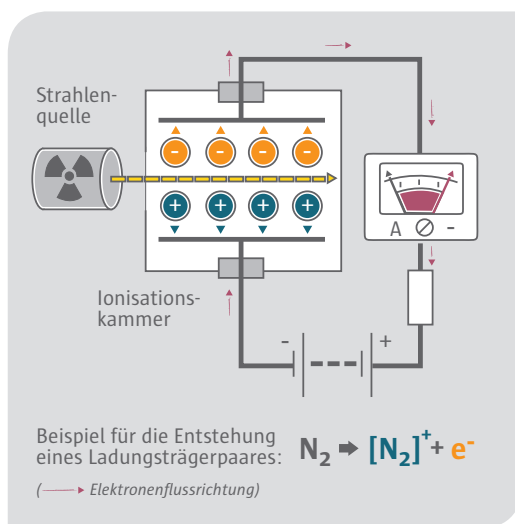


Der Mensch besitzt kein Sinnesorgan für ionisierende Strahlen. Sie lassen sich nur mit Hilfe von Messinstrumenten nachweisen. Strahlenmessungen sind nur möglich, wenn Wechselwirkungen der Strahlung mit Materie stattfinden. Erst wenn die Strahlung eine nachweisbare Verände-

rung hervorruft, kann diese erfasst werden. Der Grad der Veränderung ist dann ein Maß für die Intensität der verursachenden Strahlung. Einige besonders wichtige Messverfahren werden hier in vereinfachter Form vorgestellt.

Ionisationskammer 5.1

Eine Ionisationskammer besteht im einfachsten Fall aus einem luftgefüllten Behälter, in dem sich zwei Elektroden befinden. Sie sind über einen Strommesser mit einer Gleichspannungsquelle verbunden. Gelangt Strahlung in das Innere, werden Ionen erzeugt, und die Luft zwischen den Elektroden wird elektrisch leitend. Daraufhin kommt es zu einem Stromfluss, der durch ein Messgerät angezeigt wird (Abb. 5.01).



In der Ionisationskammer werden positives Ion und herausgelöstes Elektron zur jeweils entgegengesetzt geladenen Elektrode hin beschleunigt. Die Spannung wird so gewählt, dass einerseits Ion und Elektron nicht mehr rekombinieren (sich wieder vereinigen) können, andererseits aber die Beschleunigung zu den Elektroden nicht so stark

ist, dass durch Zusammenstöße mit Luftmolekülen weitere Ionisationen ausgelöst werden. Die Stromstärke ist dann allein der Anzahl der primär erzeugten Ionen bzw. Elektronen proportional. Die Stromstärken werden an einem Messgerät angezeigt.

Zum Nachweis von Alpha- und Betateilchen werden die Wände der Ionisationskammer aus sehr dünnem Material hergestellt, damit die Teilchen möglichst ungehindert in das Innere gelangen können. Bei Gammaquanten wählt man dagegen dickere Wände, damit die Gammaquanten aus den Atomen der Kammerwand Elektronen herauslösen, die dann in der Luft der Kammer weitere Ionisationen hervorrufen. Soll die Kammer näherungsweise den Verhältnissen in einem organischen Gewebe angepasst werden, verwendet man für den Aufbau spezielle Kunststoffe.

Die durch Strahlung erzeugten Elektronen stellen eine Ladungsmenge dar. Daraus wurde die früher benutzte Größe der Ionendosis hergeleitet. Die Ionendosis gibt die erzeugte Ladung pro Masse der durchstrahlten Luft an. Wenn in 1 kg Luft durch ionisierende Strahlen so viele Ionen bzw. freie Elektronen erzeugt werden, dass im angeschlossenen Leiterkreis 1 Sekunde lang ein Strom von 1 A fließt, beträgt die Ionendosis 1 C/kg. Das entspricht $6,25 \cdot 10^{18}$ Elektronen bzw. Ionen pro 1 kg Luft. Für die Ionendosis wurde die Einheit Röntgen R verwendet. Für Umrechnungen gilt:

$$1 R = 2,58 \cdot 10^{-4} C/kg.$$

Abb. 5.01

Prinzipieller Aufbau einer Ionisationskammer

Energiedosis 5.2

In Luft wird zur Bildung eines Ladungsträgerpaares die Energie von 34 eV benötigt. Da der Quotient 1 C/1 kg Auskunft darüber gibt, wie viele Paare erzeugt worden sind, lässt sich auch die Energie berechnen, die dafür notwendig war. Statt die erzeugte Ladung oder die erzeugten Ladungsträgerpaare anzugeben, kann man also auch die Energie betrachten, die bei der Ionisation auf die Luftmoleküle übertragen worden ist. Die von einem Stoff aufgenommene Energie kann

ebenfalls als Maß für die physikalische Strahlenwirkung verwendet werden. Dafür ist die Energiedosis definiert worden. Die Energiedosis einer ionisierenden Strahlung gibt die pro Masse eines durchstrahlten Stoffes absorbierte Energie an:

$$\text{Energiedosis} = \frac{\text{absorbierte Strahlungsenergie}}{\text{Masse}};$$

$$D = \frac{E}{m}$$

Der Quotient $1 \text{ J}/1 \text{ kg}$ wird als Einheit für die Energiedosis verwendet. Der besondere Einheitenname für die Energiedosis ist das Gray (Gy):

$$1 \text{ Gy} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ kg}}$$

Die Energiedosis wurde früher in der Einheit Rad (rd oder rad) angegeben. Das Wort Rad ergibt sich aus der englischen Bezeichnung „radiation absorbed dose“. Für Umrechnungen gilt: $1 \text{ Gy} = 100 \text{ Rad}$.

5.3 Organdosis

Mit der Energiedosis allein kann die biologische Strahlenwirkung nicht beurteilt werden. Es zeigt sich nämlich, dass bei gleichen Energiedosen, aber unterschiedlichen Strahlenarten, die hervorgerufenen Effekte unterschiedlich sein können. Wird z. B. von zwei gleichen biologischen Objekten das eine mit Alphastrahlen, das andere mit Betastrahlen bestrahlt und nehmen beide Objekte gleich viel Energie auf, so sind die durch die Alphastrahlen hervorgerufenen biologischen Strahlenwirkungen etwa 20-mal größer (Abb. 5.02). Die größere biologische Wirkung von Alphastrahlen kann durch die größere Anzahl erzeugter Ionen oder Anregungen pro Weglänge erklärt werden. Eine dichtere Ionisierung in einem kleinen Bereich ist viel schädlicher als eine gleich große Anzahl von Ionisationen, die auf einen größeren Bereich verteilt sind.

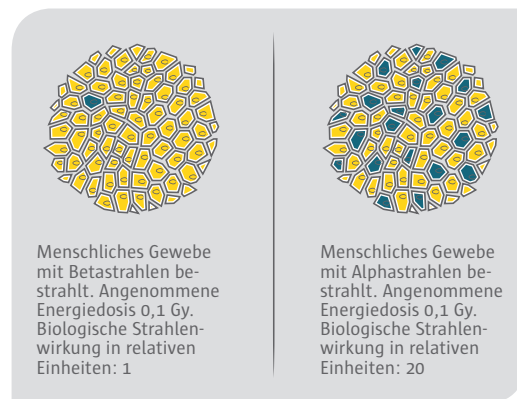
Tab. 5.01

Strahlungs-Wichtungsfaktoren nach Strahlenschutzverordnung

Abb. 5.02

Bei gleicher Energiedosis rufen Alphastrahlen eine größere biologische Wirkung hervor als Betastrahlen

 intakte Zelle
 geschädigte Zelle



Da die Strahlungs-Wichtungsfaktoren Zahlenwerte ohne Einheit sind, ergibt sich als Einheit der Organdosis der Quotient J/kg (dieselbe Einheit wie für die Energiedosis). Als besonderer Einheitenname für die Organdosis ist das Sievert (Sv) festgelegt worden.

Strahlenart und Energiebereich	Strahlungs-Wichtungsfaktor w_R
Photonen, alle Energien	1
Elektronen, Myonen, alle Energien	1
Neutronen < 10 keV 10 keV bis 100 keV > 100 keV bis 2 MeV > 2 MeV bis 20 MeV > 20 MeV	5 10 20 10 5
Protonen, außer Rückstoßprotonen, Energie > 2 MeV	5
Alphateilchen, Spaltfragmente, schwere Kerne	20

R im Index stammt von der englischen Bezeichnung radiation (Strahlung).

Zur Berücksichtigung der unterschiedlichen biologischen Wirkung der verschiedenen Strahlenarten wurde der Strahlungs-Wichtungsfaktor w_R eingeführt (Tab. 5.01). Das Produkt aus der über das Gewebe oder Organ T gemittelten Energiedosis $D_{T,R}$, die durch die Strahlung R erzeugt wird, und dem Strahlungs-Wichtungsfaktor w_R ist die Organdosis $H_{T,R}$. Besteht die Strahlung aus Arten und Energien mit unterschiedlichen Werten von w_R , so werden die einzelnen Beiträge addiert. Für die Organdosis H_T für das Gewebe oder Organ T gilt dann:

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

Für die Organdosis wurde früher die Einheit Rem (rem = röntgen equivalent man) benutzt. Für Umrechnungen gilt: $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$.

Die so definierte Organdosis und deren Angabe in der Einheit Sievert darf aufgrund der Herleitung der Strahlungs-Wichtungsfaktoren streng genommen nur für Personen und Strahlendosen bis in den Bereich von etwa 0,5 bis 1 Sv verwendet werden. Die Energiedosis mit ihrer Einheit Gray kann dagegen für jede Dosis, jedes Lebewesen und jeden Stoff genutzt werden. Bei medizinisch-therapeutischen Strahlenanwendungen erfolgt daher wegen der normalerweise sehr hohen Dosiswerte die Dosisangabe in Gray.

Gewebe oder Organe	Gewebe-Wichtungsfaktor w_T
Gonaden	0,20
Dickdarm	0,12
Knochenmark (rot)	0,12
Lunge	0,12
Magen	0,12
Blase	0,05
Brust	0,05
Leber	0,05
Schilddrüse	0,05
Speiseröhre	0,05
Haut	0,01
Knochenoberfläche	0,01
andere Organe oder Gewebe*	0,05

* Für Berechnungszwecke setzten sich „andere Organe oder Gewebe“ wie folgt zusammen: *Bauchspeicheldrüse, Dünndarm, Gebärmutter, Gehirn, Milz, Muskel, Nebennieren, Niere und Thymusdrüse*. In den außergewöhnlichen Fällen, in denen ein einziges der „anderen Organe und Gewebe“ 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 Organ oder Gewebe und ein Wichtungsfaktor von 0,025 für die mittlere Organdosis der restlichen „anderen Organe und Gewebe“ gesetzt werden.

Da die Strahlenempfindlichkeit einzelner Organe bzw. Gewebe z. T. erhebliche Unterschiede aufweist, liefern die jeweiligen Organdosen unterschiedliche Beiträge zum strahlenbedingten Gesamtrisiko, also der Wahrscheinlichkeit für das Eintreten von Krebs oder Leukämie. Zur Berechnung der effektiven Dosis E , die ein Maß für das gesamte Strahlenrisiko darstellt, wurden deshalb von der Internationalen Strahlenschutzkommission bezüglich der Strahlenspät Schäden für verschiedene Gewebe und Organe die Gewebe-Wichtungsfaktoren w_T (Tab. 5.02) eingeführt.

T im Index stammt von der englischen Bezeichnung tissue (= Gewebe)

Die effektive Dosis E ist die Summe der mit dem zugehörigen Gewebe-Wichtungsfaktor w_T multiplizierten Organdosen H_T . Dabei ist über alle in Tab. 5.02 aufgeführte Organe und Gewebe zu summieren. Die Einheit der effektiven Dosis ist ebenfalls das Sievert (Einheitenzeichen: Sv):

$$E = \sum_T w_T H_T$$

Tab. 5.02

Gewebe-Wichtungsfaktoren nach Strahlenschutzverordnung

Folgedosis 5.5

Die Bestrahlung von Gewebe oder Organen durch inkorporierte radioaktive Stoffe ist von der Verweilzeit der Radionuklide im jeweiligen Gewebe oder Organ abhängig. Diese Verweilzeit ergibt sich aus dem Zusammenwirken des radioaktiven Zerfalls einerseits und dem Ausscheiden des Stoffes aus dem Körper aufgrund der Stoffwechselvorgänge andererseits. Die Organ-Folgedosis $H_T(\tau)$ bei einer Inkorporation zum Zeitpunkt t_0 ist das Zeitintegral der Dosisleistung $\dot{H}_T(t)$ im Gewebe oder Organ T . Wird kein Integrationszeitraum τ

angegeben, ist für Erwachsene ein Zeitraum von 50 Jahren und für Kinder ein Zeitraum vom jeweiligen Alter bis zum Alter von 70 Jahren zu Grunde zu legen.

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0 + \tau} \dot{H}_T(t) dt$$