Biologische Risiken im Zusammenhang mit der Strahlenbelastung.

Dr. Balázs Kiss

19.02.2026.

IONISIERENDE STRAHLUNG: Die Strahlung, die über ausreichend Energie verfügt, um während der Absorption im Medium auf direkte oder indirekte Weise Ionenpaare (Ion^+ + freies $Elektron^-$) anzuregen. Dazu gehören die Korpuskularstrahlungen (α, β, Neutronen usw.) und von den elektromagnetischen Strahlungen die Röntgen- bzw. γ-Strahlung.

MECHANISMUS DER IONISATION

Direkt: Coulomb-Wechselwirkung; Alpha, Beta (- und +), Proton, Zerfallsprodukte, usw.

Indirekt: Photoeffekt, Compton Streuung, Paarbildung; Gamma-, Röntgenstrahlung, n_0

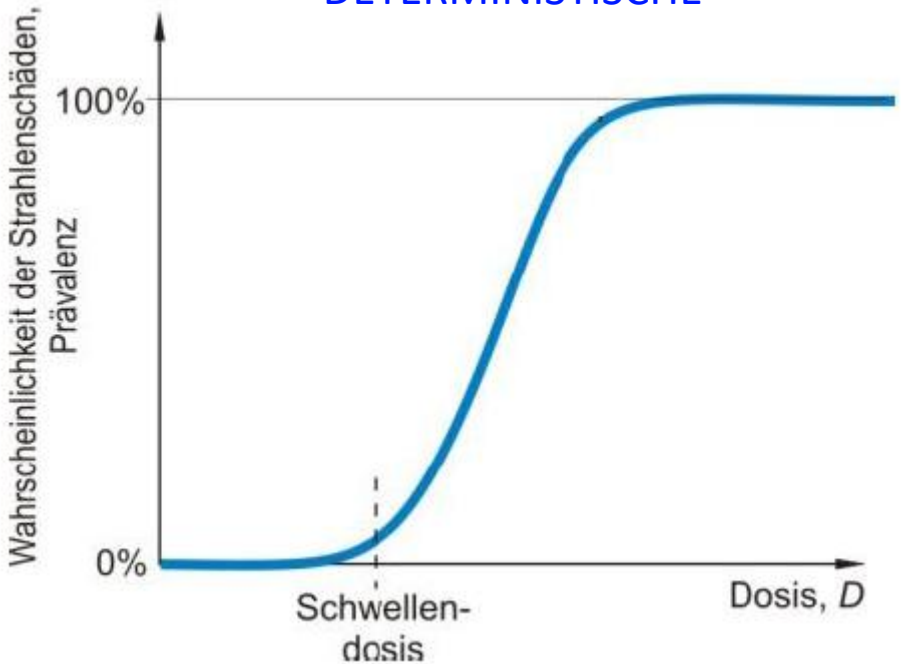
DIREKTE WIRKUNG: Die ionisierende Strahlung wird in biologisch wichtigen Makromolekülen (z. B. DNA) absorbiert und verursacht dort Verletzungen.

INDIREKTE WIRKUNG: Die ionisierende Strahlung wird im Wasser, das den größten Teil des Organismus bzw. der Zellsubstanz ausmacht, absorbiert und verursacht dort chemische Änderungen, führt zur Bildung von sog. freien Radikalen (•H, •OH usw.). Diese treten mit biologisch wichtigen Makromolekülen in Wechselwirkung und schädigen diese.

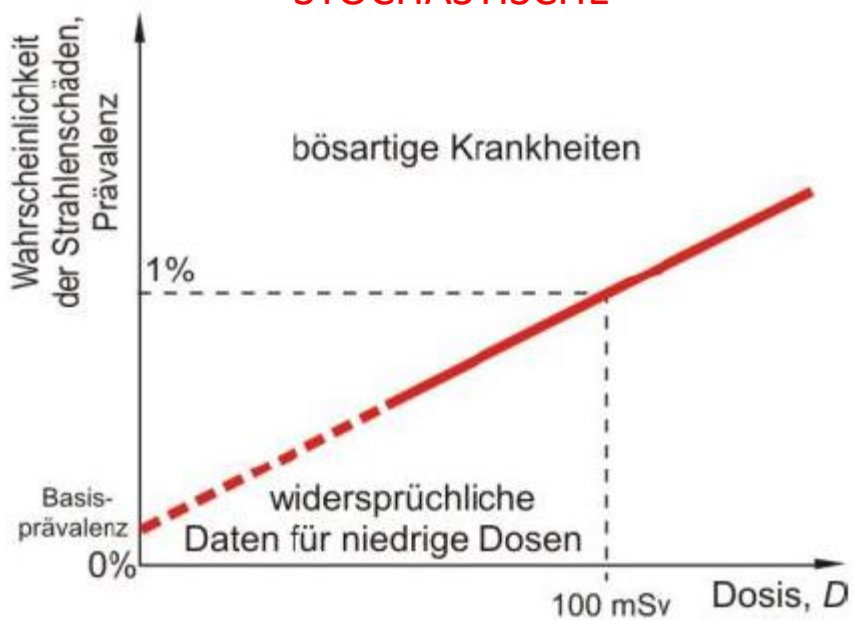
DETERMINISTISCHE WIRKUNG: Die Wahrscheinlichkeit der Schädigung nimmt bei einer gewissen Dosis (Schwellendosis) sprunghaft zu. Über der Schwellendosis ist die Schwere der Schädigung proportional zur Dosis. Hautröte oder Linsenschäden am Auge sind typische deterministische Wirkungen.

STOCHASTISCHE WIRKUNG: Die Wahrscheinlichkeit der Wirkung ist proportional zur Dosis (hier lässt sich kein Schwellenwert definieren). Infolge solcher „zufälligen" Wirkungen treten genetische Schäden bzw. einige Krebsarten auf.

DETERMINISTISCHE

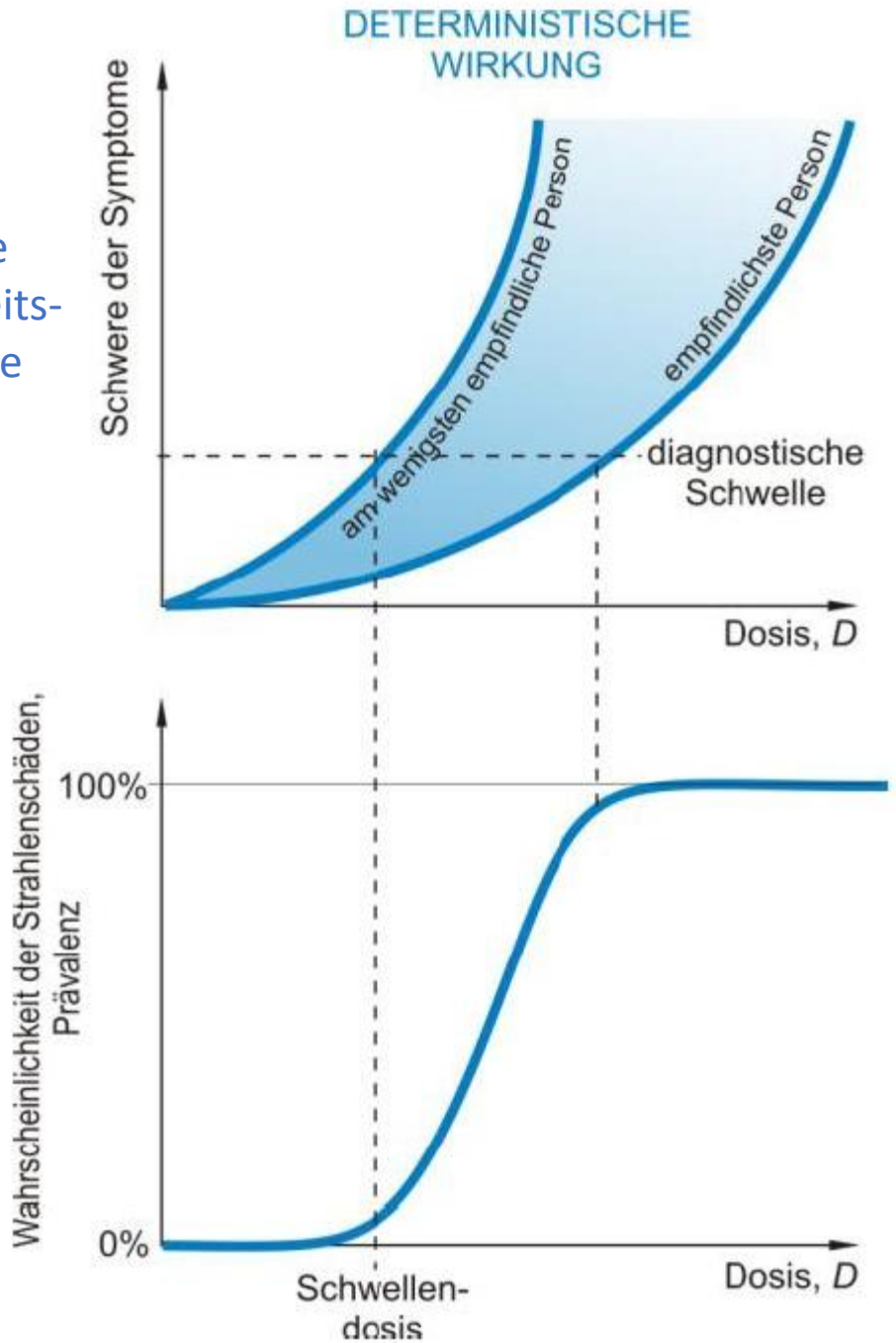


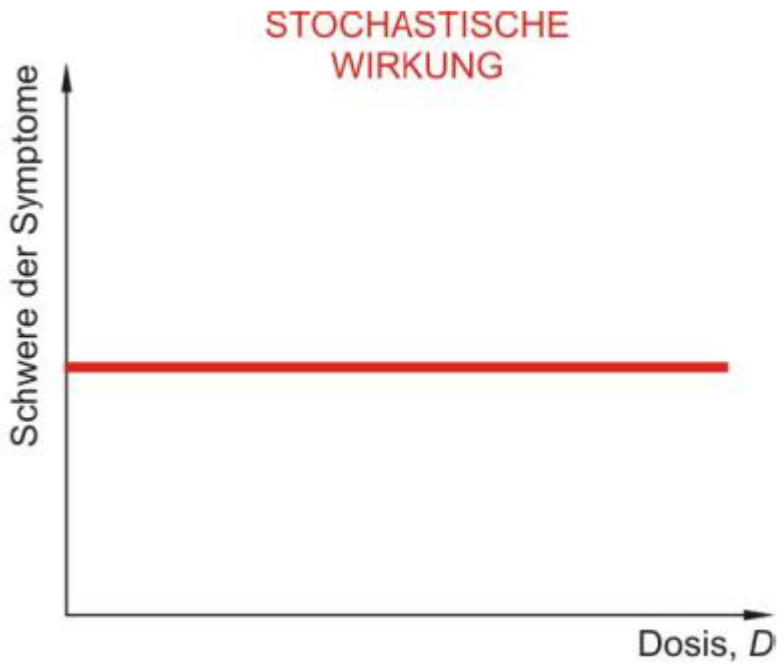
STOCHASTISCHE



Es gibt keine klare Information, Messdaten bzw. Experimente für niedrige Dosen

individuelle Empfindlichkeits-unterschiede





<u>Probleme:</u>

- wie kann man die „Schwere” messen?
- eindeutige Verknüpfung der Symptomatik mit dem Strahlenunfall oder Dosisbelastung
- Schwere der stochastischen Wirkung: wirklich unabhängig von Dosis?

DOSISBEGRIFFE

ENERGIEDOSIS (ABSORBIERTE DOSIS) (D): $D = \frac{\Delta E}{\Delta m}$, wobei ΔE die von der Masse Δm absorbierte Energie ist (gültig für alle ionisierenden Strahlungen). Maßeinheit ist Gray (1 Gy = 1 J/kg). Die Energiedosis lässt sich schwer messen.

IONENDOSIS (X): $X = \frac{\Delta Q}{\Delta m}$, wobei ΔQ die positive Ladung ist, die bei der Ionisation von Luft mit der Masse Δm (bei Elektronengleichgewicht) freigesetzt wird. (Gültig für Röntgen- oder γ-Strahlung unter 3 MeV.) Maßeinheit ist C/kg (Coulomb/kg).

ÄQUIVALENTDOSIS (H_T): Verschiedene Strahlungstypen haben unterschiedlich starke biologische Schadwirkungen. Deshalb wird die absorbierte Dosis mit einem sog. strahlenabhängigen Wichtungsfaktor (w_R), der für die Art und Energie der Strahlung charakteristisch ist, gewichtet. $H_T = D_{T,R} \cdot w_R$. Maßeinheit ist das Sievert (1 Sv = 1 J/kg).

EFFEKTIVDOSIS (E): Die Effektivdosis, welche die biologische Wirksamkeit auf verschiedene Gewebe oder Organe angibt, wird unter Berücksichtigung eines gewebespezifischen Wichtungsfaktors (w_T) aus der Äquivalentdosis berechnet: $E = H_T \cdot w_T$. Maßeinheit ist Sievert (1 Sv = 1 J/kg).

PROBLEME

- Schäden treten relativ selten auf
- Der Schaden tritt spät im Vergleich zur Strahlungswirkung auf
- Daher kann der Ursache-Wirkungs-Zusammenhang nicht eindeutig erklärt werden
- Jeder Mensch/Individuum hat unterschiedliche biologische Eigenschaften
- Es ist schwierig, ein kontrolliertes Experiment zu planen, da das Individuum während der langen „Inkubationszeit“ vielen äußeren Einflüssen ausgesetzt ist, die zudem bei jedem Individuum unterschiedlich sind

Motto: „Geboren zu werden ist riskant“

Wer geboren wird, wird eines Tages sterben – aus irgendeinem Grund. Null Risiko gibt es nicht, genauso wenig wie ein unendlich langes Leben auf der Erde. Daher muss für die heutigen Bürger das quantitative Verständnis von Wahrscheinlichkeit und Risiko Teil der Grundbildung werden, die für das Treffen demokratischer Entscheidungen und Entscheidungen unerlässlich ist.

John Kemeny

Die Risikobereitschaft von Menschen unterscheidet sich …

- Individuell (Kleinkind: greift in Steckdose, probiert alles aus etc.)
- Nach Alter (jung-alt)
- Nach Geschlecht (Darwin-Preis)
- Nach Familienstand (Eltern vs. Kinder)

Was ist das annehmbare Risiko?

- Wenn Sie eine Straße überqueren (auf der rechten Seite), schauen Sie zuerst nach links, dann in der Mitte der Straße nach rechts…

aber wir fügen nicht hinzu

- Schauen Sie auch nach oben, um zu sehen, ob ein Schornstein auf Sie fällt oder ob Ihnen ein Flugzeug auf den Kopf fällt.

In den Vereinigten Staaten sterben beispielsweise jedes Jahr ein oder zwei Menschen bei einem Flugzeugabsturz, das Risiko eines solchen Todes kann (dort) bei etwa 1/100.000.000 Jahren liegen. Aufgrund der Alltagserfahrung wird dies als vernachlässigbar (d.h. praktisch null) angesehen.

Die mathematische Interpretation des Risikos lautet wie folgt:

$$R = W \cdot K$$

wobei W die Eintrittswahrscheinlichkeit und K die Schwere der Folge ist.

(Im Gewissheitsfall W = 1. Im Todesfall K = 1.)

Sind nach der Interpretation der Wahrscheinlichkeit alle N Personen dem gleichen Risiko R ausgesetzt, dann ist das kollektive Risiko (die Zahl der zu erwartenden Todesfälle) gleich N·R. - Um einfach sprechen zu können, führen wir das Konzept des **Mikrorisiko**s ein:

Dies ist R = 1 / 1.000.000 Risiko.

Wenn 1 Million Menschen einem Mikrorisiko ausgesetzt sind, wird mit 1 Todesfall gerechnet. Nach internationaler Meinung birgt sie ein so hohes Risiko

- 2500 km Bahnfahrt
- 2000 km Flugreise
- 80 km mit dem Bus
- 65 km mit dem Auto
- 12 km mit dem Fahrrad
- 3 km mit dem Motorrad
- eine Zigarette rauchen
- zwei Wochen mit einem Raucher leben
- einen halben Liter Wein trinken
- zehn Tage in einem Backsteinhaus leben
- drei Tage lang in der Innenstadt von Budapest zu atmen
- Klettern für zwei Minuten
- innerhalb eines Jahres einen Bienenstich erleiden
- innerhalb von zehn Jahren vom Blitz getroffen werden



Wenn man sich die Daten ansieht und sie mit der öffentlichen Meinung vergleicht, sieht man das Menschen halten ein Mikrorisiko für völlig akzeptabel. Dies spiegelt sich z.B. die Praxis des US-Kongresses, dass 1 Mikrorisiko noch nicht als nennenswert angesehen wird.

1987 verabschiedete der Bundesstaat Kalifornien mit 2/3-Mehrheit das Right to Know-Gesetz, das unter anderem besagt, dass

"No person shall be exposed, knowingly or unknowingly, to a chemical that causes cancer or genetic damage, without first having been informed of this risk." we would draw your attention".

„Niemand darf wissentlich oder unwissentlich einer Chemikalie ausgesetzt werden, die Krebs oder genetische Schäden verursacht, ohne zuvor über dieses Risiko informiert worden zu sein.“ wir würden Sie darauf aufmerksam machen".

Der **Unfall auf Three Mile Island** war eine teilweise Kernschmelze des Reaktors Three Mile Island, Unit 2 (TMI-2) am Susquehanna River in Londonderry Township, Pennsylvania, in der Nähe der Hauptstadt von Pennsylvania, Harrisburg. Es begann um 4 Uhr morgens am 28. März 1979. Es ist der bedeutendste Unfall in der Geschichte der kommerziellen US-Kernkraftwerke. Auf der **internationalen Sieben-Punkte-Skala für nukleare Ereignisse** wird es als **Stufe 5** eingestuft – **Unfall mit größeren Folgen**.

Der Unfall begann mit Ausfällen im nicht-nuklearen Sekundärsystem, gefolgt von einem festsitzenden, vorgesteuerten Überdruckventil im Primärsystem, wodurch große Mengen des Kernreaktorkühlmittels entweichen konnten (Kühlmittelverlustunfall = LOCA, loss of coolant accident).





Das Krebsrisiko erhöht sich nicht mehr, als wenn Sie jeweils eine halbe Zigarette rauchen.

Es wird erwartet, dass technokratische Verantwortungslosigkeit das Leben von zwei unschuldigen Bürgern kosten wird.

Während der Reaktorstörung in Harrisburg wurde Radioaktivität durch das verstärkte Containment-Gebäude am Austreten gehindert. Bei der Reinigung des unbrauchbaren Reaktors wurden jedoch die chemisch nicht greifbaren aktiven Edelgase in die Atmosphäre freigesetzt.

Eine Zeitung kommentierte die zusätzliche Strahlenbelastung der umliegenden vier Millionen Einwohner wie folgt:

Das Krebsrisiko erhöht sich nicht mehr, als wenn Sie jeweils eine halbe Zigarette rauchen.
(Wie beruhigend, nicht wahr?)

Eine andere Zeitung schrieb:

Es wird erwartet, dass technokratische Verantwortungslosigkeit das Leben von zwei unschuldigen Bürgern kosten wird.
(Wie schrecklich, nicht wahr?)

Wir müssen nur multiplizieren können: Die beiden Aussagen sind mathematisch äquivalent!

Wie hoch ist das statistische Krebsrisiko einer Dosis von 1 Millisievert?

R =50 Mikrorisiko.

Es ist diesem gleich

- zweieinhalb Packungen Zigaretten rauchen,
- 25 Liter Wein trinken,
- 600 km Rad fahren,
- 3000 km Auto fahren,
- ein Jahr lang zweimal täglich eine stark befahrene Straße überqueren,
- **sich einer Nierenfunktionsaufnahme zu unterziehen.**

