

Anlage 2

zu §§ 9 und 27 Abs. 2

Strahlungswichtungsfaktoren und Gewebewichtungsfaktoren

A. Begriffsdefinitionen

Äquivalentdosis H_T : Energiedosis im Gewebe oder Organ T , gewichtet nach Art und Qualität der Strahlung R . Sie wird ausgedrückt durch

$$H_{T,R} = w_R \cdot D_{T,R}$$

Dabei ist $D_{T,R}$ die über ein Gewebe oder ein Organ T gemittelte Energiedosis durch die Strahlung R und w_R der Strahlungs-Wichtungsfaktor.

Besteht das Strahlungsfeld aus Arten und Energien mit unterschiedlichen Werten von w_R , so gilt für die gesamte Äquivalentdosis H_T

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

Die entsprechenden Werte für w_R sind in lit. B angegeben. Die Einheit der Äquivalentdosis ist das Sievert (Sv).

Effektive Dosis E : die Summe der gewichteten Äquivalentdosen in allen in lit. D angegebenen Geweben und Organen des Körpers aus interner und externer Strahlenexposition. Sie wird definiert durch die Gleichung

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T = \sum_T w_T \cdot \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

Dabei ist $D_{T,R}$ die über ein Gewebe oder ein Organ T gemittelte Energiedosis aus der Strahlung R , w_R der Strahlungs-Wichtungsfaktor und w_T der Gewebe-Wichtungsfaktor für das Gewebe oder Organ T . Die entsprechenden Werte für w_R sind in lit. B und für w_T in lit. D angegeben. Die Einheit der effektiven Dosis ist das Sievert (Sv).

Energiedosis D : pro Masseneinheit absorbierte Energie

$$D = \frac{d\bar{E}}{dm}$$

Dabei ist $d\bar{E}$ die mittlere Energie, die durch die ionisierende Strahlung auf die Materie in einem Volumenelement übertragen wird und dm die Masse der Materie in diesem Volumenelement.

In dieser Anlage bezeichnet die Energiedosis die über ein Gewebe oder ein Organ gemittelte Dosis. Die Einheit der Energiedosis ist Gray.

Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(d)$: Äquivalentdosis an einem Punkt in einem Strahlungsfeld, die im zugehörigen aufgeweiteten und ausgerichteten Feld in der ICRU-Kugel in einer Tiefe d auf dem der Richtung des ausgerichteten Feldes entgegengerichteten Radius erzeugt würde. Die Einheit der Umgebungs-Äquivalentdosis ist das Sievert (Sv).

Richtungs-Äquivalentdosis $H'(d,\Omega)$: Äquivalentdosis an einem Punkt in einem Strahlungsfeld, die im zugehörigen aufgeweiteten Feld in der ICRU-Kugel in einer Tiefe d auf einem Radius in der festgelegten Richtung Ω erzeugt würde. Die Einheit der Richtungs-Äquivalentdosis ist das Sievert (Sv).

Aufgeweitetes Feld: ein vom aktuellen Feld abgeleitetes Feld, in dem die Fluenz und ihre Richtungs- und Energieverteilung in dem gesamten interessierenden Volumen die gleichen Werte aufweisen wie am Bezugspunkt im aktuellen Feld.

Aufgeweitetes ausgerichtetes Feld: Strahlungsfeld, in dem die Fluenz und deren Richtungs- und Energieverteilung die gleichen sind wie im aufgeweiteten Feld, wobei aber die Fluenz in eine Richtung ausgerichtet ist.

Fluenz Φ : Quotient aus dN und da ; dabei ist dN die Zahl der Teilchen, die in eine Kugel mit der Querschnittsfläche da eindringen.

$$\Phi = \frac{dN}{da}$$

Gemittelter Qualitätsfaktor (\bar{Q}): Mittelwert des Qualitätsfaktors an einem bestimmten Punkt im Gewebe, wenn die Energiedosis durch Teilchen abgegeben wird, die unterschiedliche L Werte haben. Er wird nach folgender Formel berechnet:

$$\bar{Q} = 1 / \bar{D} \int_0^{\infty} Q(L)D(L) dL$$

Dabei ist $D(L)dL$ die Energiedosis in 10 mm zwischen dem linearen Energietransfer L und $L + dL$; $Q(L)$ ist der zugehörige Qualitätsfaktor am interessierenden Punkt. Das Verhältnis $Q-L$ ist in Abschnitt C wiedergegeben.

Personendosis $H_p(d)$: die Äquivalentdosis in Weichteilgewebe in einer geeigneten Tiefe d unterhalb eines festgelegten Punkts im Körper. Die Einheit der Personendosis ist das Sievert (Sv).

Qualitätsfaktor (Q): Funktion des linearen Energieübertragungsvermögens (L), mit dessen Hilfe die Energiedosen an einem Punkt zur Berücksichtigung der Qualität der Strahlung gewichtet werden.

Strahlungs-Wichtungsfaktor (w_R): dimensionsloser Faktor, der zur Wichtung der Organdosis verwendet wird. Die entsprechenden Werte (w_R) sind in Abschnitt B wiedergegeben.

Organdosis (D_T): Quotient aus der gesamten an ein Gewebe oder Organ abgegebenen Energie und der Masse dieses Gewebes oder Organs.

Gewebe-Wichtungsfaktor (w_T): dimensionsloser Faktor, der zur Wichtung der Äquivalentdosis in einem Gewebe oder Organ (T) verwendet wird. Die entsprechenden Werte (w_T) sind in Abschnitt D wiedergegeben.

Unbeschränkte lineare Energieübertragung (L_{∞}): eine wie folgt definierte Größe:

$$L_{\infty} = \frac{dE}{dl}$$

dabei ist dE die von einem Teilchen der Energie E beim Zurücklegen einer Entfernung dl in Wasser abgegebene mittlere Energie. In dieser Verordnung wird L_{∞} durch L wiedergegeben.

ICRU-Kugel: von der Internationalen Kommission für Radiologische Einheiten und Messungen (ICRU) eingeführtes Phantom zur Nachbildung des Menschen hinsichtlich der Energieaufnahme bei ionisierenden Strahlungen; dieses besteht aus einer gewebeäquivalenten Kugel von 30 cm Durchmesser mit einer Dichte von 1 g cm^{-3} und einer Massenzusammensetzung von 76,2 % Sauerstoff, 11,1 % Kohlenstoff, 10,1 % Wasserstoff und 2,6 % Stickstoff.

B. Werte des Strahlungs-Wichtungsfaktors w_R

Die Werte des Strahlungs-Wichtungsfaktors w_R richten sich nach der Art und Qualität des externen Strahlungsfelds oder nach der Art und Qualität der von einem intern abgelagerten Radionuklid emittierten Strahlung.

Setzt sich das Strahlungsfeld aus Arten und Energien mit unterschiedlichen Werten von w_R zusammen, so ist die Energiedosis in Gruppen, jeweils mit eigenem Wert für w_R , zu unterteilen und zur gesamten Äquivalentdosis zu addieren. Alternativ kann eine stetige Energieverteilung angenommen werden, wobei jedes Element der Energiedosis zwischen E und $E+dE$ mit dem w_R -Wert aus der entsprechenden Zeile in nachstehender Tabelle multipliziert wird.

Art und Energiebereich	Strahlungs-Wichtungsfaktor w_R
Photonen, alle Energien	1
Elektronen und Myonen, alle Energien	1
Neutronen, Energie < 10 keV	5
10 keV bis 100 keV	10

> 100 keV bis 2 MeV	20
> 2 MeV bis 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protonen, außer Rückstoßprotonen, Energie > 2 MeV	5
Alphateilchen, Spaltfragmente, schwere Kerne	20

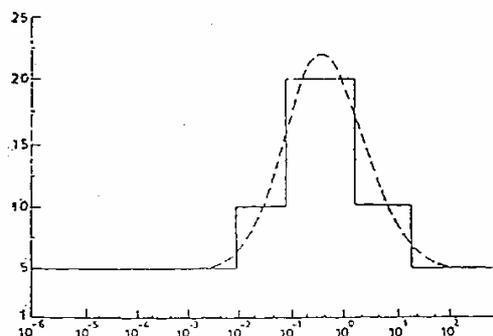
In Berechnungen mit Neutronen können Schwierigkeiten beim Einsatz der Werte aus der Stufenfunktion auftreten. In diesen Fällen kann die Benutzung einer stetigen Funktion, die auf folgender mathematischer Beziehung beruht, vorzuziehen sein:

$$w_{Neutronen}(E) = 5 + 17e^{-\frac{(\ln(2E))^2}{6}}$$

wobei E die Neutronenenergie in MeV ist.

Ein Vergleich der beiden Ansätze ist in nachstehender Abbildung wiedergegeben (Die gestrichelte Kurve ist als Näherung anzusehen):

Strahlungs-Wichtungsfaktor w_R



Neutronenenergie [MeV]

Für die nicht in der Tabelle enthaltenen Strahlungsarten und Energien kann eine Näherung von w_R durch die Berechnung des mittleren Qualitätsfaktors \bar{Q} in einer Tiefe von 10 mm in einer ICRU-Kugel ermittelt werden.

C. Verhältnis zwischen dem Qualitätsfaktor Q(L) und dem unbeschränkten linearen Energietransfer L

Unbeschränkter linearer Energietransfer L in Wasser (keV μm^{-1})	Q (L)
< 10	1
10 - 100	0,32L - 2,2
> 100	300 / \sqrt{L}

D. Werte des Gewebe-Wichtungsfaktors w_T

Die Werte wurden aus einer Bezugsbevölkerung der gleichen Anzahl beider Geschlechter und einem weiten Altersbereich ermittelt. Bei der Definition der effektiven Dosis gelten sie für die Arbeitskräfte, die Gesamtbevölkerung sowie für beide Geschlechter.

Die Werte der Gewebe-Wichtungsfaktoren w_T sind im Folgenden angegeben:

Gewebe oder Organe	Gewebe-Wichtungsfaktoren w_T
Gonaden	0,20

Knochenmark (rot)	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 Organe oder Gewebe	0,05 *)

*) Für Berechnungszwecke setzen sich die anderen Organe oder Gewebe wie folgt zusammen: Nebennieren, Gehirn, oberer Dickdarm, Dünndarm, Niere, Muskel, Bauchspeicheldrüse, Milz, Thymusdrüse und Gebärmutter. Die Liste enthält Organe, die selektiv bestrahlt sein können. Von einigen in der Liste aufgeführten Organen ist bekannt, dass sie zur Krebsinduktion neigen. Wenn bei anderen Geweben und Organen nachträglich ein signifikantes Risiko der Krebsinduktion erkannt wird, werden diese entweder mit einem spezifischen W_T versehen oder in diese zusätzliche Liste der anderen Organe oder Gewebe aufgenommen. Letztere kann auch andere selektiv bestrahlte Gewebe oder Organe enthalten.

In den außergewöhnlichen Fällen, in denen ein einziges der anderen Gewebe oder Organe eine Äquivalentdosis erhält, die über der höchsten Dosis in einem der 12 Organe liegt, für die ein Wichtungsfaktor angegeben ist, sollte ein Wichtungsfaktor von 0,025 für dieses Gewebe oder Organ und ein Wichtungsfaktor von 0,025 für die mittlere Dosis der restlichen anderen Organe oder Gewebe, wie oben aufgeführt, gelten.

E. Operationelle Größen für externe Strahlung

Operationelle Größen für externe Strahlung finden Verwendung bei der individuellen Überwachung zu Strahlenschutz Zwecken:

1. Individuelle Überwachung (Personendosimetrie):

Personendosis $H_p(d)$

d: Tiefe im Körper in mm

2. Bereichsüberwachung (Ortsdosimetrie):

Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(d)$

Richtungs-Äquivalentdosis $H'(d, \Omega)$

d: Tiefe unter der Oberfläche der Kugel gemäß A in mm

Ω : Einfallswinkel

Für durchdringende Strahlung ist von einer Tiefe von 10 mm, für Strahlung mit geringer Eindringtiefe von einer Tiefe von 0,07 mm für die Haut und 3 mm für das Auge auszugehen.

Bei allen Dosimetern, die andere als die in Punkt 1 und 2 genannten Größen anzeigen, ist das Messergebnis entsprechend dem Stand der Technik auf diese Größen umzurechnen.