

Strahlenschutz

Dosimetrie

Radioaktive Strahlung hinterlässt Schäden im Körpergewebe. Ziel des Strahlenschutzes ist es, die Schäden auf ein verantwortbares Niveau zu beschränken.

Als quantitatives Mass für die im Körper deponierte Energiemenge wird die Energiedosis D definiert:

$$D = \frac{dE}{dm} = \frac{dE}{\rho dV}$$

wobei: E Energie
m Masse
V Volumen
 ρ Dichte

Die Energiedosis hat also die Einheit einer Energie pro Masse. Die SI-Einheit hat den Namen Gray (Gy)

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

In der älteren Literatur findet man auch noch die Einheit rad = 0,01 Gy.

Die Energiedosis ist nicht sehr einfach zu messen. Darum wurde früher auch noch ein anderes Mass für die deponierte Energie definiert, nämlich die Ionendosis J . Sie gibt an, wieviel Ladung eines Vorzeichens durch Ladungstrennungen im Material erzeugt wird. Sie hat daher die Einheit einer Ladung pro Masse. Für die SI-Einheit C/kg wurde keine Abkürzung definiert, da die Ionendosis langsam veraltet. Sie wird hier nur noch der Vollständigkeit halber erwähnt. Die ursprünglich definierte Einheit für die Ionendosis ist das Röntgen (R). Diese Dosis entsteht, wenn in einem kg Luft durch ionisierende Strahlung beliebiger Art eine Ladung von $258 \mu\text{C}$ erzeugt wird. Umgerechnet entspricht 1 R ungefähr 0,01 Gy. Die Ionendosis ist sehr leicht messbar, dafür aber vom absorbierenden Material abhängig.

Die verschiedenen Strahlenarten bewirken unterschiedliche Schäden in lebendem Gewebe. So richten α -Strahlen etwa 20 mal so viel Schaden an wie β - und γ -Strahlen bei gleicher deponierter Energie, also gleicher Energiedosis. Der Grund liegt in der extrem dichten Spur von Ionenpaaren, die von α -Teilchen hinterlassen wird. Die besonders gefährdete DNA kann dadurch mit grosser Wahrscheinlichkeit irreparabel zerstört werden, wenn sie sich in der Spur befindet. Hingegen bewirkt ein β -Teilchen oft einen lokalen Schaden an nur einem Strang der DNA, der dann durch die Reparatur-Enzyme korrigiert werden kann. Es genügt also nicht allein, die Energiedosis zu

kennen, um den angerichteten Schaden abschätzen zu können. Man definiert daher eine neue Grösse, die die unterschiedlichen Wirkungen der verschiedenen Strahlenarten angemessen berücksichtigt, nämlich die Äquivalentdosis H :

$$H = D \cdot Q$$

Der Qualitätsfaktor Q wird für β - und γ -Strahlung auf 1 normiert. In beiden Fällen sind schnelle Elektronen für den Schaden verantwortlich. Die folgende Tabelle stellt die Strahlenarten den Qualitätsfaktoren gegenüber, entsprechend der relativen Gefährlichkeit der Strahlung.

Strahlung	Q
γ	1
Röntgen	1
β^-	1
β^+	1
n	10
α	20
schwere Kerne	20

Die Äquivalentdosis wird in der Einheit Sievert (Sv) angegeben. In der älteren Literatur findet man auch noch die Einheit rem = 0,01 Sv. Die Qualitätsfaktoren sind von der Energie zum Teil stark abhängig. In der Radiochemie beschränkt man sich aber auf jene Strahlenarten, die durch radioaktive Zerfälle entstehen, im Gegensatz zur Mittel- und Hochenergiephysik, die auch Strahlenarten aus Beschleunigern und dergleichen kennen. Die Qualitätsfaktoren in obiger Tabelle sind für die Zwecke der Strahlenschutz-Sachverständigen auf dem Gebiet der Radiochemie völlig ausreichend.

Je länger man sich der Strahlung einer radioaktiven Quelle aussetzt, desto mehr Schäden akkumulieren sich. Es ist daher wichtig zu wissen, wie rasch eine Quelle die Schäden verursachen kann. Man will also wissen, wieviel Schaden pro Zeit angerichtet wird. Man definiert dazu die (Äquivalent-) Dosisleistung DL :

$$DL = \frac{dH}{dt}$$

Sie SI-Einheit der Dosisleistung ist Sv/s. Die Dosisleistung ist nicht nur abhängig von der Art der Strahlenquelle, sondern auch vom Abstand zur Quelle, deren Form, sowie Menge und Art von allenfalls vorhandenem abschirmendem Material zwischen Quelle und Gewebe. Für eine punktförmige Quelle gilt:

$$DL = \frac{k A}{r^2}$$

wobei A Aktivität
 k Dosisleistungskonstante
 r Abstand

Die Dosisleistungskonstante k ist abhängig von der Art der Strahlung, wobei die gleichen Verhältnisse wie beim Qualitätsfaktor Q zu berücksichtigen sind. Die Konstanten sind für die verschiedenen Nuklide tabelliert. Besonders wichtig in obiger Formel ist der Abstand, der im Quadrat auftaucht. Man kann sich also durch Entfernen von der Quelle sehr effizient schützen. Man lässt die gefährliche Strahlung an sich vorbeischiessen.

Nicht berücksichtigt ist die Wirkung von abschirmendem Material. Die Schwächung von Strahlung durch Absorber wurde bereits im Kapitel über Wechselwirkung von Kernstrahlung mit Materie behandelt.

Regeln beim Umgang mit ionisierender Strahlung

Verantwortungsbewusstes Arbeiten mit aktivem Material lässt sich auf wenige Prinzipien reduzieren. Die wichtigsten:

- Der Einsatz einer radiochemischen Methode muss gerechtfertigt werden. Wenn sich eine vergleichbar geeignete Methode finden lässt, die ohne aktives Material auskommt, ist sie der radiochemischen vorzuziehen.
- **ALARA: as low as reasonably achievable**
 Die Bestrahlung von Personal soll so klein sein, wie es sich vernünftigerweise realisieren lässt. Das scheint trivial zu sein und ist es auch. Man soll sich nur konsequent daran halten. Es geht also nicht allein darum, die gesetzlichen Bestimmungen über Maximaldosen und dergleichen einzuhalten, sondern für den Strahlenschutz so viel Aufwand zu betreiben, dass ein weiterer Ausbau des Schutzes als unverhältnismässig erscheint.

Konkret schützt man sich gegen radioaktive Strahlung durch fünf **A**:

Aktivität klein
 Abstand
 Abschirmung
 Aufenthaltszeit kurz
 Atemschutz

Aktivität klein

Je höher man die Aktivität für ein Experiment wählt, desto empfindlicher ist im Allgemeinen die Methode. Das spart Messzeit und erhöht die Präzision der Resultate. Zugleich muss man aber auch eine höhere Strahlenbelastung oder verstärkte Schutzmassnahmen in Kauf nehmen. Die Entsorgung des aktiven Materials kann bei hoher Aktivität zusätzliche Kosten verursachen und die Umwelt belasten. Es ist ein Kompromiss zu finden zwischen den beiden Ansprüchen.

Entscheidend für das Funktionieren der Messtechnik ist fast immer die benötigte Aktivität, nicht die Menge aktives Material. Wenn man das Nuklid wählen kann, ist eine Halbwertszeit im Bereich von Tagen bis Wochen ideal. Man kann das Nuklid transportieren und im Labor verarbeiten, ohne übermässige Verluste in Kauf nehmen zu müssen. Nach dem Experiment kann man das aktive Material inert absehbarer Frist abklingen lassen, ohne radioaktiven Abfall zu produzieren. Dazu ist meist eine Wartezeit von etwa 10 Halbwertszeiten nötig. Innert dieser Zeit klingt das Material auf ein Tausendstel der ursprünglichen Aktivität ab. Bei den gängigsten radiochemischen Methoden hat man nach dieser Zeit die gesetzliche Freigrenze für Aktivität erreicht. Das Material gilt also von Gesetzes wegen als inaktiv und kann entsprechend problemlos entsorgt werden.

Schutzmassnahmen kosten Geld, Zeit, Platz, Material und Personal. Man kann sie mit möglichst kleiner Aktivität minimieren.

Abstand

Durch Entfernen von der Quelle kann man die akkumulierte Dosis vermindern. Diese Massnahme ist vor allem bei der sehr durchdringenden γ -Strahlung wichtig. Das Abstandsgesetz besagt, dass bei doppeltem Abstand von einer Punktquelle die Dosis auf einen Viertel reduziert wird. Bei β -Strahlung kann Abstand ebenfalls zu einer Verringerung der Dosis führen. Für harte β -Strahler wie ^{32}P gilt im Bereich von Metern und weniger das gleiche Abstandsgesetz wie bei γ -Strahlung. Bei grösseren Abständen wird die β -Strahlung in Luft vollständig absorbiert. Letzteres gilt schon bei kleinen Abständen für weiche β -Strahler wie ^{14}C und insbesondere ^3H , dessen Reichweite in Luft nur wenige Zentimeter beträgt. Aus dem gleichen Grund ist die Abschirmung von α -Strahlen meist sinnlos, da sie in Luft eine Reichweite von höchstens 10 cm haben.

Abschirmung

α -Strahlen werden schon in der obersten, toten Hornschicht der Haut vollständig absorbiert. Daher hat eine Abschirmung aus Gründen des Strahlenschutzes keinen Sinn. Das gleiche gilt für sehr weiche β -Strahlen. Schützt man sich zusätzlich durch Gummihandschuhe, werden auch etwas härtere β -Strahlen, wie jene von ^{14}C , vollständig absorbiert. Die β -Strahlen aus den für die Radiochemie häufig gebrauchten Nukliden

können durch eine Schicht von höchstens 1 cm Plexiglas vollständig absorbiert werden. Für den Strahlenschutz problematisch sind die mit Materie wenig wechselwirkenden γ - und Röntgenstrahlen, deren Abschirmung massive Mengen an Blei erfordern kann. Im Gegensatz zu der Partikelstrahlung kann die Photonenstrahlung nur geschwächt, aber nicht vollständig absorbiert werden.

Bei der Wechselwirkung von β -Strahlen mit Materie entsteht vergleichsweise schwer zu absorbierende Bremsstrahlung, also Röntgenstrahlung. Deren Intensität hängt stark von der Ordnungszahl des Abschirmmaterials ab. β -Strahlen absorbiert man sinnvollerweise nicht mit Blei oder anderen schweren Elementen, sondern durch Kunststoffe, Wasser, Glas und ähnliche Materialien. Der Gebrauch von dünnen Bleifolien zur Abschirmung von β -Strahlen ist ein Unfug. Man wandelt einen grossen Anteil der β -Energie in Röntgenstrahlung um, die durch eine dünne Bleifolie kaum abgeschirmt wird. Das vermeintliche Abschirmmaterial arbeitet dann als Generator für Photonenstrahlung.

Aufenthaltszeit kurz

Eine kurze Aufenthaltszeit im Bereich des strahlenexponierten Bereiches ist letztlich das Gleiche wie das Einhalten eines grossen Abstandes oder das Vermehren des abschirmenden Materials. Man treibt diese Massnahmen einfach zum Exzess. Radioaktive Strahlung ist heimtückisch, weil Lebewesen keine Sinnesorgane dafür besitzen. Man vergisst leicht die Gegenwart einer Strahlungsquelle. Der Zutritt zu einem radiochemischen Labor ist daher auf Personen zu beschränken, die sich einer möglichen Gefahr zu jedem Zeitpunkt bewusst sind.

Atemschutz

Offene Quellen flüchtiger Nuklide sind besonders gefährlich, da sie unkontrolliert die Gegend des Strahlungsbereichs verlassen können. Als "flüchtig" in diesem Sinn haben vor allem Nuklide zu gelten, die in eine chemische Substanz mit hohem Dampfdruck eingebaut werden. Besonders wichtige Beispiele sind die aktiven Iod-Nuklide, speziell ^{131}I und ^{125}I . Elementares Iod ist flüchtig und kann leicht den Ort der Entstehung verlassen, was zu einer Kontamination der Umgebung führt.

Ebenfalls gefährlich sind alle α -Strahler, da die Tochterkerne aufgrund der Erhaltungssätze der Energie und des Impulses einen erheblichen Rückstoss erfahren. Die Töchter eines α -Strahlers sind oft ebenfalls kurzlebige Radionuklide, oft auch α -Strahler. Sie können sich an Staubpartikeln in der Umgebung anlagern und in die Lunge geraten, wo sie erheblichen Schaden anrichten.

Vor flüchtigen Nukliden aus offenen Quellen schützt man sich allenfalls durch einen Atemschutz. Diese Massnahme ist unumgänglich für die Feuerwehr, wenn radioaktive Quellen irgendeiner Art im Brandherd vermutet werden.