

**1. Erläuterung zu den verwendeten Begriffen**  
*(Explanation of terms used)*

**1.1 Strahlendosis und ihre Einheiten**  
*(Radiation dose and related units)*

Ionisierende Strahlung umfasst Teilchen- und Wellenstrahlung, die auf Grund ihres Energiegehalts beim Auftreffen auf Materie Elektronen aus den Atomhüllen herausschlagen kann und dadurch Ionen erzeugt. Zur quantitativen Beschreibung der Ursache einer Strahlenwirkung benutzt man den Begriff der Dosis. Da man diese Wirkung auf der atomaren, molekularen oder biologischen Ebene beschreiben kann, sind verschiedene Dosisbegriffe eingeführt worden.

Primär werden durch die Wechselwirkung von Strahlung mit Materie Ladungsträger (Ionen) erzeugt. Ein Maß für die erzeugte Ladung pro Masse ist die Ionendosis, die Einheit ist das Coulomb pro Kilogramm (C/kg). Eine alte Einheit dafür ist das Röntgen (R).

Die auf das Material übertragene Energie pro Masseneinheit wird als Energiedosis bezeichnet. Sie wird in der Einheit Gray (Gy) gemessen. 1 Gray ist die Energiedosis, die bei der Übertragung der Energie von 1 Joule auf eine Masse von 1 kg entsteht ( $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ ). Entsprechend ist die Energiedosisleistung eine Energiedosis pro Zeiteinheit und wird in Gray pro Sekunde (Gy/s) oder Gray pro Stunde (Gy/h) gemessen.

Molekulare Veränderungen durch Ionisations- und Anregungsprozesse können der Ausgangspunkt für die Entwicklung biologischer Strahlenwirkungen sein. Allerdings ist das Ausmaß einer biologischen Strahlenwirkung nicht alleine von der Energiedosis (Strahlungsenergie pro Masseneinheit) abhängig, sondern auch von der Art und Energie der Strahlung (Strahlenqualität). Dicht ionisierende Strahlung wie z. B.  $\alpha$ -Teilchen kann biologisch wesentlich wirksamer sein als locker ionisierende Strahlung (z. B.  $\gamma$ - und  $\beta$ -Strahlung). Aus diesen Gründen ist die Äquivalentdosis H eingeführt worden, die sich aus der Energiedosis D durch Multiplikation mit einem von der Strahlenqualität abhängigen Strahlungs-Wichtungsfaktor w ergibt:

$$H = w \times D$$

Der Faktor w berücksichtigt die unterschiedliche biologische Wirkung in Abhängigkeit von der Strahlenqualität. Gemäß der Strahlenschutzverordnung kann für den Bewertungsfaktor ein Wert von 1 für  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung und ein Wert von 20 für  $\alpha$ -Strahlung aus Radionukliden, jeweils bei äußerer Exposition, angenommen werden. Da der Bewertungsfaktor dimensionslos ist, wird die Äquivalentdosis wie die Energiedosis in J/kg angegeben. Die Einheit ist das Sievert (Sv). Ein Sievert entspricht einem Joule pro Kilogramm.

Im Zusammenhang mit der Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen wird der Begriff Personendosis verwendet. Unter der Personendosis versteht man die Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einer für die Strahlenexposition repräsentativen Stelle der Körperoberfläche, z. B. an der Brustvorderseite. Deshalb muss die vom Personendosimeter angezeigte Personendosis nicht mit der Körperdosis des Trägers identisch sein. Wenn der Verdacht besteht, dass Dosisgrenzwerte in einzelnen Organen oder Geweben überschritten werden, muss die Teilkörperdosis aus der Personendosis unter Berücksichtigung der Bestrahlungsumstände ermittelt werden.

Zur Charakterisierung und Quantifizierung der Strahlenexposition im komplexen Strahlungsfeld z. B. in Flugzeugen dient als Ortsdosismessgröße die sog. Umgebungs-Äquivalentdosis H (10) gemäß ICRP Publikation 60[1]. Die Umgebungs-Äquivalentdosis wird für den interessierenden Punkt im tatsächlichen Strahlungsfeld angegeben und ist definiert als Äquivalentdosis im zugehörigen ausgerichteten und aufgeweiteten Strahlungsfeld in 10 mm Tiefe in der ICRU-Kugel. Die Umgebungs-Äquivalentdosis liefert einen konservativen Schätzwert für die Körperdosis (effektive Dosis).

Zur Bewertung der Strahlenexposition der Gesamtbevölkerung oder einzelner Bevölkerungsgruppen wird als Maß der Gesamtexposition die Kollektivdosis verwendet. Die Kollektivdosis ist das Produkt aus der Anzahl der Personen der exponierten Bevölkerungsgruppe und der mittleren Pro-Kopf-Dosis. Einheit der Kollektivdosis ist das Personen-Sievert.

## 1.2 Stochastische und deterministische Strahlenwirkung (*Stochastic and deterministic radiation effects*)

Im Strahlenschutz werden stochastische und deterministische (nicht-stochastische) Wirkungen unterschieden. Stochastische Wirkungen sind solche, für die die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens eine Funktion der Dosis ohne Schwellenwert ist. Hierzu gehören genetische Effekte und die Induktion von Krebs und Leukämie. Im Strahlenschutz geht man bei den stochastischen Wirkungen von der Annahme einer Proportionalität zwischen Dosis und Wirkung aus. Bei den deterministischen Wirkungen ist die Schwere (und nicht die Wahrscheinlichkeit) des Effektes eine Funktion der Dosis, wobei ein Schwellenwert existieren kann, unterhalb dessen der betreffende Effekt nicht mehr zu beobachten ist. Zu den Effekten gehören Hautrötung, Linsenentrübung, Fertilitätsstörungen und Schäden am Gefäßsystem und am Bindegewebe.

## 1.3 Effektive Dosis (*Effective dose*)

Als "Risiko" wird im Strahlenschutz die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer stochastischen Strahlenwirkung in einem Personenkollektiv bezeichnet. Um das Strahlenrisiko bei externer oder interner Bestrahlung eines oder mehrerer Organe zu charakterisieren, hat die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) die sogenannte effektive Dosis eingeführt. Bei der effektiven Dosis wird die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit der einzelnen Organe durch unterschiedliche Organ-Wichtungsfaktoren (Tabelle 1.3-1) berücksichtigt. Die Äquivalentdosen der Organe und Gewebe eines Körpers werden gewichtet und zur effektiven Dosis aufsummiert. Die Summe aller Wichtungsfaktoren ist 1. Da sie dimensionslos sind, wird die effektive Dosis ebenfalls in Sievert angegeben. Die große Bedeutung der effektiven Dosis liegt darin, dass das Strahlenrisiko auch bei einer inhomogenen Bestrahlung einzelner Organe, z. B. nach Inkorporation von radioaktiven Stoffen, bewertet werden kann. Außerdem lassen sich die stochastischen Strahlenwirkungen durch Expositionen aus unterschiedlichen Quellen durch die Anwendung dieser im Strahlenschutz international gebräuchlichen Begriffe vergleichen.

**Tabelle 1.3-1 Gewebe-Wichtungsfaktoren  
(*Tissue weighting factors*)**

Gewebe oder Organ	Gewebe-Wichtungsfaktor
Keimdrüse	0,20
Rotes Knochenmark	0,12
Dickdarm	0,12
Lunge	0,12
Magen	0,12
Blase	0,05
Brust	0,05
Leber	0,05
Speiseröhre	0,05
Schilddrüse	0,05
Haut	0,01
Knochenoberfläche	0,01
andere Gewebe und Organe (Nebenniere, Gehirn, Dünndarm, Nieren, Muskeln, Bauchspeicheldrüse, Milz, Thymus, Gebärmutter)	0,05
Summe	1,00

Derartige Vergleiche werden in Berichten internationaler Kommissionen und internationaler Organisationen zusammengestellt, wie zum Beispiel vom Wissenschaftlichen Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung von atomarer Strahlung (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation - UNSCEAR).

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) passt in ihren Empfehlungen die Grenz- und Richtwerte dem Fortschritt der wissenschaftlichen Erkenntnisse über Strahlenwirkungen an. Zuletzt wurden 1990 in der ICRP-Publikation 60 Seite 292 neue Definitionen von Dosisgrößen publiziert. Diese Empfeh-

lungen fließen in die Rechtsetzung der Europäischen Union und der Bundesrepublik Deutschland sowie in Vorschriften und Normen ein.

### 1.4 Strahlenschutzmaßnahmen (*Radiation protection measures*)

Der Möglichkeit einer Gesundheitsgefährdung der Gesundheit von Personen durch die Wirkungen ionisierender Strahlung wird dadurch begegnet, dass beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, bei ihrer Beförderung, ihrer Einfuhr und Ausfuhr, bei der Errichtung und dem Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen Schutzmaßnahmen vorgesehen sind, die die Strahlenexposition der Bevölkerung oder einzelner Bevölkerungsgruppen auf ein Minimum reduzieren. Für die Bundesrepublik Deutschland ist nach der Strahlenschutzverordnung "jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt zu vermeiden" und "jede Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten" (§ 6 Abs. 1 und 2 der StrlSchV). Weiterhin sind höchstzulässige Dosiswerte (Dosisgrenzwerte) für die Bevölkerung und für beruflich strahlenexponierte Personen in dieser Verordnung festgelegt. § 95 regelt die Exposition durch natürlich vorkommende radioaktive Stoffe an Arbeitsplätzen und § 103 den Schutz des fliegenden Personals vor Expositionen durch kosmische Strahlung.

§ 46 der StrSchV begrenzt die Strahlenexposition der Bevölkerung wie folgt:

- Für Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis durch Strahlenexpositionen aus Tätigkeiten nach § 2 Abs. 1 Nr. 1 ein Millisievert im Kalenderjahr.
- Unbeschadet des Absatzes 1 beträgt der Grenzwert der Organdosis für die Augenlinse 15 Millisievert im Kalenderjahr und der Grenzwert der Organdosis für die Haut 50 Millisievert im Kalenderjahr.
- Bei Anlagen oder Einrichtungen gilt außerhalb des Betriebsgeländes der Grenzwert für die effektive Dosis nach Absatz 1 für die Summe der Strahlenexposition aus Direktstrahlung und der Strahlenexposition aus Ableitungen. Die für die Strahlenexposition aus Direktstrahlung maßgebenden Aufenthaltszeiten richten sich nach den räumlichen Gegebenheiten der Anlage oder Einrichtung oder des Standortes; liegen keine begründeten Angaben für die Aufenthaltszeiten vor, ist Daueraufenthalt anzunehmen.

Für die Strahlenexposition der Bevölkerung durch mit Abluft oder Abwasser emittierte radioaktive Stoffe sind in § 47, Abs. 1 Strahlenschutzverordnung Dosisgrenzwerte festgelegt:

„Für die Planung, die Errichtung und den Betrieb von Anlagen oder Einrichtungen gelten folgende Grenzwerte der durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser aus diesen Anlagen oder Einrichtungen jeweils bedingten Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung im Kalenderjahr:

1. Effektive Dosis	0,3 Millisievert
2. Organdosis für Keimdrüsen, Gebärmutter, Knochenmark (rot)	0,3 Millisievert
3. Organdosis für Dickdarm, Lunge, Magen, Blase, Brust, Leber, Speiseröhre, Schilddrüse, andere Organe oder Gewebe gemäß Anlage VI Teil C Nr. 2 Fußnote 1, soweit nicht unter Nr. 2 genannt	0,9 Millisievert
4. Organdosis für Knochenoberfläche, Haut	1,8 Millisievert

Es ist dafür zu sorgen, dass radioaktive Stoffe nicht unkontrolliert in die Umwelt abgeleitet werden.“

### Literatur

- [1] ICRP. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP 21(1-3). ICRP Publication 60, Pergamon Press Oxford.
- [2] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714), zuletzt geändert durch Art. 2 der Verordnung vom 18. Juni 2002 (BGBl. I S. 1869)