
6.6 Biologische Strahlenwirkung; Strahlenbelastung des Menschen, Energie- und Äquivalentdosis; Strahlenschutzmaßnahmen

Biologische Strahlenwirkungen

Becquerel, der Entdecker der radioaktiven Strahlung, trug 1901 ein nicht abgeschirmtes Radiumpräparat in der Westentasche. Nach zwei Wochen zeigte seine Haut Verbrennungserscheinungen mit einer schwer abheilenden Wunde. In der jüngeren Vergangenheit musste man leider lernen, dass die radioaktive Strahlung aber noch weit schlimmere Folgen haben kann (Tschernobyl!).

Die eigentliche Gefahr bei Strahlenschäden besteht in der ionisierenden Wirkung der radioaktiven Strahlen, wodurch menschliche Zellen in ihren Eigenschaften verändert werden oder gar absterben können. Ersteres kann zu einer Änderung des Erbgutes führen und damit Mutationen bei späteren Generationen bewirken. Die Heimtücke derartiger Mutationen liegt u.a. auch darin, dass sie rezessiv sein können, also nicht unbedingt schon in der nächsten Generation augenscheinlich werden.

Zusammenfassung: Ursache der Strahlenschäden ist die Ionisation von Molekülen. Abwehrmechanismen verhindern, dass jede Bestrahlung schädlich ist.

Strahlendosimetrie

Zum Vergleich der Wirkungen radioaktiver Strahlen ist die Festlegung objektiver Meßverfahren und Einheiten unerlässlich.

Ausgehend von der ungenauen Bewertung der Hautrötung nach einer radioaktiven Bestrahlung machte man sich die ionisierende Wirkung radioaktiver Strahlung, aber auch die Energieabsorption beim Durchgang radioaktiver Strahlung durch Materie zunutze.

Im folgenden sind die wesentlichen Messgrößen der Dosimetrie zusammengestellt:

Die Aktivität A ist ein Maß für die Stärke eines radioaktiven Präparats:

$$\text{Aktivität} = \frac{\text{Anzahl der Zerfallsakte}}{\text{Zeitspanne}}; A = \left| \frac{\Delta N}{\Delta t} \right|.$$

Die Aktivität wird in s^{-1} angegeben. Eine historische Einheit für die Aktivität ist 1 Curie (1 Ci), die Aktivität von 1 g Radium. Es gilt der Zusammenhang $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ s}^{-1}$.

Die Ionendosis D_I gibt an, wie viele Ionen eines Vorzeichens pro kg durchstrahlter Masse erzeugt werden.

$$\text{Ionendosis} = \frac{\text{Ionenladung eines Vorzeichens}}{\text{durchstrahlte Masse}}; D_I = \frac{\Delta Q}{\Delta m}.$$

Die Ionendosis bezieht sich auf die Ionisation in trockener Luft bei 0 °C und 1013 mbar. Für die Einheit gilt:

$$[D_I] = 1 \frac{\text{C}}{\text{kg}} = 1 \frac{\text{As}}{\text{kg}} = 3875,86\text{R (Röntgen)} \text{ bzw. } 1\text{R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{C}}{\text{kg}}.$$

Die Dosisleistung P_D gibt die Ionendosis pro Zeiteinheit an:

$$\text{Dosisleistung} = \frac{\text{Ionendosis}}{\text{Zeitspanne}}; P_D = \frac{\Delta D_I}{\Delta t}.$$

Für die Einheit folgt daraus:

$$[P_D] = 1 \frac{\text{As}}{\text{kg}\cdot\text{s}} = 1 \frac{\text{A}}{\text{kg}}.$$

Die Energiedosis D ist gleich dem Verhältnis der von dem durchstrahlten Stoff absorbierten Energie und seiner Masse:

$$\text{Energiedosis} = \frac{\text{absorbierte Energie}}{\text{durchstrahlte Masse}}; D = \frac{\Delta E}{\Delta m}.$$

Die Einheit der Energiedosis ist demnach

$$[D] = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 1 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 1\text{Gray} = 1\text{Gy}.$$

Durch Multiplikation der Energiedosis mit einem (empirisch gefundenen) Qualitätsfaktor q erhält man die sog. Äquivalentdosis H , mit der man der unterschiedlichen biologischen Wirksamkeit der einzelnen Strahlungsarten Rechnung trägt. Für Röntgen-, γ - und β -Strahlen gilt $q = 1$, für α -Teilchen sowie andere mehrfach geladene Teilchen $q = 20$.

Zur Unterscheidung von der messbaren Energiedosis D hat man der Äquivalentdosis $H = q \cdot D$ die Einheit

$$1\text{Sievert} = 1\text{Sv} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 100\text{rem (rem = röntgen equivalent man)}$$

gegeben.

Unter der Äquivalentdosisleistung $\dot{H} = \frac{\Delta H}{\Delta t}$ versteht man die in der Zeit Δt absorbierte Äquivalentdosis:

$$\text{Äquivalentdosisleistung} = \frac{\text{Äquivalentdosis}}{\text{Zeit}}; \dot{H} = \frac{\Delta H}{\Delta t}.$$

Die Einheit dafür ist $1 \frac{\text{Sv}}{\text{s}}$; häufig wird die Äquivalentdosisleistung in $\frac{\text{Sv}}{\text{h}}$ bzw. $\frac{\text{rem}}{\text{h}}$ angegeben.

Die Bestrahlung eines Menschen führt fast immer zu einer gleichzeitigen Bestrahlung mehrerer Gewebe bzw. Organe, die allerdings nicht alle in gleichem Maße strahlengefährdet sind. Bei schwachen Ganzkörperbestrahlungen errechnet man unter Einbeziehung eines Gewichtungsfaktors W_G ($\Sigma W_G = 1$) die effektive Äquivalentdosis.

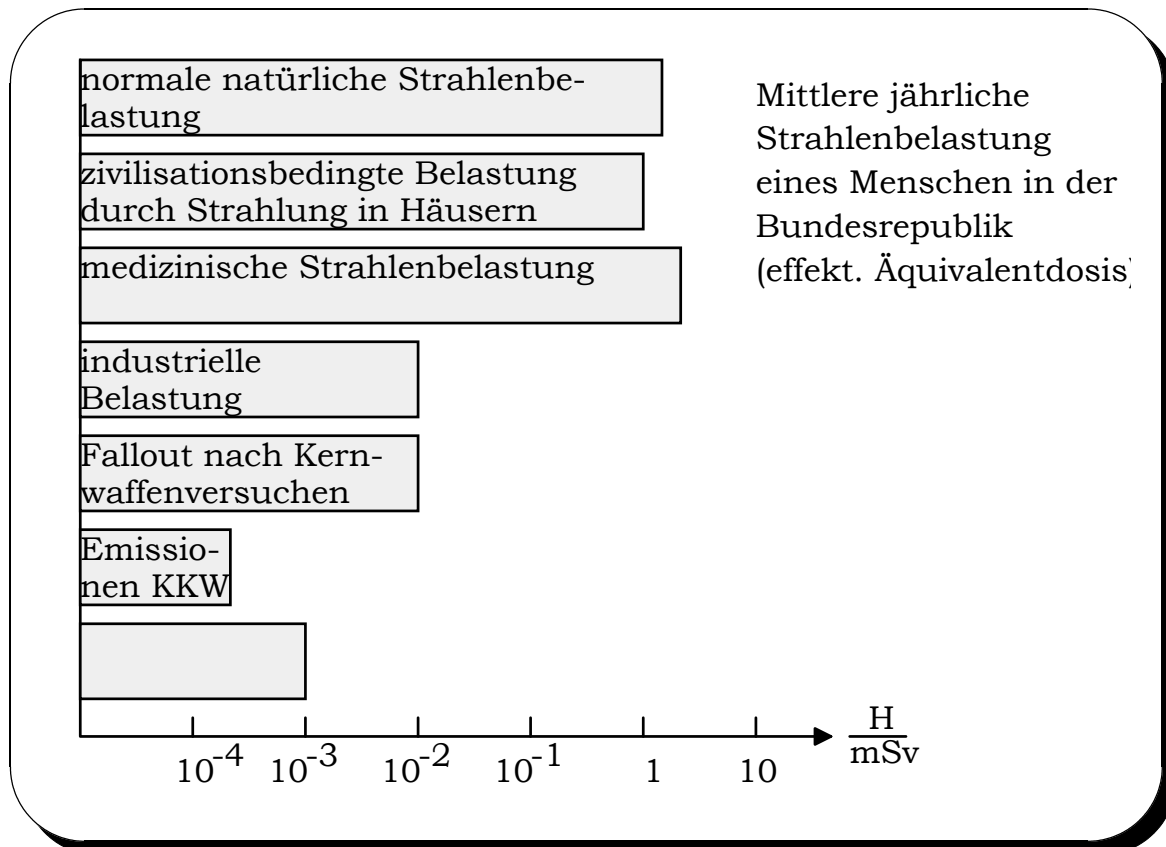
Zusammenfassung: Die Energiedosis $D = \frac{\Delta E}{\Delta m}$ gibt die in Gewebe der Masse Δm absorbierte Strahlenenergie ΔE an (Einheit: $1\text{Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$). Mit der Äquivalentdosis $H = q \cdot D$ vergleicht man die gesamte biologische Strahlenbelastung eines Gewebes durch Strahlung verschiedener Art (Einheit: $1\text{Sv} = 100\text{rem}$); q ist der von der Strahlenart abhängige Qualitätsfaktor. Die effektive Äquivalentdosis ermöglicht eine Bewertung der gesamten Strahlengefährdung einzelner Personen bei schwachen Ganzkörperbestrahlungen.

Mittlere Strahlenbelastung des Menschen

Jeder Mensch ist einer natürlichen Strahlenbelastung ausgesetzt, die sich aus drei Komponenten zusammensetzt:

1. Die terrestrische Strahlung ($\approx 20\%$) stammt aus radioaktiven Stoffen in der Erde (U-238, Ra-226, K-40).
2. Die kosmische Strahlung ($\approx 15\%$) kommt aus dem Weltraum und ist vor allem auf Bergen und im Flugzeug wirksam.
3. Die Eigenstrahlung des Körpers ($\approx 65\%$) rührt von radioaktiven Nukliden im Körper her (K-40, Ra-226, Rn-222), vor allem vom gasförmigen Rn-222, das aus Wänden und Böden diffundiert und vom Menschen eingeatmet wird.

Skizze:



Zu dieser natürlichen Strahlenbelastung (pro Jahr etwa 1,5 - 2 mSv) kommt noch ein Anteil von ca. 1 mSv, den die Medizin liefert.

Die restlichen Strahlenbelastungen sind um mehr als einen Faktor 100 geringer, so z.B. die Belastung durch Kohle- und Kernkraftwerke.

Beruflich strahlenexponierte Personen dürfen in der Bundesrepublik eine Ganzkörperdosisleistung von 50 mSv/a nicht überschreiten.

Zusammenfassung: Ein Mensch ist im Jahr einer Strahlung von 2,5 bis 3,5 mSv (ca. $0,3 \frac{\text{rem}}{\text{a}}$) an effektiver Äquivalentdosis ausgesetzt.

Strahlenschäden

Eine kurzzeitige Ganzkörperbestrahlung von über 7 Sv führt fast immer nach wenigen Tagen zum Tod. Andere Sofortschäden (Appetitlosigkeit, Haarausfall, Übelkeit) treten oberhalb eines Schwellenwerts auf, der je nach Gewebe und Zeitdauer bei 0,25 - 1 Sv liegt.

Stochastische Strahlenschäden (Leukämie, Krebs) sind besonders heimtückisch, da sie als Folge einmaliger hoher oder längerer schwacher Strahlenbelastung oft erst nach Jahren zum Vorschein kommen.

Neben diesen somatischen Schäden wirken sich die vorher bereits angesprochenen genetischen Schäden erst in späteren Generationen aus.

Zusammenfassung: Für nichtstochastischen Schäden existiert eine Schwellendosis, nicht aber für stochastische Strahlenschäden. Zu den letzteren zählen Krebs, Leukämie und genetische Schäden.

Strahlenschutz

Aus den Eigenschaften der radioaktiven Strahlung (Ionisierung, Durchdringung, Absorption) ergeben sich die Maßnahmen zum Strahlenschutz von selbst:

1. Es ist auf ausreichenden Abstand von der Quelle zu achten, da die Strahlungsleistung umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstands ist.
2. Bei Versuchen strebe man eine kurze Arbeitszeit an, da die Dosis proportional zur Zeit ist.
3. Dicke Materieschichten schirmen radioaktive Strahlen ab. Das beste Schutzmaterial ist Blei, für Neutronen Wasser.
4. Man vermeide die Inkorporation radioaktiver Stoffe.

Zusammenfassung: Die wichtigste Merkregel für den Strahlenschutz lautet: Abstand! Abschirmung! Kurzzeitig!