

Begriffe und Benennungen in der radiologischen Technik

Radioaktivität

DIN
6814
Teil 4

Terms and definitions in the field of radiological technique; radioactivity

Ersatz für Ausgabe 03.80

Aufgestellt vom Normenausschuß Radiologie (NAR) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. in Arbeitsgemeinschaft mit der Deutschen Röntgengesellschaft.

Inhalt

	Seite		Seite
1 Nuklide und ihre Symbole	1	5 Aktivität, spezifische Aktivität und Aktivitätskonzentration	3
1.1 Nuklid	1	5.1 Aktivität	3
1.2 Symbole für Nuklide	1	5.2 Spezifische Aktivität	4
2 Kernprozesse	2	5.3 Aktivitätskonzentration	4
2.1 Kernumwandlungen	2	6 Charakteristische Konstanten von Radionukliden	4
2.2 Isomerer Übergang	2	6.1 Zerfallskonstante	4
2.3 Radioaktivität	2	6.2 Mittlere Lebensdauer	4
3 Radioaktiver Stoff	2	6.3 Halbwertszeit	4
3.1 Radioaktive Stoffe	2	6.4 Dosisleistungskonstante	4
3.2 Natürlich radioaktive Stoffe	2	6.5 Konversionskoeffizient	5
3.3 Umschlossene radioaktive Stoffe	3	6.6 Emissionswahrscheinlichkeit	5
3.4 Offene radioaktive Stoffe	3	7 Zerfallsreihe	5
4 Strahlung radioaktiver Stoffe	3	7.1 Radioaktive Zerfallsreihe	5
4.1 Alphastrahlung	3	7.2 Radioaktives Gleichgewicht	6
4.2 Betastrahlung	3	8 Nuklide mit besonderen Namen und Symbolen	6
4.3 K-Strahlung	3	8.1 Wasserstoff-Isotope	6
4.4 Gammastrahlung	3	8.2 Nuklide der natürlichen Zerfallsreihen	6
4.5 Konversionselektronen	3	Stichwortverzeichnis	7
4.6 Vernichtungsstrahlung	3		
4.7 Neutronenstrahlung	3		

1 Nuklide und ihre Symbole

1.1 Nuklid

Ein **Nuklid** ist eine Atomart mit einer bestimmten Protonenzahl Z und Neutronenzahl N des Atomkerns.

Anmerkung: Atome mit derselben Protonenzahl Z und derselben Neutronenzahl N , deren Kerne sich in verschiedenen Energiezuständen befinden, gehören zu demselben Nuklid.

1.1.1 Isomere eines Nuklids sind Atomarten desselben Nuklids, deren Kerne sich in verschiedenen Energiezuständen befinden (metastabile Energiezustände oder Grundzustand).

Anmerkung 1: Ein Kernzustand wird als metastabil bezeichnet, wenn seine Lebensdauer merklich größer ist als die mittlere Lebensdauer normaler angeregter Zustände. Eine allgemein verbindliche Grenze der Lebensdauer, bei deren Überschreiten ein Zustand als metastabil bezeichnet wird, läßt sich nicht angeben; für den praktischen Umgang mit radioaktiven Stoffen sind nur diejenigen metastabilen Energiezustände von Bedeutung, deren Lebensdauer so groß ist, daß das Isomer als radioaktiver Stoff mit eigener Halbwertszeit in Erscheinung tritt.

Anmerkung 2: Häufig wird der Begriff **Isomer** in der eingeschränkten Bedeutung eines Isomers zum Grundzustand angewendet und erfaßt damit nur die Isomere in metastabilen Zuständen.

1.1.2 Radionuklid ist ein im Grundzustand radioaktives Nuklid oder ein Nuklid in einem metastabilen Zustand.

Anmerkung: In der Natur vorkommende Radionuklide werden zuweilen als „natürliche Radionuklide“ bezeichnet im Gegensatz zu „künstlichen Radionukliden“, die vom Menschen durch Kernreaktionen erzeugt worden sind. Fast alle in der Natur vorkommenden Radionuklide können aber auch künstlich durch Kernreaktionen erzeugt werden.

Die wichtigsten in der Natur vorkommenden Radionuklide sind die Glieder der drei großen Zerfallsreihen (siehe Abschnitt 8.2), das im natürlichen Kalium enthaltene ^{40}K sowie die durch die kosmische Strahlung erzeugten Radionuklide ^3H und ^{14}C .

1.1.3 Isotope sind Nuklide mit derselben Protonenzahl Z , aber unterschiedlicher Neutronenzahl N .

1.1.4 Radioisotop ist ein radioaktives Isotop eines Elements.

Fortsetzung Seite 2 bis 7

Normenausschuß Radiologie (NAR) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
Normenausschuß Kerntechnik (NKe) im DIN
Normenausschuß Materialprüfung (NMP) im DIN

Anmerkung: Die allgemeine Benennung für eine radioaktive Atomart ist „Radionuklid“. Der Ausdruck „Radioisotop“ sollte nur angewendet werden, wenn außer der Eigenschaft der Radioaktivität die Zugehörigkeit zu einem bestimmten chemischen Element von Bedeutung ist, wie z. B. bei der radioaktiven Markierung eines Elements. Ein Radionuklid sollte nicht allgemein Isotop genannt werden, da der Begriff Isotop mit der Eigenschaft der Radioaktivität nichts zu tun hat.

1.2 Symbole für Nuklide

Ein Nuklid ist durch das chemische Elementsymbol und die Nukleonenzahl (= Summe aus Protonen- und Neutronenzahl = Massenzahl) eindeutig gekennzeichnet. Die Nukleonenzahl wird dabei links oben neben das Elementsymbol gesetzt (z. B. ^{12}C , ^{24}Na). Die Protonenzahl (= Ordnungszahl) kann zusätzlich links unten angegeben werden (z. B. $^{12}_{11}\text{C}$, $^{24}_{11}\text{Na}$).

Der Platz rechts oben sollte der Kennzeichnung von Ionisations- oder Anregungszuständen der Atomhülle oder von Anregungszuständen des Atomkerns vorbehalten bleiben. Metastabile Zustände werden durch den Kleinbuchstaben m gekennzeichnet (z. B. $^{110}\text{Ag}^{\text{m}}$).

Bei zeilengleicher Schreibweise (z. B. Computerausdruck) wird die Nukleonenzahl mit einem Bindestrich verbunden hinter das Elementsymbol gesetzt (z. B. C-12); bei metastabilen Zuständen steht der Kleinbuchstabe m ohne Zwischenraum hinter der Nukleonenzahl (z. B. Ag110m).

2 Kernprozesse

Kernprozesse sind Kernumwandlungen und isomere Übergänge.

2.1 Kernumwandlungen

Kernumwandlungen sind spontan erfolgende oder durch äußere Einwirkungen ausgelöste Umwandlungen von Atomkernen in Kerne anderer Nuklide.

2.1.1 Kernreaktionen sind Kernumwandlungen, die durch äußere Einwirkungen, z. B. durch das Auftreffen von Photonen, Elektronen, Protonen, Neutronen oder anderen Teilchen ausgelöst werden.

2.1.2 Radioaktive Umwandlungen sind spontane Kernumwandlungen, d. h. Umwandlungen ohne äußere Einwirkung.

2.1.2.1 Alphazerfall ist eine radioaktive Umwandlung unter Emission eines **Alphateilchens**, d. h. eines ^4He -Kerns.

Anmerkung: Beim Alphazerfall vermindert sich die Protonenzahl um 2 und die Nukleonenzahl um 4.

2.1.2.2 Betazerfall ist eine radioaktive Umwandlung unter Emission eines **Betateilchens**, d. h. eines negativ geladenen Elektrons (β^- -Zerfall) oder eines positiv geladenen Elektrons (β^+ -Zerfall).

Anmerkung: Bei der Emission eines negativ geladenen Elektrons wandelt sich im Atomkern ein Neutron unter gleichzeitigem Aussenden eines Antineutrinos in ein Proton um, so daß sich die Protonenzahl um 1 erhöht. Bei der Emission eines positiv geladenen Elektrons (Positrons) wandelt sich im Kern ein Proton unter gleichzeitiger Aussendung eines Neutrinos in ein Neutron um, die Protonenzahl wird dabei um 1 erniedrigt. Die Nukleonenzahl ändert sich beim Betazerfall nicht. Neutrinos und Antineutrinos sind neutrale Teilchen mit der Ruhmasse 0, die nur eine geringe Wechselwirkung mit Materie zeigen.

2.1.2.3 Elektroneneinfang ist eine radioaktive Umwandlung durch Einfang eines Elektrons aus einer der inneren Schalen der Atomhülle in den Kern.

Anmerkung 1: Vorwiegend werden Elektronen aus der K-Schale eingefangen (**K-Einfang**). Da beim Auffüllen der Atomhülle charakteristische Röntgenstrahlung (meist K-Strahlung) des Folgenuklids emittiert wird (siehe Abschnitt 4.3), nennt man Radionuklide, die sich durch K-Einfang umwandeln, auch „**K-Strahler**“.

Anmerkung 2: Beim Elektroneneinfang wird ebenso wie beim β^+ -Zerfall ein Proton in ein Neutron umgewandelt und gleichzeitig ein Neutrino emittiert, wobei sich die Protonenzahl um 1 erniedrigt, während die Nukleonenzahl erhalten bleibt. Bei einigen Radionukliden treten β^+ -Zerfall und Elektroneneinfang konkurrierend miteinander auf.

2.1.2.4 Spontanspaltung ist eine bei schweren Kernen auftretende radioaktive Umwandlung, bei der der Kern in zwei instabile Kerne aufspaltet, wobei zusätzlich ein oder mehrere Neutronen emittiert werden.

2.2 Isomerer Übergang (innerer Übergang)

Isomerer Übergang ist der Übergang aus einem metastabilen Kernzustand (siehe Abschnitt 1.1.1) in einen energetisch tieferen Zustand, meist den Grundzustand (siehe auch Abschnitt 4.5).

2.3 Radioaktivität

Radioaktivität ist die Eigenschaft bestimmter Nuklide, spontan Teilchen- oder Gammastrahlung aus dem Atomkern zu emittieren oder nach Einfang eines Hüllenelektrons durch den Kern Röntgenstrahlung aus der Hülle zu emittieren.

Anmerkung: Die Radioaktivität umfaßt alle spontan verlaufenden Kernprozesse, d. h. radioaktive Umwandlungen (siehe Abschnitt 2.1.2) und isomere Übergänge (siehe Abschnitt 2.2).

3 Radioaktiver Stoff

3.1 Radioaktive Stoffe sind Stoffe, die Radionuklide enthalten.

Anmerkung 1: Praktisch alle Stoffe enthalten Radionuklide, wenn auch meist nur in sehr geringer Aktivitätskonzentration. Die Strahlenschutzverordnung legt Freigrenzen der Aktivitätskonzentration für einen genehmigungsfreien Umgang mit radioaktiven Stoffen fest.

Anmerkung 2: In derselben Bedeutung wie radioaktiver Stoff werden oft auch die Begriffe **radioaktives Material**, **radioaktive Substanz**, **radioaktives Präparat**, **radioaktiver Strahler** oder **radioaktive Quelle** angewendet.

3.2 Natürlich radioaktive Stoffe sind Stoffe, die überwiegend natürliche Radionuklide enthalten, d. h. bei denen die Aktivitätskonzentration an künstlichen Radionukliden sehr klein ist im Vergleich zur Aktivitätskonzentration an natürlichen Radionukliden.

Anmerkung: Unter **natürlichem Uran**, **natürlichem Thorium**, **natürlichem Kalium** usw. versteht man Uran, Thorium, Kalium usw. mit der in der Natur vorkommenden Isotopenzusammensetzung des betreffenden Elements (bei natürlichem Thorium ohne das in uranhaltigen Erzen vorhandene ^{230}Th).

Im Zusammenhang mit dem Strahlenschutz werden Uran und Thorium noch als natürliches Uran und natürliches Thorium bezeichnet, wenn sich ihre kurzlebigen Folgeprodukte nachgebildet haben. Uranminerale, die auch die langlebigen Folgeprodukte ^{230}Th und ^{226}Ra enthalten, sind dagegen kein natürliches Uran.

3.3 Umschlossene radioaktive Stoffe sind radioaktive Stoffe, die ständig von einer allseitig dichten, festen, inaktiven Hülle umschlossen oder in festen, inaktiven Stoffen ständig so eingebettet sind, daß bei üblicher betriebsmäßiger Beanspruchung ein Austritt radioaktiver Stoffe mit Sicherheit verhindert wird; eine Abmessung muß mindestens 2 mm betragen.

3.4 Offene radioaktive Stoffe sind radioaktive Stoffe, bei denen die Bedingungen für umschlossene radioaktive Stoffe nicht erfüllt sind.

4 Strahlung radioaktiver Stoffe

Die von radioaktiven Stoffen ausgesandte Strahlung wird gelegentlich auch als „radioaktive Strahlung“ bezeichnet. Dieser Ausdruck sollte wegen seiner Unkorrektheit und wegen der Möglichkeit der Fehlinterpretation (im Sinne einer Radioaktivität der ausgesandten Teilchen) vermieden werden.

4.1 Alphastrahlung

Alphastrahlung ist eine Strahlung, die aus energiereichen ^4He -Kernen besteht, welche beim Alphazerfall (siehe Abschnitt 2.1.2.1) vom Atomkern emittiert werden. Alphateilchen besitzen diskrete Anfangsenergien (Linienspektrum), die für das emittierende Nuklid charakteristisch sind.

4.2 Betastrahlung

Betastrahlung ist eine Strahlung, die aus negativen oder positiven Elektronen besteht, welche beim Betazerfall (siehe Abschnitt 2.1.2.2) vom Atomkern emittiert werden.

Anmerkung: Da die Zerfallsenergie bzw. bei nachfolgendem Gammaübergang der um die Photonenenergie verminderte Anteil statistisch auf Betateilchen, Neutrino (bzw. Antineutrino) und Kern verteilt wird, ist das Energiespektrum der Betastrahlung ein kontinuierliches Spektrum, das sich von der Energie Null bis zu einer für das betreffende Radionuklid charakteristischen Maximalenergie erstreckt. Bei komplexem Zerfallsschema ergibt sich eine Überlagerung mehrerer kontinuierlicher Spektren.

4.3 K-Strahlung

K-Strahlung ist die charakteristische Röntgenstrahlung (Photonenstrahlung), die beim Wiederauffüllen der K-Schale, z. B. nach einem K-Einfang (siehe Abschnitt 2.1.2.3) oder einer inneren Konversion an der K-Schale (siehe Abschnitt 4.5) ausgesandt wird.

Anmerkung: Die Wiederauffüllung einer inneren Schale kann auch strahlungslos verlaufen; die frei werdende Energie wird in diesem Fall auf ein Elektron einer weiter außen liegenden Schale übertragen, das die Atomhülle verläßt („Auger-Effekt“). Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein Photon und nicht ein **Auger-Elektron** emittiert wird, nennt man „**Fluoreszenzausbeute** ω “. Sie nimmt mit der Protonenzahl Z zu und hat für Übergänge in die K-Schale bei $Z = 32$ ungefähr den Wert 0,5.

4.4 Gammastrahlung

Gammastrahlung ist die Photonenstrahlung, die von angeregten Atomkernen ausgesendet wird, wenn sie in einen Zustand geringerer Energie übergehen, oder die bei Elementarteilchenprozessen entsteht.

Anmerkung: Das Spektrum der Gammastrahlung angeregter Atomkerne ist ein Linienspektrum mit Photonenenergien, die für den betreffenden Kern charakteristisch sind.

4.5 Konversionselektronen

Konversionselektronen sind Elektronen aus inneren Schalen der Atomhülle, die beim Übergang zwischen zwei Energiezuständen des Atomkerns an Stelle von Gammaquanten emittiert werden (**innere Konversion**).

Anmerkung 1: Im Gegensatz zur Betastrahlung besitzen Konversionselektronen diskrete Energien (Linienspektrum); die Elektronenenergie ist jeweils gleich der Energiedifferenz der beiden Kernzustände, vermindert um die Bindungsenergie (Abtrennarbeit) des Hüllenelektrons. Beim Wiederauffüllen der inneren Schale werden charakteristische Röntgenstrahlung oder Auger-Elektronen emittiert.

Anmerkung 2: Gammastrahlung und Konversionselektronen können bei ein und demselben Übergang konkurrierend miteinander auftreten (Konversionskoeffizient siehe Abschnitt 6.5).

4.6 Vernichtungsstrahlung

Vernichtungsstrahlung ist eine Photonenstrahlung, die entsteht, wenn ein negatives und ein positives Elektron (Positron) zusammentreffen, wobei beide zerstrahlen (Umwandlung von Materie in Strahlungsenergie). Bei diesem Vorgang werden in der Regel gleichzeitig zwei Photonen mit einer Energie von je 0,511 MeV (Ruheenergie des Elektrons) in entgegengesetzte Richtungen emittiert.

4.7 Neutronenstrahlung

Einige Radionuklide hoher Massenzahl zerfallen durch spontane Spaltung. Hierbei tritt Neutronenemission auf.

Anmerkung: Beispielsweise werden bei ^{252}Cf je Spaltung etwa 4 Neutronen mit einer mittleren Energie von etwa 2 MeV abgegeben, deren Energieverteilung kontinuierlich ist.

5 Aktivität, spezifische Aktivität und Aktivitätskonzentration

5.1 Aktivität

Die **Aktivität** A einer Menge eines Radionuklids in einem bestimmten Energiezustand ist der Quotient $\frac{dN^*}{dt}$, wobei

dN^* der Erwartungswert für die Anzahl der spontanen Übergänge aus diesem Energiezustand im Zeitintervall dt ist.

Besteht zum Bezugszeitpunkt die Menge des betrachteten Radionuklids aus N Atomen, so gilt, falls keine gleichzeitige Nachbildung erfolgt:

$$A = \frac{dN^*}{dt} = - \frac{dN}{dt} = \lambda N$$

wobei λ die Zerfallskonstante (siehe Abschnitt 6.1) des betreffenden Radionuklids ist.

Einheit der Aktivität ist das Becquerel mit dem Zeichen Bq:
 $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$

Frühere Einheit der Aktivität war das Curie mit dem Zeichen Ci:
 $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$

Anmerkung 1: 1 Ci ist angenähert gleich der Aktivität von 1 g ^{226}Ra . (Nach den neuesten Messungen hat 1 g ^{226}Ra eine Aktivität von 0,989 Ci.)

¹⁾ Ein Zahlenwert mit halbfett gedruckter letzter Ziffer bedeutet nach DIN 1333 Teil 1, daß dieser Wert als genau gekennzeichnet werden soll und durch Vereinbarung festgelegt ist.