

# Radioaktive Strahlung

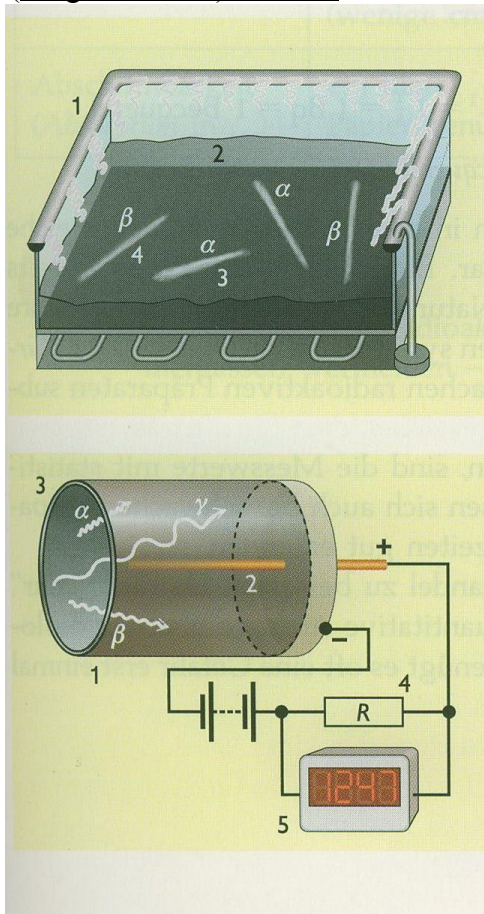
Im Abschnitt „Kernzerfälle“ wurden bereits die häufigsten Arten von radioaktiver Strahlung erwähnt:  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung ( $^4\text{He}$ -Atomkerne, (sehr schnelle) Elektronen und sehr energiereiche elektromagnetische Strahlung). Die drei Strahlungsarten können durch ihre Reichweite und ihr Durchdringungsvermögen leicht unterschieden werden; **Rutherford** u. a. stellten durch Experimente fest

- $\alpha$ -Strahlung hat in Luft nur eine geringe Reichweite (wenige cm) und wird schon von einem Blatt Papier praktisch vollständig abgeblockt
- $\beta$ -Strahlung hat in Luft eine typische Reichweite von einigen dm (je nach Energie); zum Abblocken braucht man ein Metallblech
- $\gamma$ -Strahlung hat in Luft eine Reichweite von mindestens einigen m; zum Abblocken braucht man dicke Schichten von Blei oder Beton. Die Intensität nimmt hier im Gegensatz zur  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung exponentiell ab, wird also im Prinzip nie gleich Null. In Luft wird die Strahlung nur sehr schwach absorbiert, die Intensität nimmt also in Luft fast nur dadurch ab, dass sich die Strahlung auf einen immer größeren Bereich verteilt. Deshalb ist die Intensität in Luft proportional zu  $1/(\text{Abstand})^2$ .

Die Erklärung dafür ist einfach: Die Teilchen der Strahlung haben alle in etwa dieselbe Energie, da sie ja alle bei Kernzerfällen entstehen.  $\alpha$ -Teilchen sind aber viel schwerer als  $\beta$ -Teilchen (ca. 8000mal!); bei vergleichbarer Energie haben sie also eine viel geringere Geschwindigkeit, können also viel leichter abgebremst werden (durch Stöße mit Luft- oder anderen Molekülen).  $\gamma$ -Strahlung besteht dagegen aus sehr energiereichen Photonen („Licht-Teilchen“), die durch Materie kaum aufgehalten werden

## physikalische Wirkungen und Nachweis:

Wenn radioaktive Strahlung mit Materie in Kontakt kommt, so führt dies eigentlich immer dazu, dass die Teilchen der Materie ionisiert werden (die Energie der Strahlungs-Teilchen ist weit größer als die Energie, die nötig ist, um ein Elektron von einem Atom oder Molekül abzulösen – etwa um einen Faktor 100 000 bis 1 Million größer!) Der Nachweis von radioaktiver Strahlung beruht deshalb fast ausschließlich auf dieser ionisierenden Wirkung; zwei übliche Nachweisgeräte sind die Nebelkammer und das (Geiger-Müller-)Zählrohr:



**Nebelkammer:** In einem durchsichtigen Kasten verdunstet aus einer Rinne (1) eine Alkohollösung. Die schweren Moleküle sinken auf den gekühlten Boden und bilden dort mit der feuchten Luft ein „übersättigtes Gasmisch“ (2).

Die radioaktiven Strahlen stoßen längs ihrer Flugbahn auf Gasmoleküle und bilden Ionen und freie Elektronen. Daran lagern sich Wassermoleküle an, es bilden sich „Kondenslinien“.  $\alpha$ -Strahlen ergeben kurze, dicke Linien (3), da sie sehr stark ionisieren.  $\beta$ -Strahlen ergeben lange, dünne Linien (4), da sie schwächer ionisieren.  $\gamma$ -Strahlen ionisieren Luft so wenig, dass ihre Nebellinien nicht erkennbar sind.

**Zählrohr:** Ein Metallrohr (1) und ein davon isolierter Draht (2) sind an eine hohe Gleichspannung angeschlossen. Im Innern befindet sich ein stark verdünntes Gas. Das hauchdünne Glimmerfenster links (3) lässt  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung durch.

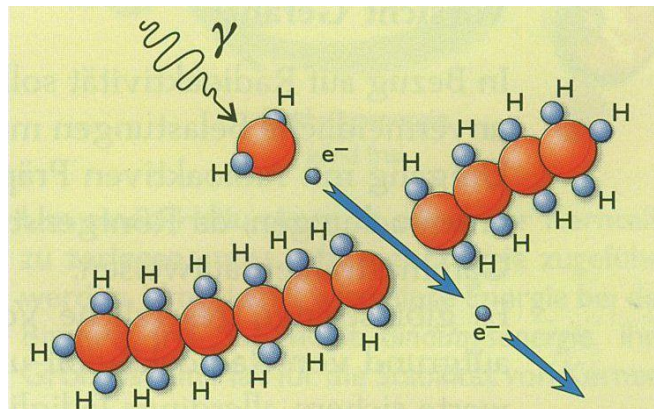
Die radioaktiven Strahlen ionisieren das Gas im Metallrohr. Die positiven Gasionen werden vom negativ geladenen Rohr angezogen. Die Elektronen werden so stark zum positiv geladenen Draht beschleunigt, dass sie dabei viele weitere Gasatome ionisieren. Es entsteht eine Elektronenlawine, die einen kurzen Stromimpuls über den eingebauten Widerstand (4) verursacht. Der Zähler (5) registriert während einer Messperiode die Anzahl der Stromimpulse (Zählrate).

Andere Möglichkeiten sind z. B.

- die Schwärzung von Fotoplatten durch radioaktive Strahlen (so wurden diese ja durch Becquerel ursprünglich entdeckt!); dies wird bei vielen technischen Aufzeichnungsgeräten (*Filmdosimeter*) ausgenutzt
- die Entladung eines Kondensators oder eines Elektroskops, die dadurch möglich wird, dass durch die Ionisierung die Luft elektrisch leitfähig wird; eine technische Anwendung davon ist die sogenannte *Ionisationskammer* (letztlich sehr ähnliches Prinzip wie das Zählrohr)

#### biologische Wirkungen und Strahlenschutz:

Auch die (schädigende) Wirkung von radioaktiver Strahlung auf Lebewesen beruht praktisch ausschließlich auf ihrer ionisierenden Wirkung: werden durch die Strahlung Elektronen aus Molekülen in den Zellen heraus geschlagen, so sind diese Moleküle danach chemisch meist sehr reaktiv („freie Radikale“) und können dadurch wiederum andere Moleküle der Zelle schädigen. Auch die heraus geschlagenen Elektronen selbst sind sehr energiereich und können ihrerseits wieder andere Moleküle zerstören.



Besonders stark betroffen ist (wegen seiner Größe) oft der Zellkern, der die Erbinformationen in Form der DNS enthält. Sind die Zellen nur leicht geschädigt, können sie oft noch vom Körper selbst repariert werden; stark geschädigte Zellen werden dagegen meist vom Immunsystem zerstört.

Bekommt der Körper aber sehr viel Strahlung ab, so treten in verschiedenen Körperbereichen in kurzer Zeit sehr viele defekte Zellen auf, und das körpereigene Abwehr- und Reparatursystem wird überlastet. Dann treten *Strahlenschäden* (Wunden ähnlich wie Verbrennungen, Haarausfall, Geschwüre, Tumore, ...) am Körper auf. Werden insbesondere die Keimzellen geschädigt, so können sich die Strahlenschäden auch noch bei den Nachkommen auswirken.

Bei der biologischen Wirkung von  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung ist im Allgemeinen zu unterscheiden zwischen Strahlung, die von außen kommt, und solcher, die von in den Körper gelangten Stoffen ausgeht. Die Strahlung von außen ist für den Körper meist nicht besonders gefährlich, da sie nicht besonders tief eindringen kann ( $\alpha$ -Strahlung betrifft praktisch nur die oberste Hautschicht, die sowieso aus abgestorbenen Zellen besteht;  $\beta$ -Strahlung kann allerdings in größeren Mengen zu Verbrennungen der Haut und sogar Hautkrebs führen). Radioaktiver Strahlung von außen sind wir praktisch ständig ausgesetzt: der Erdboden enthält radioaktive Stoffe (so finden sich beispielsweise in Granit kleine Mengen an Uran, und das bei Zerfällen entstehende Radon-Gas kann sich in der Raumluft ansammeln), und aus dem Weltraum erreicht uns die *kosmische Strahlung*.

Werden dagegen radioaktive Stoffe in den Körper aufgenommen („inkorporiert“), beispielsweise durch Einatmen (Radon-Gas, siehe oben!) oder die Nahrung, so gelangt die Strahlung auch an Zellen im Körperinneren und schädigt diese. Beispielsweise enthält unsere Nahrung Kalium, und ein Teil des natürlich vorkommenden Kaliums liegt als radioaktives Isotop K40 vor.

$\gamma$ -Strahlung und Neutronenstrahlung sind immer für den ganzen Körper schädlich, da beide tief in den Körper eindringen können. Dies gilt beispielsweise auch für die Röntgenstrahlung, die physikalisch sehr



ähnlich zur  $\gamma$ -Strahlung ist, nur weniger Energie hat; trotzdem kann auch diese in größeren Mengen schädlich sein. Neutronenstrahlung ist auch deshalb besonders gefährlich, weil die Neutronen im Körper mit Atomkernen reagieren können, wobei einerseits direkt  $\gamma$ -Strahlung oder energiereiche geladene Teilchen, andererseits aber auch radioaktiv strahlenden Nuklide direkt im Körperinneren entstehen.

Der Schutz vor radioaktiver Strahlung kann mit vier Schlagworten leicht zusammen gefasst werden:  
 vermeiden – Abstand halten – kurzzeitig – abschirmen

Dosimetrie:

Wie gerade besprochen, ist für die Wirkung radioaktiver Strahlung die Art der Strahlung sehr wichtig. Außerdem kommt es auf die Energie der Strahlung an und darauf, von welcher Menge (Masse) an Gewebe sie aufgenommen wird (und außerdem ist im Allgemeinen noch zu berücksichtigen, dass verschiedene Körperteile unterschiedlich empfindlich reagieren).

Um zunächst die Masse zu berücksichtigen, benutzt man die sogenannte *Energiedosis* D; sie ist der Quotient aus aufgenommener Strahlungsenergie E und der bestrahlten Masse m:

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

Gemessen wird sie in der Einheit  $1 \frac{J}{kg} = 1 \text{ Gy}$  (nach dem britischen Physiker **Louis Harald Gray**, der sich erstmals genauer mit der Wirkung radioaktiver Strahlung auf biologische Systeme befasste). Die unterschiedliche Wirksamkeit der verschiedenen Strahlungsarten wird durch den sog. *Qualitätsfaktor* q (einheitenlos) berücksichtigt:

Strahlenart	q
$\beta, \gamma, \text{ Röntgen}$	1
n, p	10
$\alpha, \text{ schwere Kerne}$	20

Unter der *Äquivalentdosis* H einer Strahlung versteht man dann schließlich das Produkt aus q und D:

$$H = q \cdot D$$

Die Einheit ist wieder  $1 \frac{J}{kg}$ , nun aber als 1 Sv bezeichnet (nach dem Mediziner und Physiker **Rolf Maximilian Sievert**, der sich stark um die Einführung und Weiterentwicklung von Strahlenschutzmaßnahmen bemühte).

Typische Werte sind in der folgenden Tabelle zusammen gefasst:

Beispiele für Strahlenbelastungen und Grenzwerte:	
10 Stunden Flug in 10 km Höhe (Mittelwert)	0,03 mSv
Gesetzlicher Grenzwert für jährliche Strahlenbelastung außerhalb von Kernkraftwerken	0,3 mSv
Mittlere jährliche Strahlenbelastung wegen medizinischer Maßnahmen	1,5 mSv
Mittlere jährliche Strahlenbelastung durch die natürliche Strahlung	2,4 mSv
Gesetzlicher Grenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen (pro Jahr)	50 mSv
Vorübergehende Strahlenkrankheit (Kurzzeitbelastung)	1 Sv
Schwere Strahlenkrankheit (Kurzzeitbelastung)	3 Sv
Tödliche Strahlendosis (Ganzkörper)	5 Sv
Krebsbehandlung (lokal konzentriert)	30–50 Sv

*Anmerkung:* Bis 1978 wurden für die Energiedosis die Einheit 1 Rad („radiation absorbed dose“; 1 rd = 0,01 Gy) und für die Äquivalentdosis die Einheit 1 Rem („roentgen equivalent in man“; 1 rem = 0,01 Sv) verwendet.