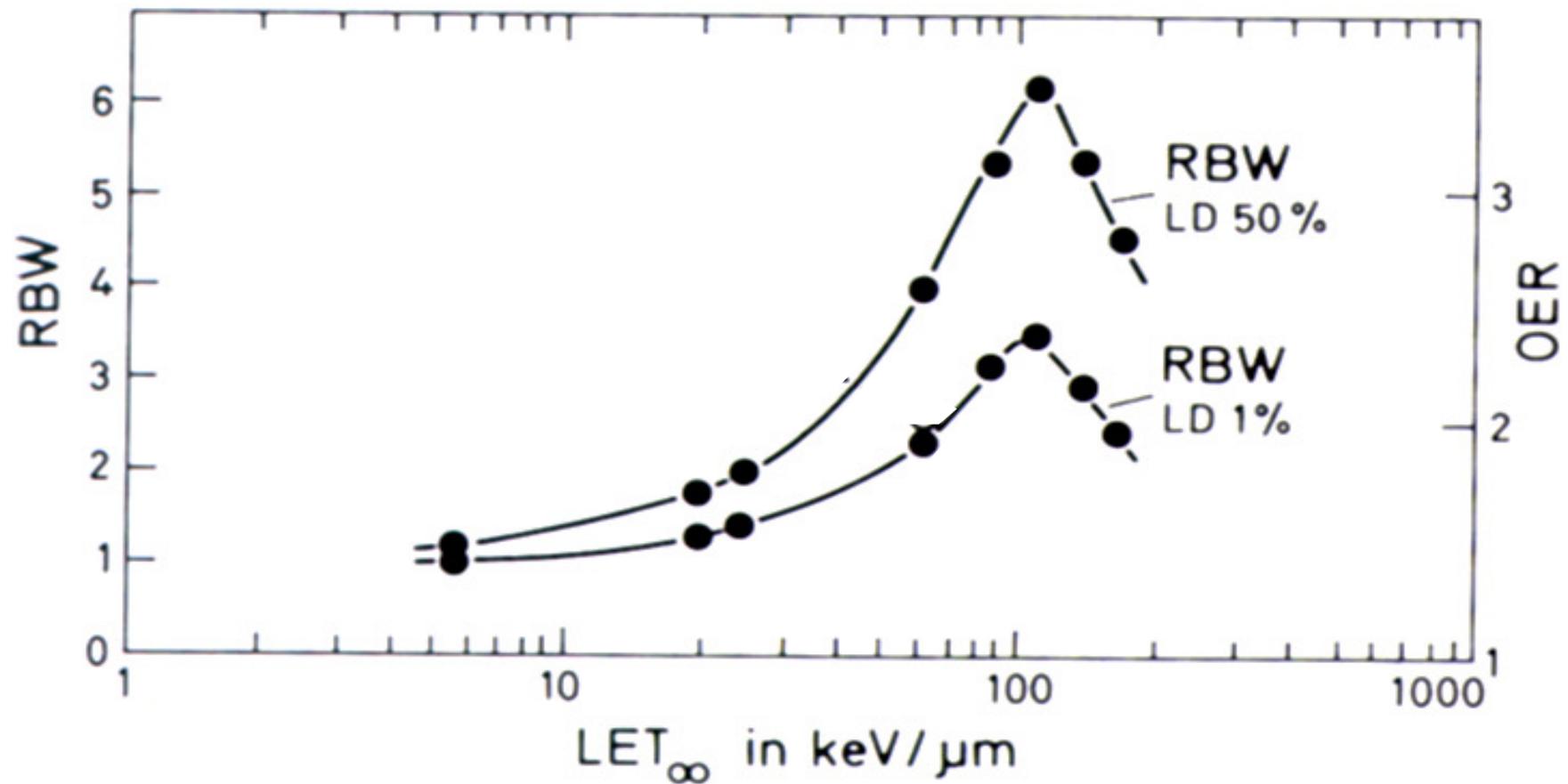
- LET = pro Weglänge Δs
absorbierte Energie ΔE :

$$LET = \frac{\Delta E_{abs}}{\Delta s}$$

Linearer Energie-Transfer



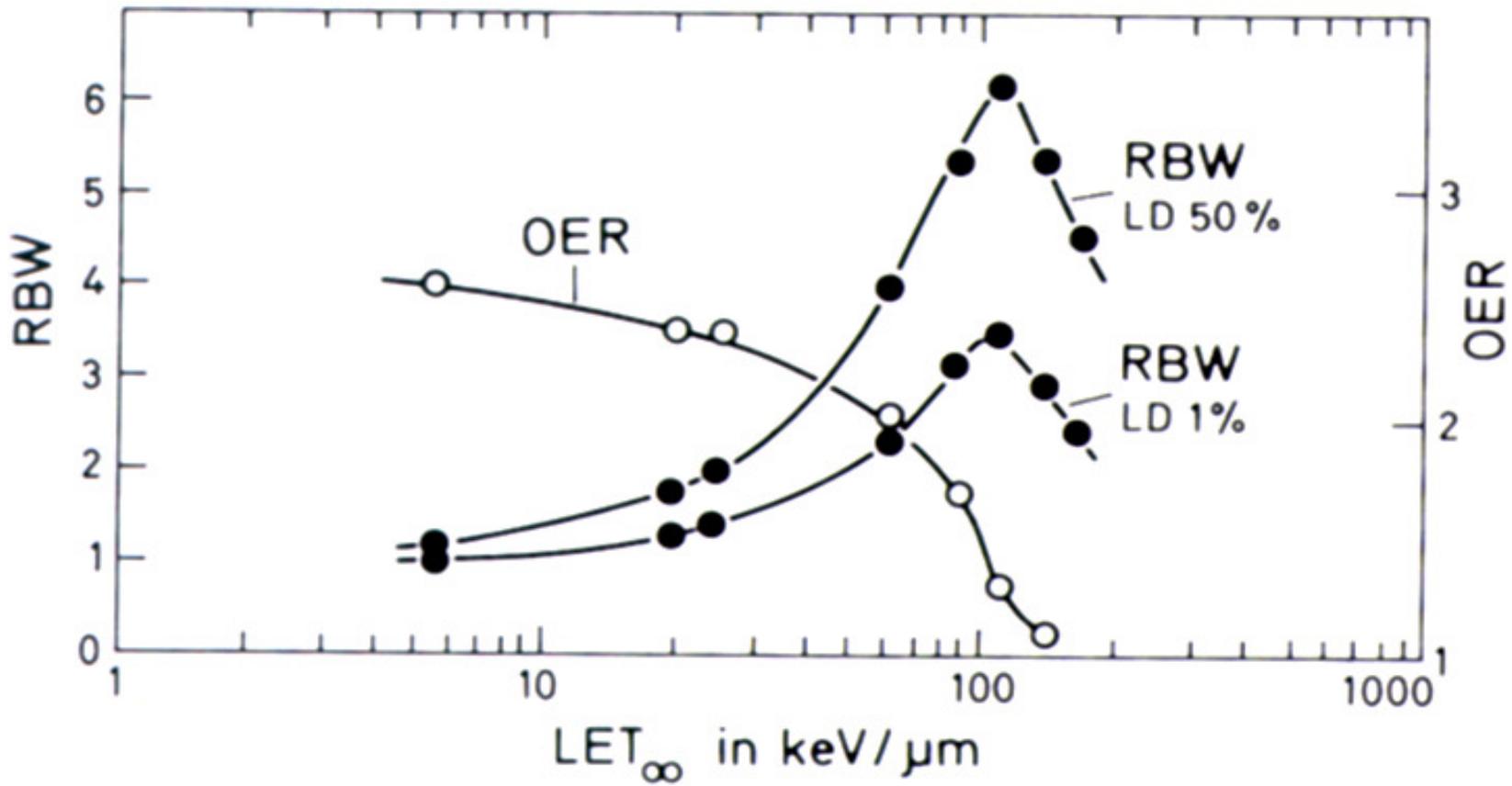
- Strahlenarten: Bei gleicher Energiedosis unterschiedliche Wirkung
- niedriger LET: γ -, Röntgenstrahlung
- hoher LET: α -Strahlung



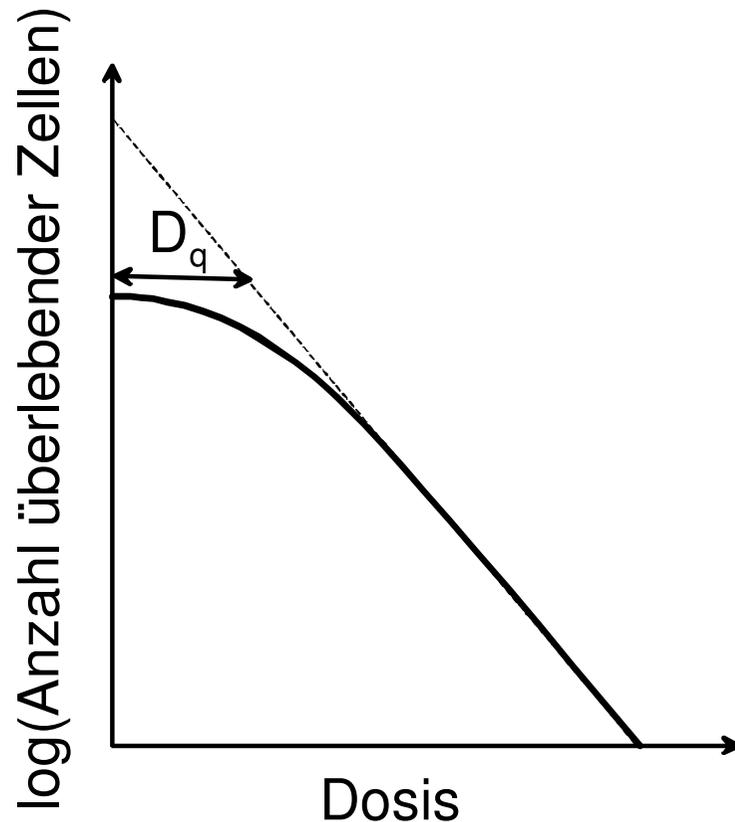
Äquivalentdosis

$$H = w_R \cdot D$$

- Berücksichtigung des unterschiedlichen Spätschadenspotential von verschiedenen Strahlenarten:
Wichtungsfaktor w_R
- Einheit: Sievert [Sv]



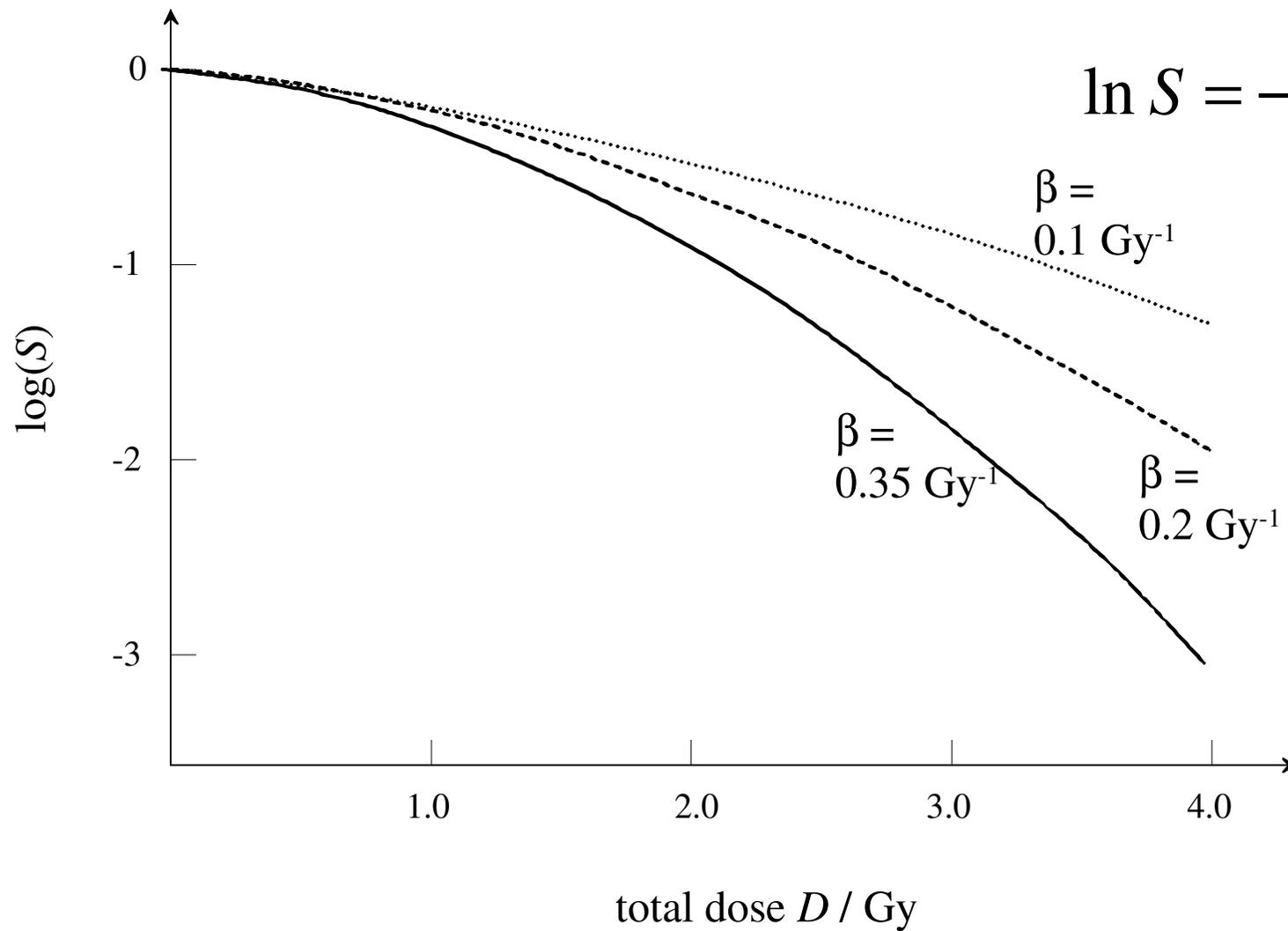
Dosis-Effekt-Kurven



- Schulter: Quasi-Schwellendosis D_q
- linearer Teil: Wahrscheinlichkeit des Zelltodes abhängig von Dosis **und** Anzahl vorhandener Zellen

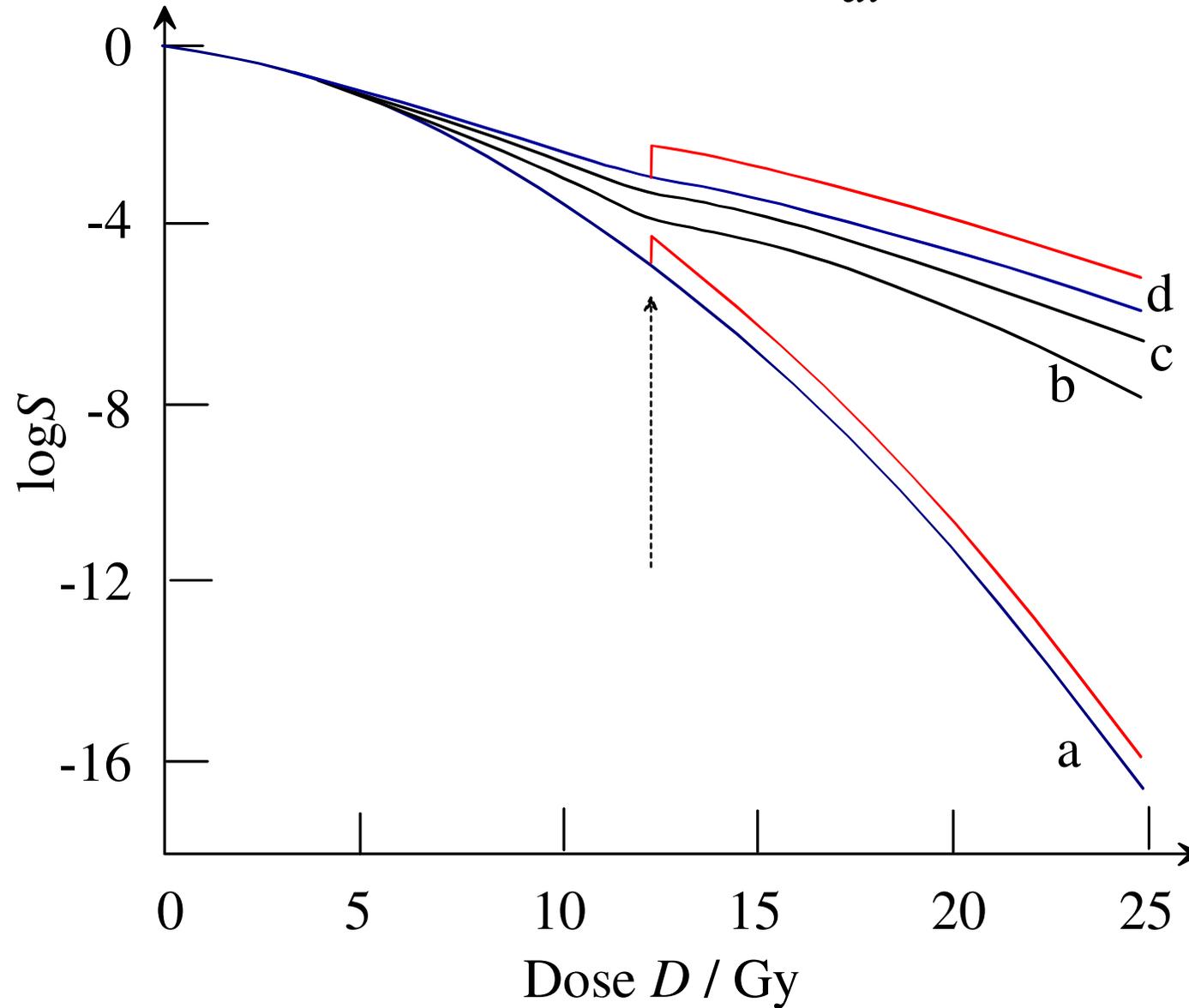
$$S = \frac{N}{N_0} = e^{-\alpha D - \beta D^2}$$

$$\ln S = -\alpha D - \beta D^2$$

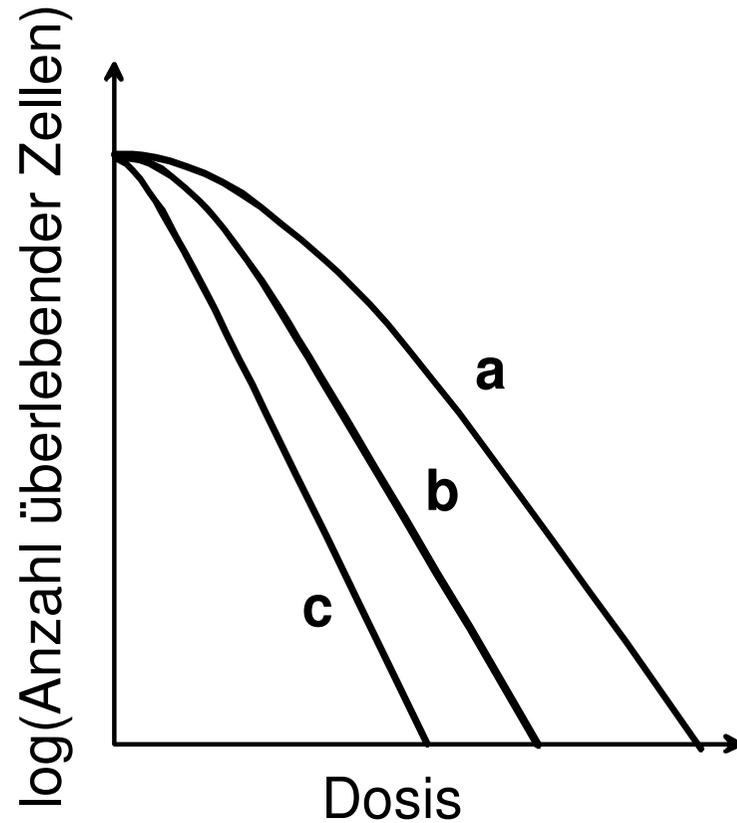


Modell mit transienter Dosis Γ
und Repopulation

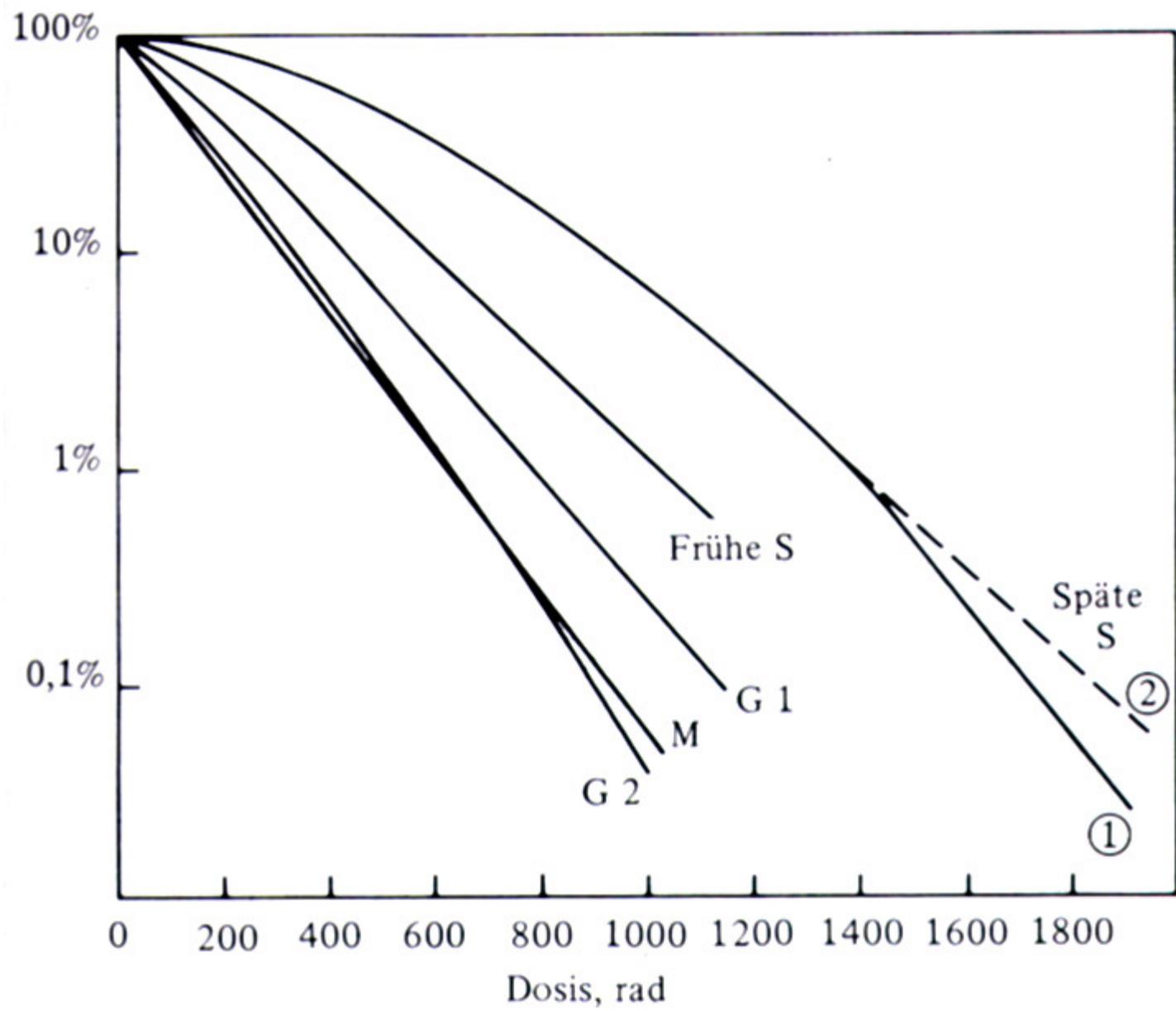
$$\frac{dN}{dt} = -(\alpha + 2\beta\Gamma) \cdot R \cdot N + k \cdot N$$



Zellzyklus



- a: späte Synthesephase
- b: frühe Synthesephase
- c: Mitosephase



Erbkrankheiten mit erhöhter Empfindlichkeit gegenüber DNA-schädigenden Noxen
(teilweise verminderte Repair-Fähigkeit)

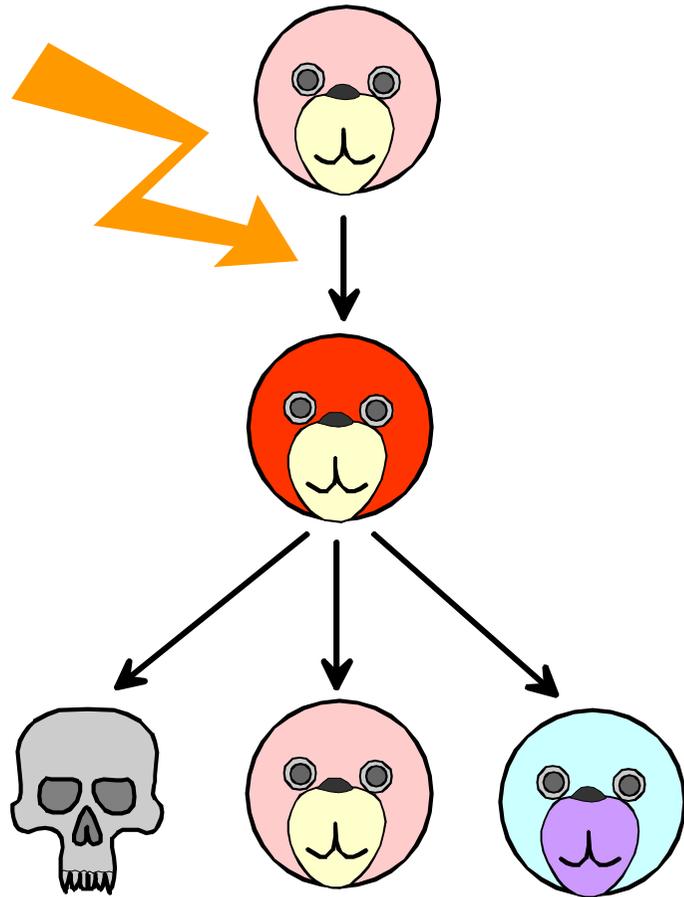
Xeroderma pigmentosum
(*rezessiv-autosomal vererbt*)

Klinik: **Sonnenlicht-Überempfindlichkeit**
Hauttumore, etc.

Bloom Syndrom
(*rezessiv-autosomal vererbt*)

Klinik: **Sonnenlicht-Überempfindlichkeit**
proportionierter Kleinwuchs, etc.

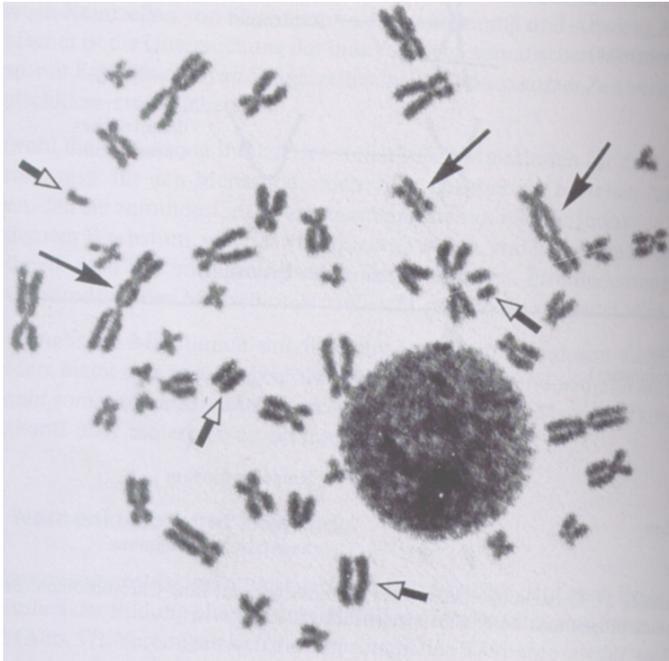
Reaktion der Zelle



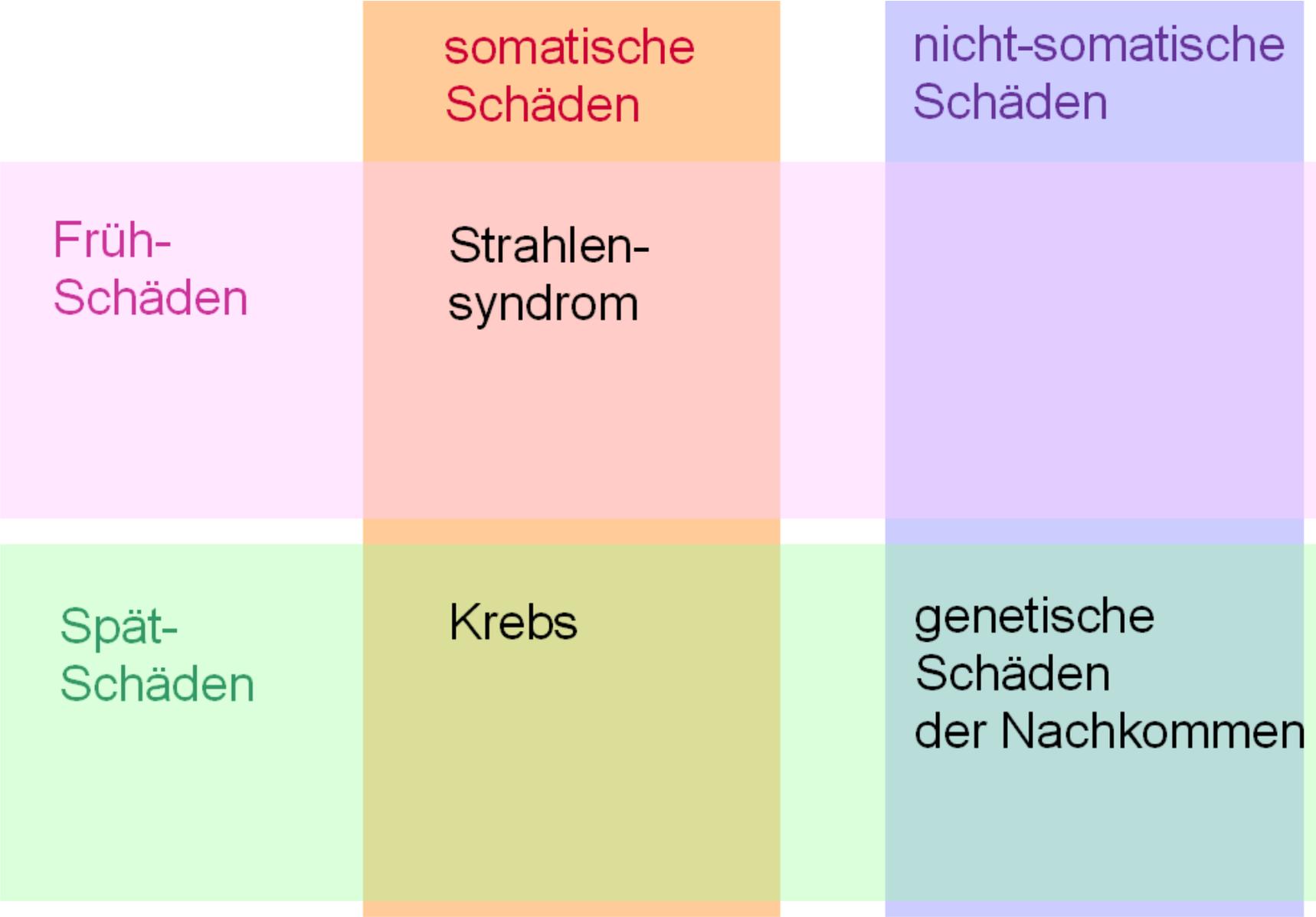
mögliche Reaktionen
einer Zelle auf Bestrahlung
sind:

- Apoptose
- Reparatur
- Mutation

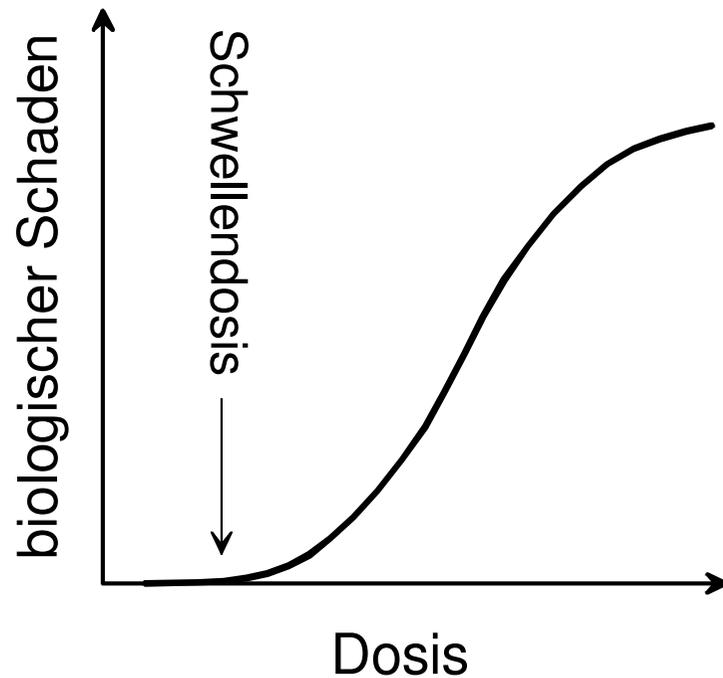
Inhalt



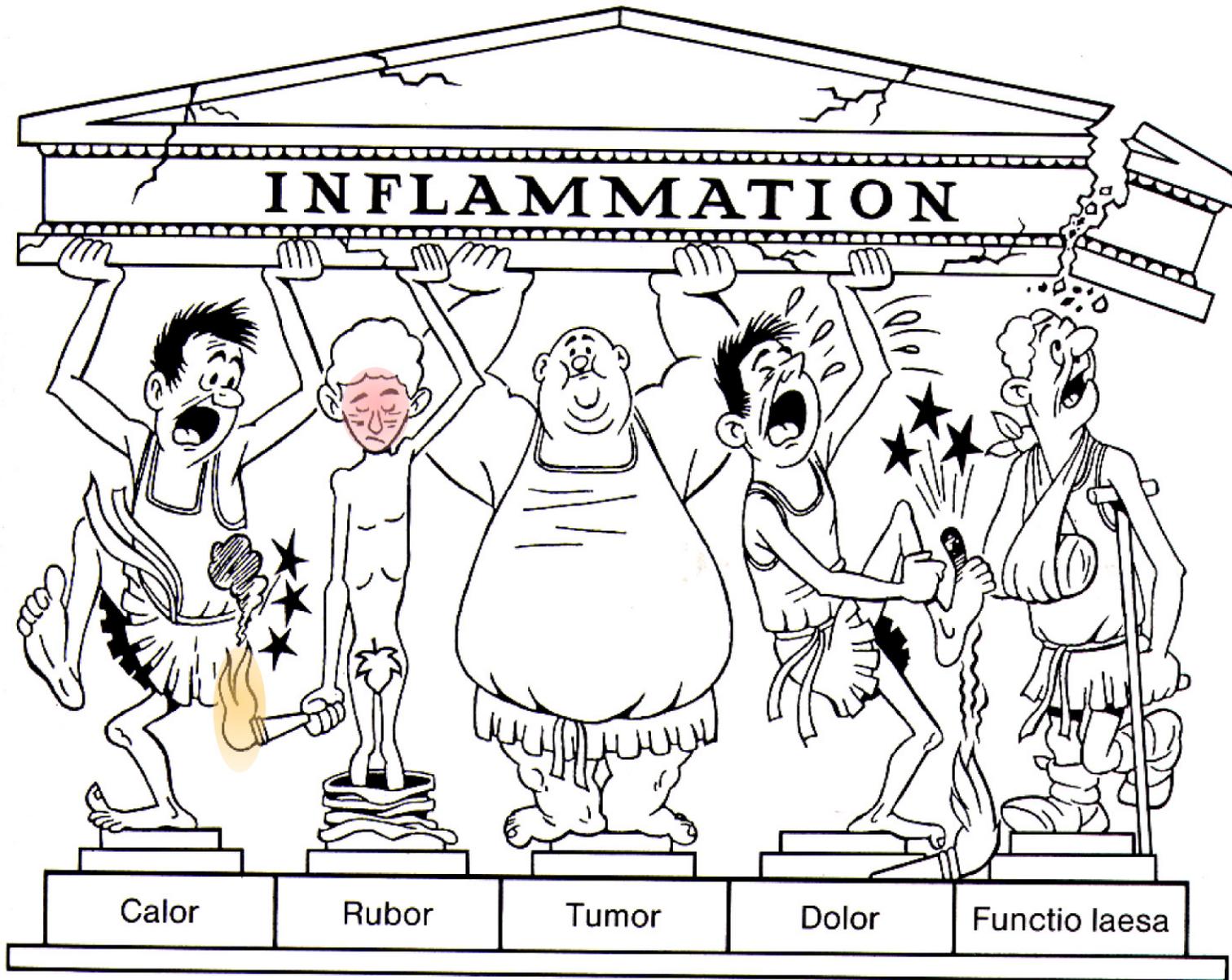
- zelluläre Strahlenbiologie
- Strahlenpathologie

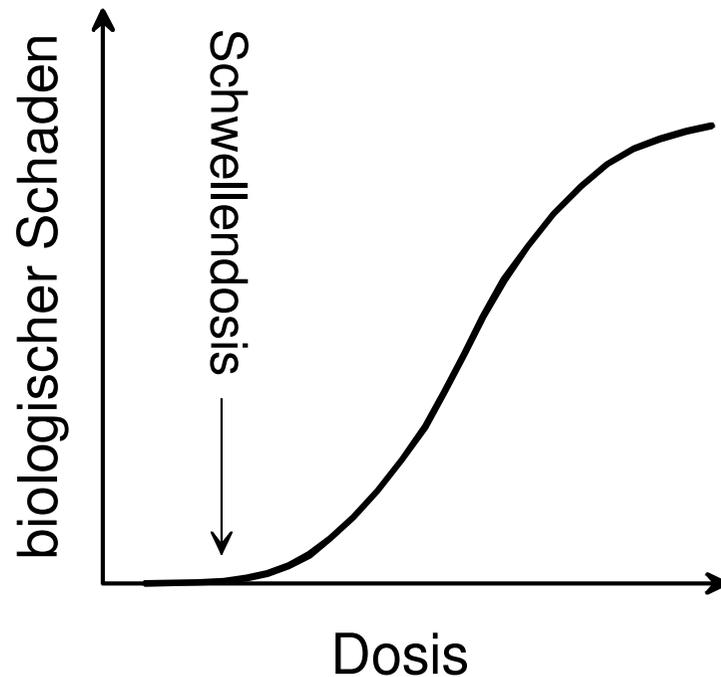


Frühschäden



- deterministisch
- Schwellendosis
- Latenzzeit von Stunden (early effects) bis wenige Jahre (late effects)

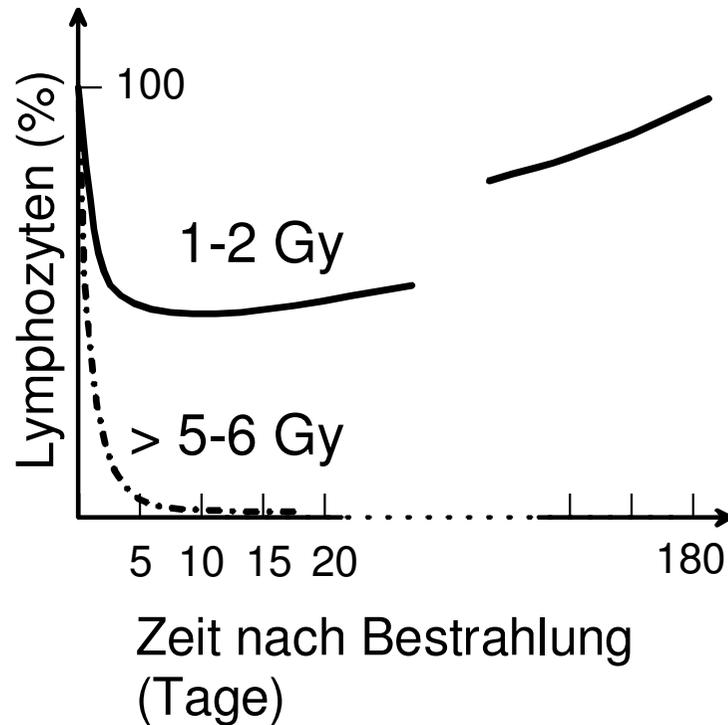




Schwellendosis

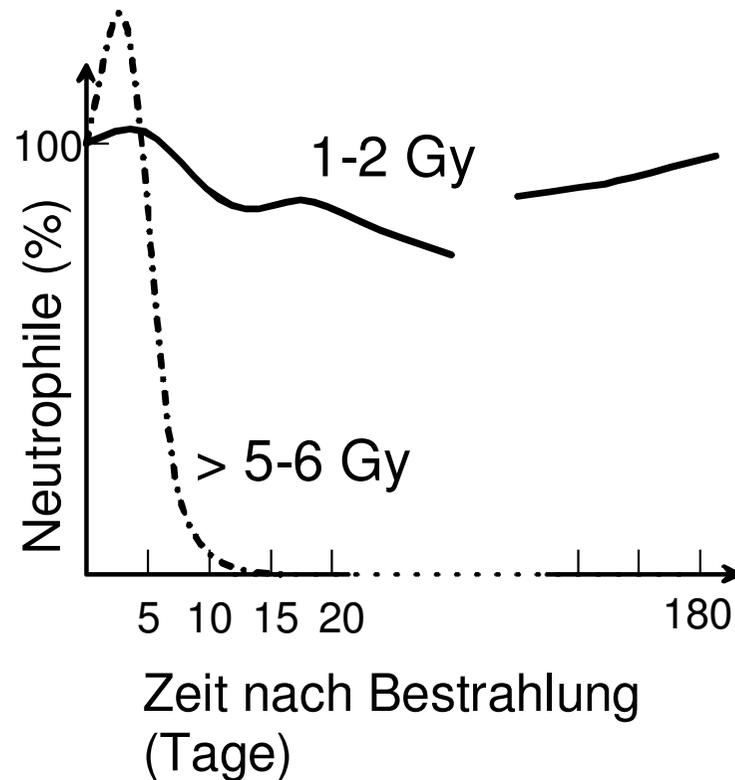
- 0.1 Gy: Chromosomenaberrationen im bestrahlten Gewebe
- 0.5 Gy: Reaktion des blutbildenden Systems
- 1 Gy auf ganzen Körper: Strahlensyndrom

Blutbildendes System

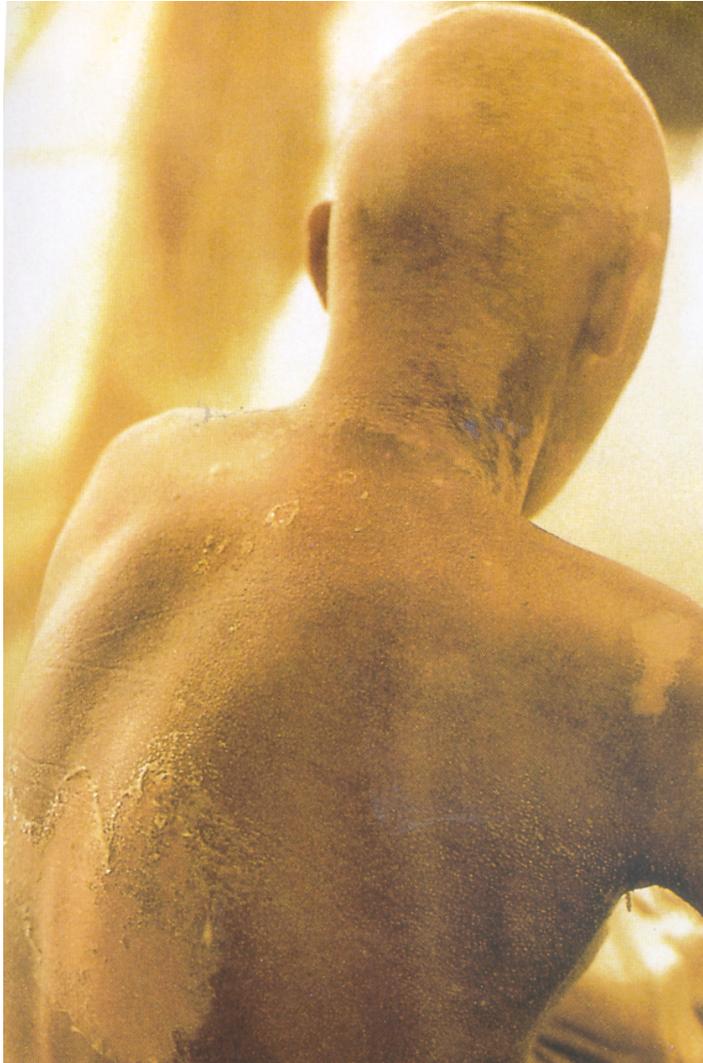


- Depression der Lymphozyten innert 3-4 Tagen
- je höher die Dosis, desto tiefer die Depression
- Erholung nach ca. 180 d, falls Dosis < 5-6 Gy

Blutbildendes System



- Reaktion der Neutrophilen analog zu Lymphozyten, aber:
- initialer Anstieg → Entzündungsreaktionen, Entleerung der Speicher



Hautreaktionen

- Schwellendosis für Erythem beim Menschen: ca. 3-4 Gy
- permanente Epilation oberhalb ca. 7 Gy (bei einmaliger Applikation)
- Dosis > 10 Gy (Einzeldosis): schmerzhafte Strahlenverbrennungen











Schleimhäute

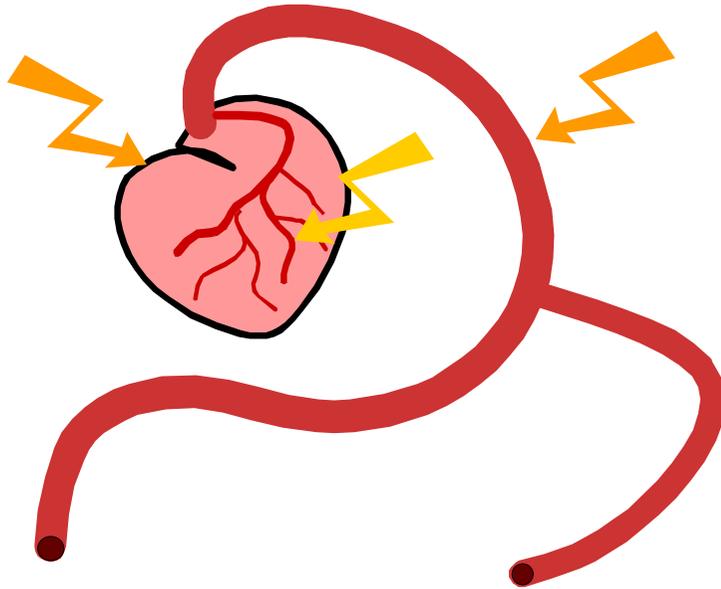
- Enanthem oberhalb ca. 3-4 Gy
- Ulzerationen
- Geschmacksverlust



Augenschäden

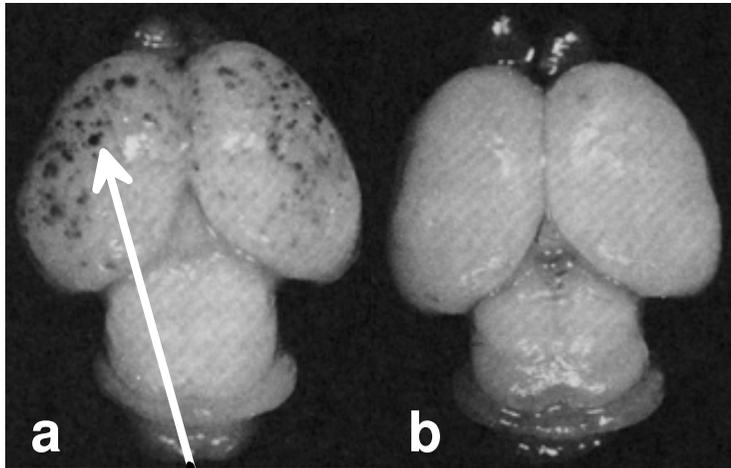
- Trübung der Linse (Strahlenkatarakt) oberhalb 2-3 Gy mit langer Latenzzeit
- Retinopathien
- Konjunktivitis

Herz & Gefäße



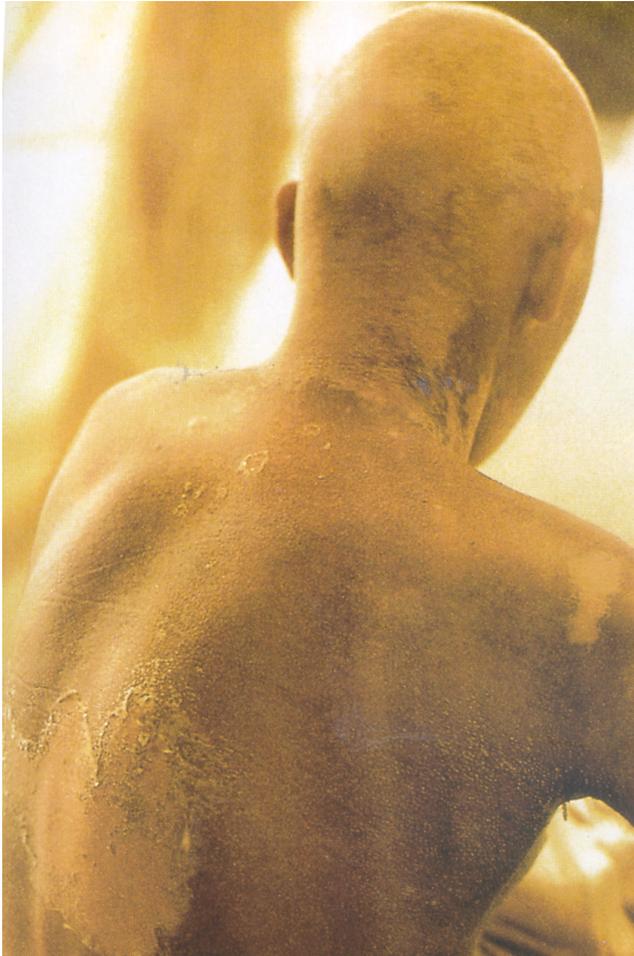
- Schädigung der Herzkranzgefäße & Myokardfibrosen bei sehr hohen Dosen
- Störung der Blutversorgung durch Gefäßschäden

Hirn & Nerven



Petechien

- relativ strahlenunsensibel
- problematisch bei Strahlentherapie: Hohe Dosen auf Myelon, Hirnstamm oder generell auf grossen Volumen
- Strahlenwirkung auf Blutgefässe sehr wichtig



Strahlensyndrom

- 1-6 Gy: hämatopoetische Form
- 6-20 Gy: gastro-intestinale Form
- > 20 Gy: zerebrale Form

1-6 Gy: hämatologische Form

Prodromalphase (Dauer 24 - 48 h):

Übelkeit (Nausea), Erbrechen,
Salivation

Latenzzeit (Dauer 2 - 3 Wochen):

Manifeste Erkrankung (Dauer 2 - 4 Wochen):

Fieber, Schwäche, Infektionen

Blutungsneigung

Radiodermatitis, Epilation

Schleimhautdefekte (Ulzerationen)

6-20 Gy: gastro-intestinale Form

Prodromalphase (Dauer 24 - 72 h):

Übelkeit (Nausea), Erbrechen,
Salivation

Latenzzeit (Dauer 3 - 5 Tage):

Manifeste Erkrankung

massiver Durchfall (Diarrhoe)
Fieber, Schwäche,
Infektionen (Darmbakterien!!!)
Blutungsneigung
Radiodermatitis, Epilation
Schleimhautdefekte (Ulzerationen)

ab 20 Gy: neuronale Form

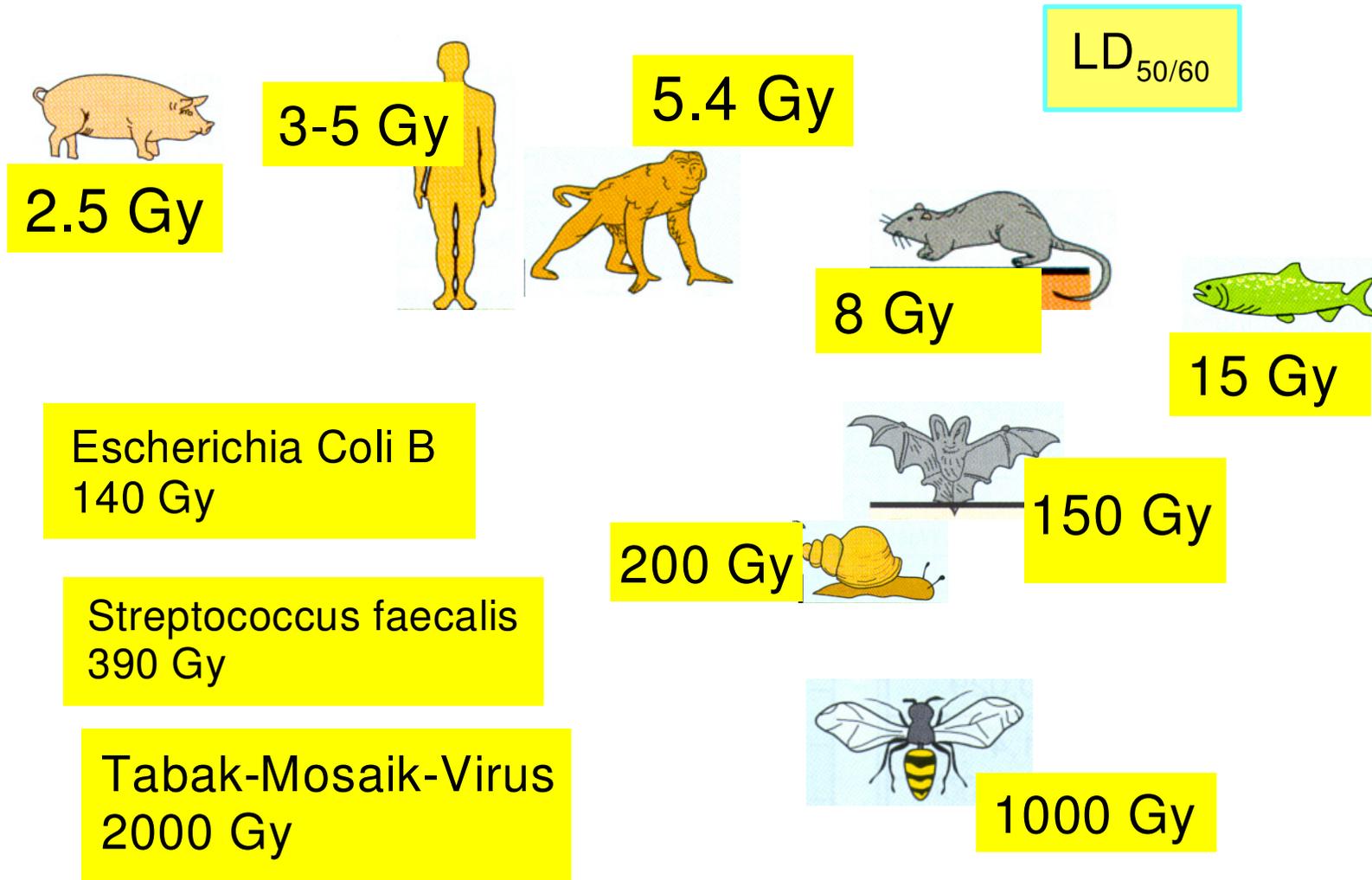
Prodromalphase
nicht mehr erkennbar

Latenzzeit: keine!

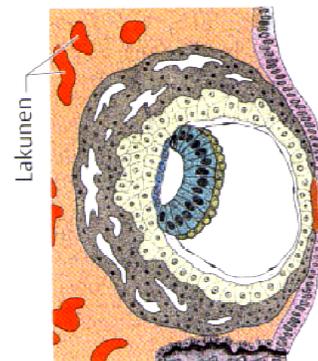
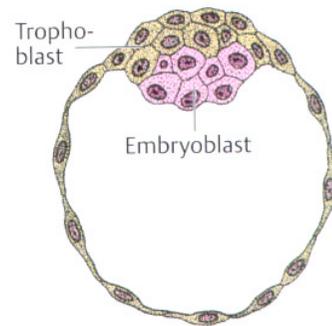
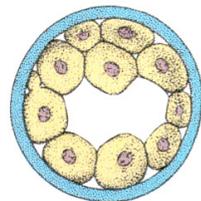
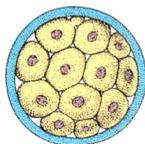
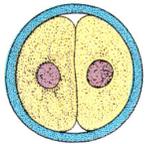
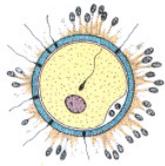
Manifeste Erkrankung

schneller Bewusstseinsverlust
mit kardio-zirkulatorischem Schock

Exitus innert 2 Tagen



Tag 1-9



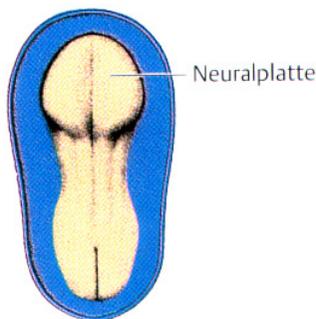
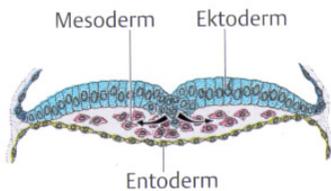
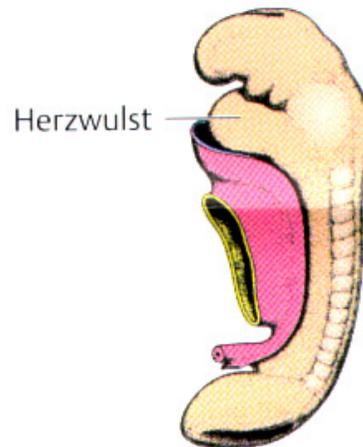
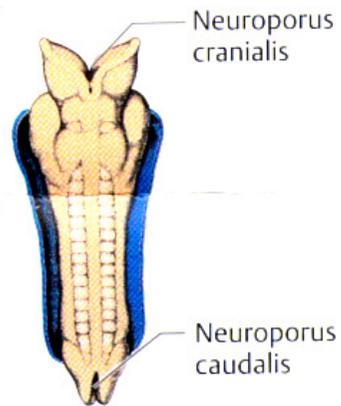
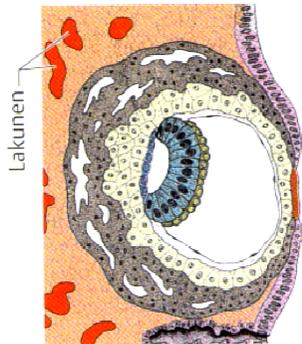
Präimplantations-Phase

ab **50 mGy**
Todesfälle bei
Mausembryo

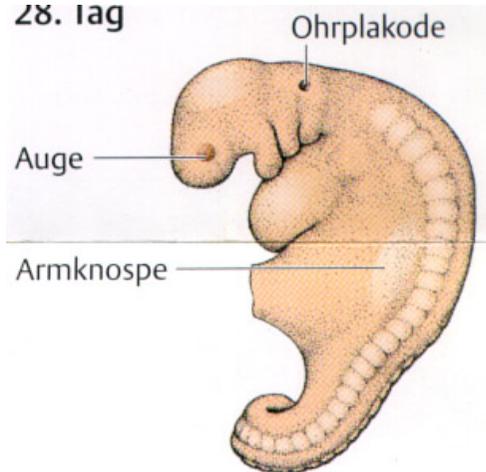
*Reaktion auf
Bestrahlung:*

Tod oder
normale Entwicklung

Tag 9-28



28. Tag



Organogenese

Abfaltung des Keimblattes

Reaktion auf Bestrahlung:

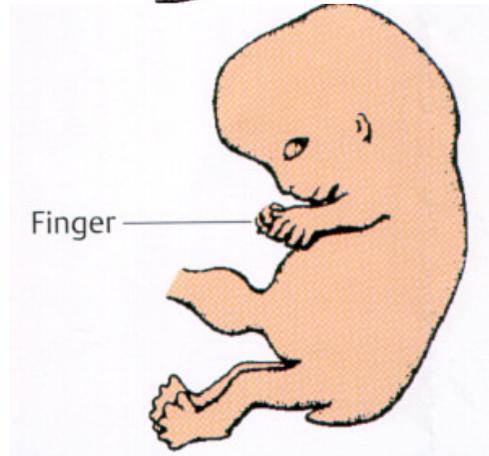
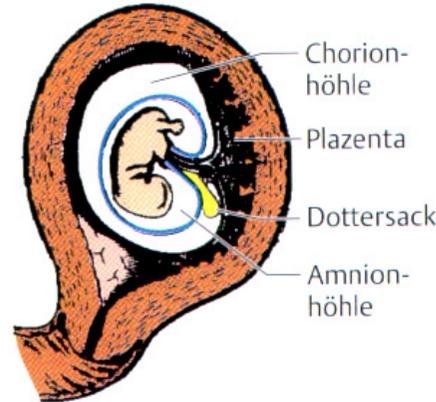
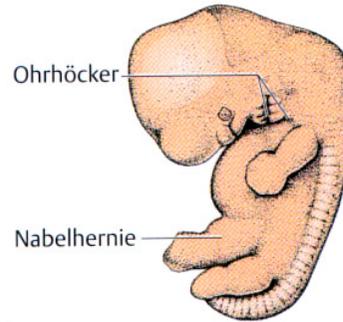
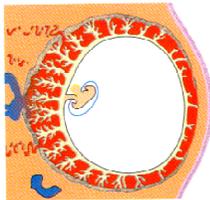
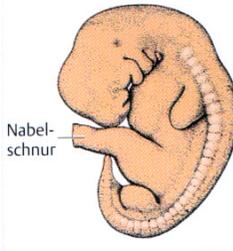
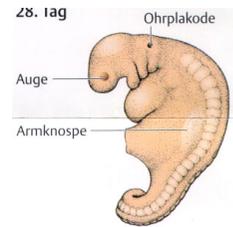
Entwicklungsstörungen des zentralen Nervensystems

Missbildungen aller Art

Schwellen-Dosis
50 mGy

Risiko: 50% bei 1 Gy

Tag 28-48



Organogenese

Embryonales Wachstum

Reaktion auf Bestrahlung:

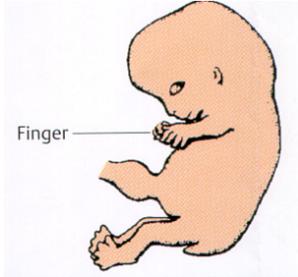
Entwicklungsstörungen des zentralen Nervensystems

Missbildungen

Mit zunehmendem Alter starke Abnahme der Sterblichkeit

Schwellen-Dosis
50 mGy

Risiko: 50% bei 1 Gy

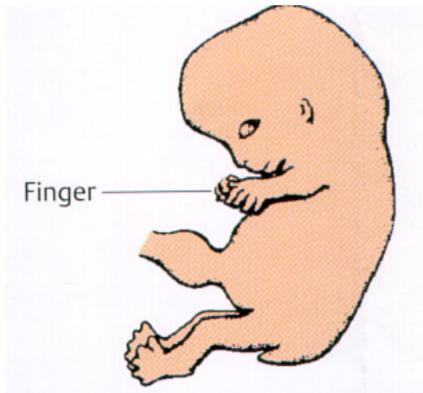


Tag

48

Organogenese

**Embryonales
Wachstum**



61

Fetogenese

drastische Abnahmen
der Missbildungsrisiko

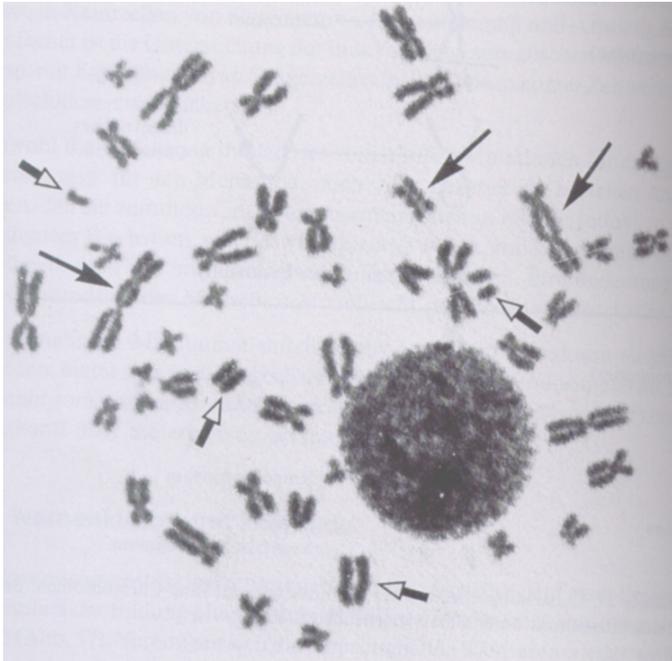
Ausnahme:
geistige Retardierung
ca. 30 IQ-Punkte / Gy

Pränatale Bestrahlung



- Missbildungen von praktisch allen Organsystemen möglich
- geistige Retardierung
- erhöhtes Krebsrisiko

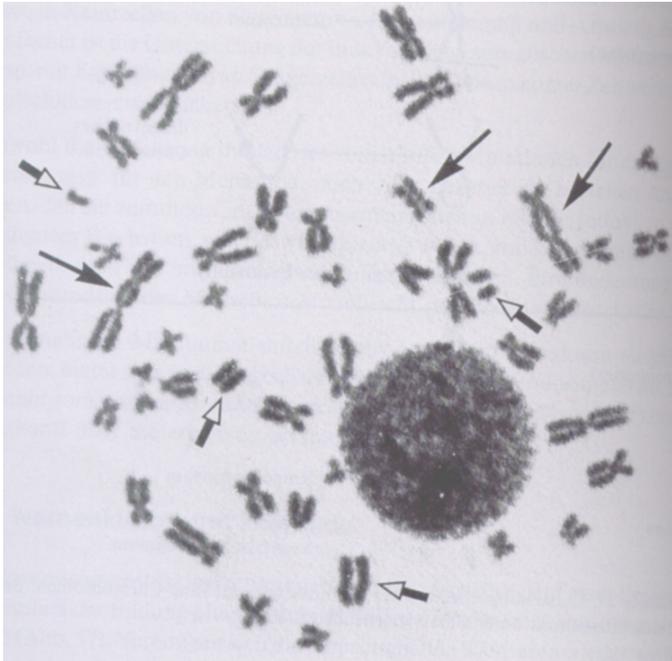
Inhalt



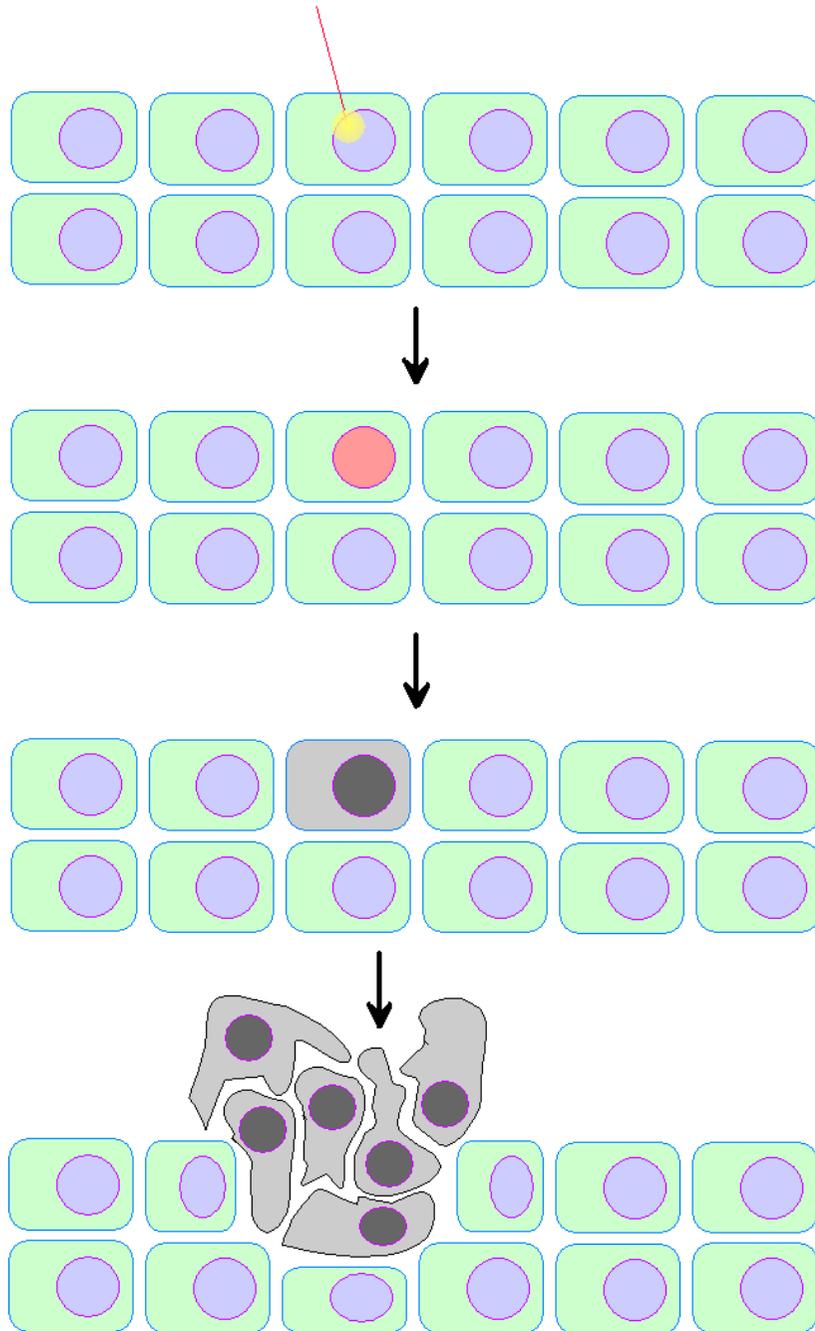
- zelluläre Strahlenbiologie
- Strahlenpathologie
- Risiko & effektive Dosis

Risiko & effektive Dosis

Stochastische Schäden



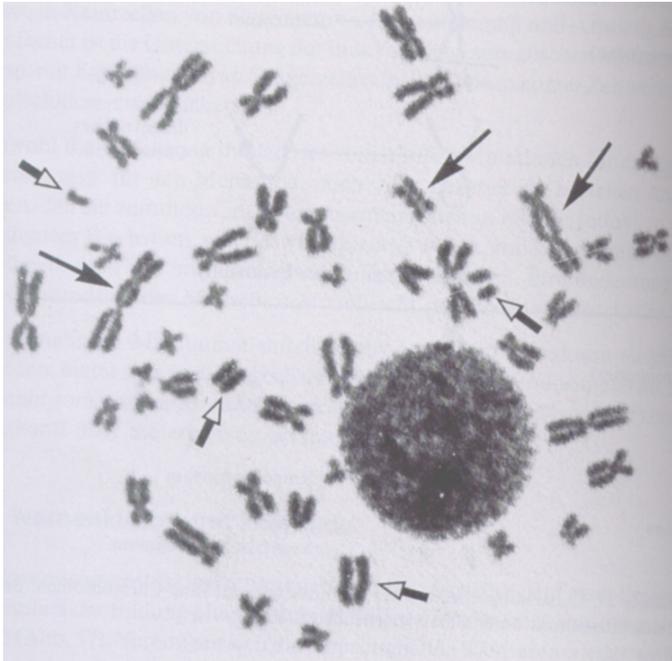
- Krebsrisiko
- genetische Schäden



Tumor-Genese

- Tumor-Induktion
- Tumor-Progression
- Wachstum und ev. weitere Differenzierung (Subklon-Bildung)
- Metastasierung

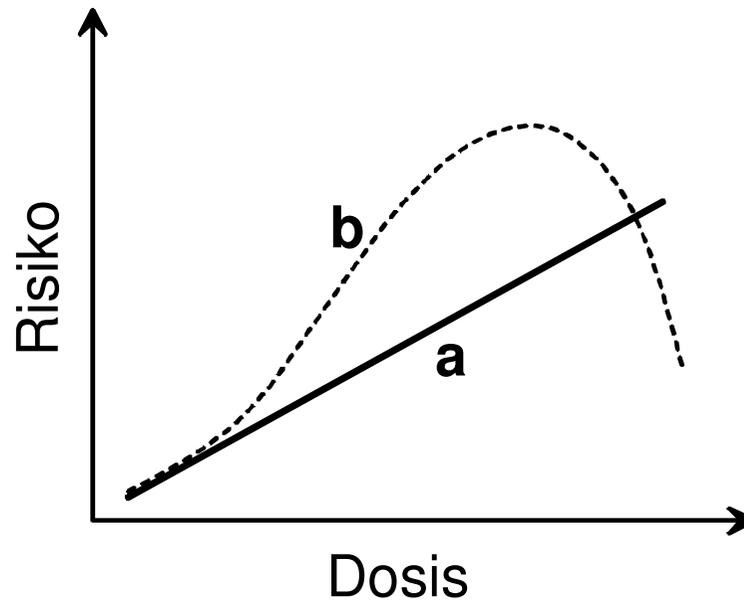
Risiko & effektive Dosis



Latenzzeit

- lange Latenzzeit für stochastische Schäden
→ Spätschäden
- Leukämien: 5-8 Jahre
- solide Tumoren: bis zu 25 Jahre (beim Menschen)

Dosis-Effekt-Beziehung



- a) protrahierte Exposition
- b) Dosis in einmaliger Exposition appliziert

- für stochastische Schäden linear bei niedriger Dosisleistung
- bei hohen Dosisleistungen Verdoppelung des Risikos

Effektive Dosis E

$$E = \sum_T w_T H_T$$

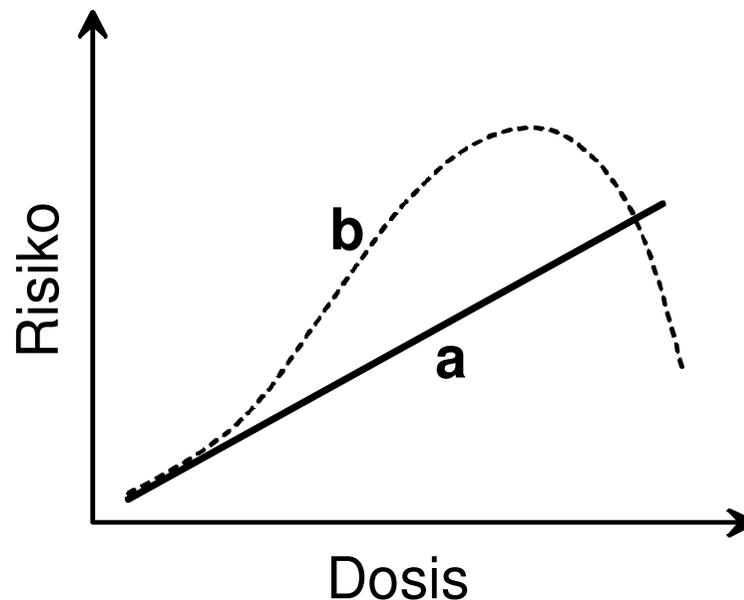
- Gewichtung der Organdosen H_T mit deren Strahlensensibilität bezüglich Spätschäden
- Mittelung über den ganzen Körper
- Einheit: auch Sievert [Sv]

Risiko & effektive Dosis

effektive Dosis E

Organ bzw. Gewebe	W_T
Gonaden	0.20
Knochenmark	0.12
Dickdarm	0.12
Lunge	0.12
Magen	0.12
Brust	0.05
Leber	0.05
Schilddrüse	0.05
Haut	0.01

Risiko & effektive Dosis



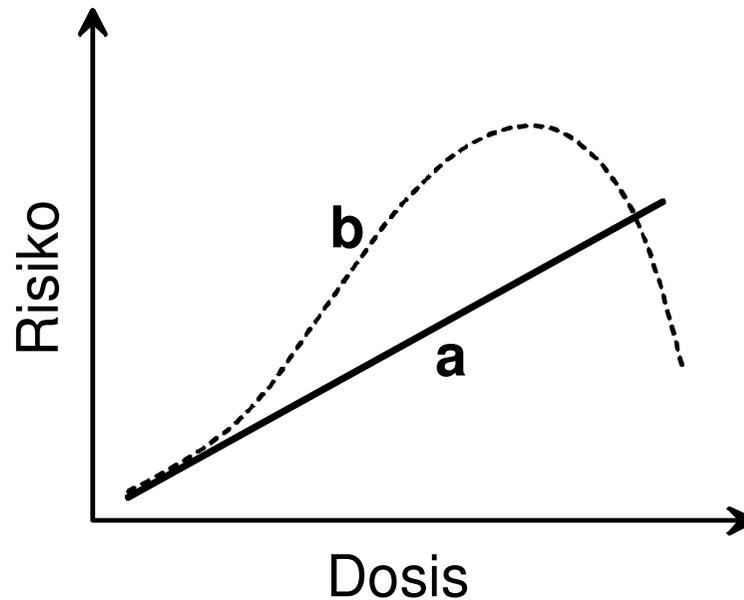
- a) protrahierte Exposition
- b) Dosis in einmaliger Exposition appliziert

Risiko

- (+) 4% / Sv Krebsmortalität für arbeitende Bevölkerung
- (+) 5% / Sv Krebsmortalität für Gesamt-Bevölkerung
- (+) 1 % / Sv genetische Defekte (Gesamtbevölkerung) bzw. 0.6 % (arbeitende Bevölkerung)
- bei hohen Dosisleistungen Verdoppelung des Risikos!

Risiko & effektive Dosis

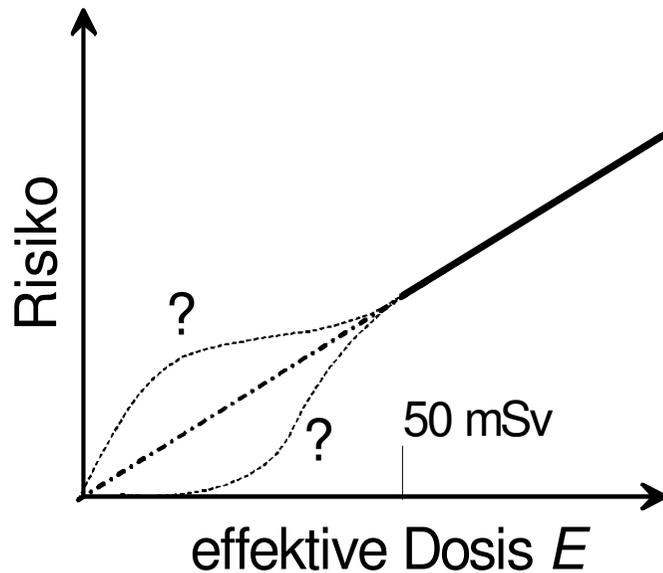
Detriment nach ICRP



- a) protrahierte Exposition
- b) Dosis in einmaliger Exposition appliziert

- (+) 1-1.5% / Sv Inzidenz für nichttödliche Tumore
- → Detriment (+) 7.3 % / Sv

niedrige Dosen



- unterhalb von ca. 50 - 100 mGy keine zuverlässigen Daten
- Annahme im Strahlenschutz: linearer Zusammenhang

Risiko & effektive Dosis

Konsequenzen

ALARA
As Low As Reasonably Achievable

- Optimierung im Strahlenschutz:

→ Dosis so tief wie möglich halten



THE END