

# **Strahlenschutz-Lexikon**

**Sammlung häufig benötigter Begriffe und Definitionen zum Strahlenschutz bei ionisierender Strahlung**

**Erstellt unter Verwendung des Lexikons zur Kernenergie (W. Koelzer), veröffentlicht vom Informationskreis Kernenergie unter**

[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

Erweitert und modifiziert von

**Friedhelm Börchers**

mit hilfreicher Unterstützung durch

**Dietmar Zappe**

Stand: März 2012

Register:

A B C D E F G H I J K L M N

O P Q R S T U V W X Y Z

# A

## Abbrand

Maß für den Energieumsatz des Brennstoffs von Kernreaktoren; der Abbrand wird angegeben in MWd/t Uran. Der Brennstoff von Kernreaktoren kann im Gegensatz zu fossilem Brennstoff nicht 'in einem Zuge' umgesetzt werden, da im Laufe des Einsatzes im Reaktor Spaltprodukte und →[Transuranelemente](#) im Kernbrennstoff entstehen, von denen einige mit den Spaltneutronen reagieren, so dass diese für weitere Spaltungen nicht mehr zur Verfügung stehen. Daher müssen die →[Brennelemente](#) nach Erreichen eines maximalen Abbrands ausgewechselt werden. Mit steigendem Abbrand steigt die Radioaktivität der in den Brennelementen enthaltenen Spaltprodukte und Transurane. Insbesondere die Neutronenerzeugung und der Neutronenfluss in der Umgebung eines Brennelements steigen überproportional mit dem Abbrand.

Für Leichtwasserreaktoren beträgt der Abbrand 45.000 bis 50.000 MWd/t Uran. Das bedeutet, dass etwa 45 bis 50 kg spaltbares Material pro Tonne eingesetzten Kernbrennstoffes gespalten wurden und bei einem Wirkungsgrad des Kernkraftwerkes von 34% 360 bis 400 Mio. kWh elektrische Energie pro Tonne Uran erzeugt wurden. Die Rückgewinnung des nicht verbrauchten Kernbrennstoffs wird als →[Wiederaufarbeitung](#) bezeichnet.

## Abfallaufbereitung

Beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, insbesondere im Kernkraftwerk und bei der →[Wiederaufarbeitung](#), fallen feste, flüssige oder gasförmige radioaktive Abfälle an. Sie müssen für die →[Endlagerung](#) aufbereitet werden. Man spricht auch von →[Konditionierung](#). Man unterscheidet zwischen schwach-, mittel- und hochaktiven Abfällen. Ein anderes Unterscheidungskriterium ist die durch den radioaktiven Zerfall bedingte Wärmeentwicklung und die daraus resultierende Einteilung in wärmeentwickelnde und nicht-wärmeentwickelnde Abfälle. Schwach- und mittelaktive Abfälle werden mittels chemischer oder physikalischer Verfahren kompaktiert und verfestigt. Gängige Methoden sind z. B. Hochdruckverpressung, Verbrennung mit anschließender Hochdruckverpressung der Asche, Eindampfung flüssiger Abfälle mit anschließender Trocknung der Konzentrate oder deren Verfestigung mit Zement. Für hochaktive, wärmeentwickelnde Abfälle ist die Verglasung eine geeignete Methode zur Überführung in ein endlagerfähiges Produkt.

## Abfallbehälterklasse

Klassifizierung von Behältern zur Aufnahme radioaktiver Abfälle nach den →[Endlagerungsbedingungen](#) für die Schachtanlage →[Konrad](#); eine Abfallbehälterklasse umfaßt Abfallbehälter mit vergleichbarem Freisetzungsverhalten für darin enthaltene radioaktive Stoffe.

## **Abfälle, radioaktive**

Radioaktive Abfälle sind nach § 9a AtG radioaktive Reststoffe sowie ausgebaute oder abgebaute radioaktive Anlagenteile, die beseitigt werden sollen oder aus Strahlenschutzgründen geordnet beseitigt werden müssen. Radioaktive Abfälle, die aus genehmigungspflichtigem Umgang nach § 7 StrlSchV oder aus einem genehmigungsbedürftigen Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen (z. B. Beschleunigereinrichtung) stammen, sind an eine →[Landessammelstelle](#) abzugeben. Abfälle aus einer genehmigungspflichtigen Tätigkeit nach dem AtG sind an eine Anlage des Bundes abzugeben (§ 76 StrlSchV). Solange kein Bundesendlager zur Verfügung steht, ist eine Zwischenlagerung von Abfällen zulässig. Dies kann auch bei externen Dienstleistern, z.B. im Abfalllager Gorleben der GNS, erfolgen (§ 78 StrlSchV).

Der Ablieferungspflicht für radioaktive Abfälle darf man sich nicht entziehen, indem man die radioaktiven Abfälle in Freigrenzenmengen aufteilt oder so verdünnt, dass sie unter Inanspruchnahme der Regelungen für einen genehmigungsfreien Umgang beseitigt werden können. Ausnahmen von der Ablieferungspflicht sind in besonderen Fällen möglich. Dies regelt § 76 StrlSchV.

## **Abfälle, radioaktive, Behandlung**

Die Behandlung radioaktiver Abfälle ist in der Strahlenschutzverordnung definiert als die Verarbeitung von radioaktiven Abfällen zu Abfallprodukten (z.B. durch Verfestigung, Einbinden, Vergießen oder Trocknen) (§ 3 Abs.2 Nr.1b)

Im allgemeinen Sprachgebrauch des Strahlenschutzes gehört dazu auch das Sammeln und Sortieren der radioaktiven Abfälle. Insbesondere um den Sortieraufwand zu minimieren, der in der Regel auch mit Strahlenexpositionen verbunden ist, wird der Abfall möglichst nach unterschiedlichen Arten getrennt gesammelt. Eine wichtige Unterscheidung ist dabei die Trennung zwischen brennbarem und nicht brennbarem Abfall.

Im Zuge der Behandlung werden die Verarbeitungszustände „Rohabfall“, „Zwischenprodukt“ und „Konditionierter Abfall“ unterschieden. Verarbeitungszustand, Art des Abfalls und seine Behandlung sind zu dokumentieren und mit einem speziellen Code zu bezeichnen. Details dazu sind in Anlage X StrlSchV vorgegeben.

Die sicherheitstechnischen Anforderungen an die Behandlung radioaktiver Abfälle, die für ein Endlager des Bundes bestimmt sind, legt das Bundesamt für Strahlenschutz fest (§ 74 StrlSchV).

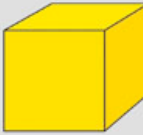

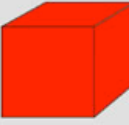

## **Abfälle, radioaktive, eines Kernkraftwerkes**

In den Kernkraftwerken fallen einerseits Betriebsabfälle und andererseits ausgediente (abgebrannte) Brennelemente als radioaktive Abfälle an.

Die radioaktiven Betriebsabfälle entstehen durch Reinigungsmaßnahmen des Kühlkreislaufes, des aus Kontrollbereichen abzugebenden Wassers und der Luft, durch Reinigung der Anlage sowie im Zuge von Instandhaltungsmaßnahmen. Zur Reinigung des Kühlkreislaufes werden z. B. bei Druckwasserreaktoren Kugelharze und Filterkerzeneinsätze verwendet. Zur Reinigung des abzugebenden Wassers werden Eindampfanlagen, Zentrifugen und Ionenaustauscherfilter eingesetzt. Zur Luftreini-



gung dienen Filter. Bei der Reinigung der Anlage und im Zuge von Instandhaltungsmaßnahmen fallen insbesondere brennbare und pressbare Abfälle an. Diese Rohabfälle werden entweder direkt im Kernkraftwerk oder in einer externen Abfallkonditionierungsanlage behandelt. Die Verarbeitungsverfahren wie Trocknen, Pressen oder Verbrennen bringen eine starke Volumenverminderung. In einem Kernkraftwerk mit einer elektrischen Leistung von 1.300 MW fallen jährlich etwa 50 m<sup>3</sup> konditionierte radioaktive Betriebsabfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung an. Die Menge der Abfälle aus der Entsorgung der jährlichen Entlademenge der abgebrannten Brennelemente ist vom Entsorgungsweg abhängig: Bei einer Wiederaufarbeitung entstehen rund 10 m<sup>3</sup> radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung und etwa 3 m<sup>3</sup> Wärme entwickelnde Abfälle – die verglasten hochaktiven Spaltprodukte. Darin enthalten sind allerdings nicht die Abfälle, die als Betriebsabfälle der Wiederaufarbeitungsanlage anfallen und nicht diejenigen, die bei der späteren Stilllegung der Anlage erwartet werden. Bei der direkten Endlagerung der abgebrannten Brennelemente fallen rund 45 m<sup>3</sup> Wärme entwickelnde Abfälle an. Die Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen aus deutschen Kernkraftwerken ist nach dem Atomgesetz nicht mehr zulässig.

	Betriebsabfälle Kernkraftwerk	Entsorgung der abgebrannten Brennelemente	
		direkte Endlagerung	Wiederaufarbeitung
radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung	 50 m <sup>3</sup>	—	 10 m <sup>3</sup>
Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle	—	 45 m <sup>3</sup>	 3 m <sup>3</sup>

Jährliche konditionierte Mengen radioaktiver Abfälle eines 1300-MWe-Kernkraftwerks (Betriebsabfälle und Abfälle aus der Brennelemententsorgung je nach Entsorgungsvariante; unberücksichtigt sind die betrieblichen Abfälle und die späteren Stilllegungsabfälle der Wiederaufarbeitungsanlage)

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Abfälle, radioaktiv, Klassifizierung

In der Vergangenheit wurden auch in Deutschland die radioaktiven Abfälle aufgrund ihrer Dosisleistung am un abgeschirmten Abfall und ihres Aktivitätsgehalts als

- schwachaktiv (LAW: low active waste),
- mittelaktiv (MAW: medium active waste) und
- hochaktiv (HAW: high active waste)

unterschieden. Diese Differenzierung gilt zurzeit noch in anderen Ländern. Für sicherheitsanalytische Betrachtungen zur Endlagerung oder für die Betrachtung des Strahlenschutzes des Personals, das mit den Abfällen umgeht, ist nicht die Dosisleistung die entscheidende Größe. Wichtig sind vielmehr das radioaktive Inventar (die

nuklidbezogene Aktivität) und die beim radioaktiven Zerfall entstehende Wärme. Diese Parameter werden für den Einlagerungsbetrieb, für Störfälle und für die Nachbetriebsphase des Endlagers benötigt. Im geplanten Endlager Konrad sollen aus geologischen Gründen keine wesentlichen Temperaturerhöhungen auftreten. Die Temperaturerhöhung im Wirtsgestein der Einlagerungsstrecke wurde daher auf 3 Kelvin begrenzt. Aus dieser Vorgabe ergibt sich die zulässige Wärmeleistung eines Abfallgebindes. Für die Betrachtung des Strahlenschutzes des Personals ist die Ortsdosisleistung außen an den Abfallgebinden maßgeblich und nicht die am unabgeschirmten Abfall, welche Basis für die Klassifizierung ist. Aufgrund der starken Abschirmung hochaktiver Abfälle (schwere Gussbehälter) ist die Ortsdosisleistung an diesen Abfallgebinden oft niedriger als an den Abfallgebinden mit schwachaktiven Abfällen.

## Abfälle, radioaktiv, Mengenabschätzung

Wer eine genehmigungsbedürftige Tätigkeit nach der Strahlenschutzverordnung plant oder ausübt, muss grundsätzlich die Menge des jährlich erwarteten radioaktiven Abfalls abschätzen und unter Angabe des geplanten Verbleibs der Behörde mitteilen (§ 72 StrlSchV). Ausgenommen hiervon sind Rohabfälle, die an eine Landessammelstelle abgeliefert werden, und bestrahlte Brennelemente.

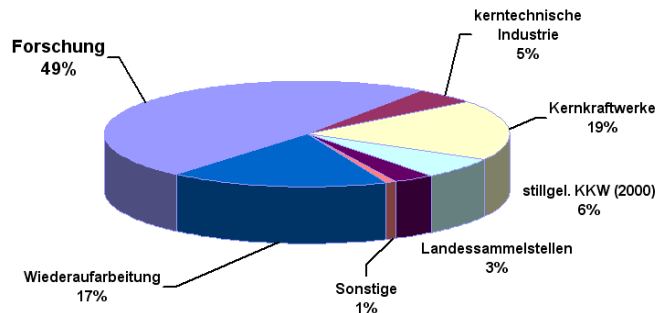
Landessammelstellen fallen ebenfalls unter die Regelungen des § 72 StrlSchV, sofern sie Abfälle an eine Anlage des Bundes abführen. Für diese Abfälle kann die zuständige Behörde oder ggf. auch die Landessammelstelle nach § 74 Abs. 1 eine entsprechende Deklaration bereits bei der Ablieferung verlangen.

## Abfälle, radioaktiv, Mengenanfall

Das Bundesamt für Strahlenschutz ermittelt jährlich den Anfall und den Bestand an unbehandelten radioaktiven Reststoffen und an konditionierten radioaktiven Abfällen. Ende 2000 waren insgesamt 106.700 m<sup>3</sup> radioaktive Reststoffe mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung und ca. 2.000 m<sup>3</sup> Wärme entwickelnde radioaktive Reststoffe in Deutschland vorhanden. In diesem Bestand an Wärme entwickelnden Abfällen sind außer den ausgedienten Brennelementkugeln des Thorium-Hochtemperaturreaktors (THTR) keine abgebrannten Brennelemente aus Leistungsreaktoren enthalten. Eine Bestandsaufnahme der abgebrannten Brennelemente wird von der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) durchgeführt

Reststoffart	vernachlässigbar wärmeentwickelnd	wärmeentwickelnd
unbehandelte Reststoffe: Bestand Ende 2001	42.905 m <sup>3</sup>	448 m <sup>3</sup>
Zwischenprodukte Bestand Ende 2001 Anfall in 2001	4.675 m <sup>3</sup> 1.194 m <sup>3</sup>	
konditionierte Abfälle (inkl. Verpackung) Bestand Ende 2001 Anfall in 2001	71.262 m <sup>3</sup> 4.068 m <sup>3</sup>	1.559 m <sup>3</sup> 65 m <sup>3</sup>

Daten der Abfallerhebung für das Jahr 2001  
Quelle: BfS, [http://www.bfs.de/de/endlager/abfall\\_prognosen.html](http://www.bfs.de/de/endlager/abfall_prognosen.html)



Aufteilung des Bestandes von 71.261 m<sup>3</sup> konditionierten vernachlässigbar wärmeentwickelnden Abfällen Ende 2001 auf die Abfallverursacher.  
 Quelle: BfS, [http://www.bfs.de/de/endlager/abfall\\_prognosen.html](http://www.bfs.de/de/endlager/abfall_prognosen.html)

## Abfälle, radioaktive, Volumenreduzierung

Die meisten Rohabfälle sind brennbare und pressbare Abfälle. Die Rohabfälle werden in der Regel vorsortiert nach brennbaren und nicht brennbaren Stoffen. Die nicht brennbaren, aber pressbaren Rohabfälle können verpresst werden, wobei der Volumenreduktionsfaktor im Mittel etwa 2 bis 5 beträgt. Bei der Verbrennung der brennbaren Abfälle betragen die Aschevolumina aus der Verbrennung nur noch bis zu 1/50 der Rohabfallvolumina. Die Aschevolumina können mit Hilfe einer Hochdruckpresse nochmals um den Faktor zwei reduziert werden. Bei flüssigen radioaktiven Abfällen wird eine Volumenreduzierung durch Verdampfung (bei wässrigen Flüssigkeiten) oder durch Verbrennung (bei ölhaltigen oder organischen Flüssigkeiten) erreicht.

Die meisten radioaktiven Abfälle aus Medizin, Forschung und nicht kerntechnischer Industrie werden verbrannt. Brennbare Abfälle aus Kernkraftwerken werden in der Regel verbrannt. Falls die Ortsdosisleistung höher ist als es die Annahmebedingungen der Verbrennungsanlage zulässt, werden auch brennbare Abfälle verpresst.

## Abfallgebinde

Einheit aus Abfallprodukt, auch mit Verpackung, und Abfallbehälter (Def. § 3 Abs.2 Nr. 1c StrlSchV); s. auch →[Endlagerungsbedingungen](#)

## Abfallprodukt

Verarbeiteter radioaktiver Abfall ohne Verpackung und Abfallbehälter (Def. § 3 Abs.2 Nr. 1d StrlSchV); s. auch →[Endlagerungsbedingungen](#)

## Abfallproduktgruppe

Eine Abfallproduktgruppe umfaßt Abfallprodukte mit vergleichbarem Freisetzungverhalten von radioaktiven Stoffen. (s. auch →[Endlagerungsbedingungen](#) )

## Abgasreinigung

Reinigungsanlagen für Abgase oder Abluft haben in der Reihenfolge des Durchströmens folgenden grundsätzlichen Aufbau:

- Nasse Gase: Waschen in Kolonnen und/oder Venturiwäschern, Nassfilterung, Trocknen, Absolutfilterung mit Aerosolfilter der Sonderklasse S, Abgasgebläse,
- Trockene Gase: Vorfilterung, Absolutfilterung mit Aerosolfilter der Sonderklasse S, Abgasgebläse,
- Heiße Abgase aus Verbrennen radioaktiver Abfälle: Nachverbrennen und Staubrückhalten an Sinterkeramik-Filterkerzen (Temperatur bis 1.000°C), Nachfilterung mit Sinterkeramik- oder Sintermetallfiltern bei Temperaturen bis 700°C, weitere Reinigung wie bei trockenen Gasen. Iod und Ruthen erfordern Sondermaßnahmen.

Die Abluft in kerntechnischen Anlagen wird in der Regel über Aerosolfilter und bei Bedarf über Jodfilter geleitet. Mit radioaktiven Edelgasen belastete Systemabluft passiert vor der Ableitung mit Aktivkohle gefüllte Verzögerungsstrecken, um kurzlebige radioaktive Komponenten abklingen zu lassen.

## **Abgereichertes Uran**

Uran mit einem geringeren Prozentsatz an U-235 als die im natürlichen Uran vorkommenden 0,7205%. Es fällt bei der Uranisotopentrennung an. Der übliche Restgehalt an U-235 in abgereichertem Uran beträgt 0,2%.

## **Abgrenzung eines Strahlenschutzbereichs**

Kontrollbereiche und Sperrbereiche sind nach § 36 Abs.2 StrlSchV abzugrenzen. In der Praxis ist dies eine sichtbare Abgrenzung, die den Strahlenschutzbereich vollständig umfasst, oder eine deutlich erkennbare Kennzeichnung mit Abstandsangabe (DIN 6814-5, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)). Die Abgrenzung kann aus bautechnischen oder organisatorischen Gründen auch außerhalb des eigentlichen Strahlenschutzbereiches liegen.

## **Abklinganlage**

→[Abklinglagerung](#)

## **Abklingbecken**

Becken, in dem radioaktive Stoffe so lange lagern, bis die Aktivität auf einen gewünschten Wert abgenommen hat; ein Beispiel sind die mit Wasser gefüllten Abklingbecken (oder Brennelement-Lagerbecken) in Kernkraftwerken, in denen die Brennelemente nach dem Reaktoreinsatz abgesetzt werden, bis ihre Aktivität und Wärmeentwicklung Werte erreicht haben, die eine externe Zwischenlagerung oder den Abtransport zur Wiederaufarbeitung erlauben. Wärmeleistung und Aktivität des bestrahlten Brennstoffs nehmen wegen des großen Anteils kurzlebiger Radionuklide zunächst rasch ab. Die im bestrahlten Brennstoff enthaltene Aktivität ist innerhalb eines Jahres nach der Entladung aus dem Reaktor auf etwa 1/100 des ursprünglichen Wertes zurückgegangen.

## Abklinglagerung

Lagerung von radioaktiven Stoffen mit dem Ziel, die Radioaktivität abklingen zu lassen; von der Abklinglagerung wird in Forschung, Medizin und Industrie Gebrauch gemacht.

Bei der Anwendung radioaktiver Stoffe in der Medizin weisen die dort verwendeten Radiopharmaka oft kurze Halbwertszeiten auf, so dass eine Abklinglagerung die Radioaktivität in relativ kurzen Zeiten so verringert, dass eine Ableitung wässriger Abfälle oder die konventionelle Entsorgung von Abfällen möglich ist. Ein Beispiel ist die Abklinglagerung Iod-haltiger Wässer aus der Schilddrüsentherapie in Abklingbehältern.

Beim Rückbau kerntechnischer Anlagen kann durch die Abklinglagerung die Ortsdosisleistung an stärker strahlenden Komponenten so gesenkt werden, dass dadurch für die nachfolgende Zerlegung und Konditionierung der Strahlenschutz verbessert wird. Kostenvorteile können durch den Verzicht auf aufwändige fernbediente Handhabungen entstehen. Unter günstigen Umständen klingt die Aktivität so weit ab, dass die Stoffe der →Freigabe zugeführt werden können. Dadurch können aufwändige Konditionierungen für die End- und Zwischenlagerung vermieden werden.

## Abklingzeit

Die Abklingzeit ist eine häufig gezielt abgewartete Zeitspanne, in der sich die in einem Stoff vorhandene Radioaktivität durch den radioaktiven Zerfall deutlich (z.B. Faktor 1000) verringert.

## Ablagerungsgeschwindigkeit

Begriff aus der Aerosolphysik; die Ablagerungsgeschwindigkeit (oder Depositionsgeschwindigkeit) kennzeichnet die Geschwindigkeit, mit der Aerosole aus der Luft auf eine Oberfläche, z.B. den Boden, absinken. Sie hängt von der Dichte der Aerosole und ihrem Durchmesser ab: je größer und schwerer diese sind, desto höher ist die Sinkgeschwindigkeit.

Aerosole mit Durchmessern von ca. 10 µm und mehr werden vorwiegend durch Sedimentation im Schwerfeld der Erde abgelagert. Die Ausbreitung vom Entstehungsort beträgt in Abhängigkeit von der Masse wenige Meter bis km.

Aerosole mit Durchmessern unter 10 µm werden vorwiegend durch meteorologische Prozesse und Diffusion abgelagert. Die Ablagerungsgeschwindigkeit hängt von meteorologischen Parametern (Schichtung der Atmosphäre) und den chemischen und physikalischen Eigenschaften des Aerosols ab. Die Ablagerung kann in großen Entfernungen vom Entstehungsort erfolgen.

Die Ablagerungsgeschwindigkeit wird insbesondere zur Ermittlung der Bodenkontamination durch →Fallout benötigt.

Beispiele für Jod:	organisches Jod	0,0001 m/s
	Aerosol	0,0015 m/s
	Elementares Jod	0,01 m/s

## Ablaufplan

Schrittfolgeplan für das Verfahren zur Herstellung qualifizierter, endlagerfähiger oder zwischenlagerfähiger Gebinde mit radioaktiven Abfällen. Der Ablaufplan wird von der für die Endlagerung zuständigen Bundesbehörde, dem Bundesamt für Strahlenschutz, freigegeben. Die für den Abfallerzeuger zuständige atomrechtliche Aufsichtsbehörde stimmt der Anwendung des Ablaufplans ebenfalls zu. Er enthält alle erforderlichen Arbeitsschritte und Prüfschritte auf dem Weg des Abfallgebundes und legt die Zuständigkeiten für die Durchführung der Verfahrens- oder Prüfschritte fest.

## Ableitung

Abgabe flüssiger, aerosolgebundener oder gasförmiger radioaktiver Stoffe aus Anlagen und Einrichtungen auf hierfür vorgesehenen Wegen (Def. § 3 Abs.2 Nr.2 StrlSchV)

Für die aus den Ableitungen mit Luft oder Wasser aus Anlagen und Einrichtungen resultierenden →[Strahlenexpositionen](#) der Bevölkerung gelten folgende Dosisgrenzwerte:

- Effektive Dosis: 0,3 mSv
- Organdosis Keimdrüsen, Gebärmutter, Knochenmark (rot): 0,3 mSv
- Organdosis für alle Organe und Gewebe, gem. Anlage VI StrlSchV (soweit oben nicht genannt): 0,9 mSv
- Organdosis für Knochenoberfläche, Haut: 1,8 mSv

## Abluftpfad

Modellmäßige Annahmen zur Berechnung der →[Strahlenexposition](#) durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft einer Anlage. Das Ergebnis einer solchen Ausbreitungsrechnung liefert ortsabhängige Konzentrationswerte von Radionukliden. Die beim Zerfall dieser Radionuklide entstehende Strahlung kann prinzipiell über folgende Pfade zu einer Strahlenexposition des Menschen führen:

- externe Bestrahlung durch die Betastrahlung innerhalb der Abluftfahne
- externe Bestrahlung durch die Gammastrahlung aus der Abluftfahne
- externe Bestrahlung durch die Gammastrahlung der am Boden abgelagerten radioaktiven Stoffe
- interne Bestrahlung durch eingeatmete Radionuklide (Inhalation)
- interne Bestrahlung durch Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Nahrung (Ingestion) auf dem Weg
  - Luft - Pflanze
  - Luft - Futterpflanze - Kuh - Milch
  - Luft - Futterpflanze - Tier - Fleisch
  - Muttermilch

Modelle und Berechnungsannahmen für die Strahlenexposition über den Abluftpfad sind für kerntechnische Anlagen in der Verwaltungsvorschrift 'Ermittlung der Strah-

lenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen' (BMU05E) enthalten.

## Abreicherung

Verminderung der relativen Häufigkeit eines Nuklides oder mehrerer Nuklide im Verlauf eines Prozesses; z.B. entsteht bei der Anreicherung des natürlichen Uran-Isotopengemisches mit U-235 als Nebenprodukt abgereichertes Uran, in dem der U-235-Anteil geringer ist als in der natürlichen Zusammensetzung.

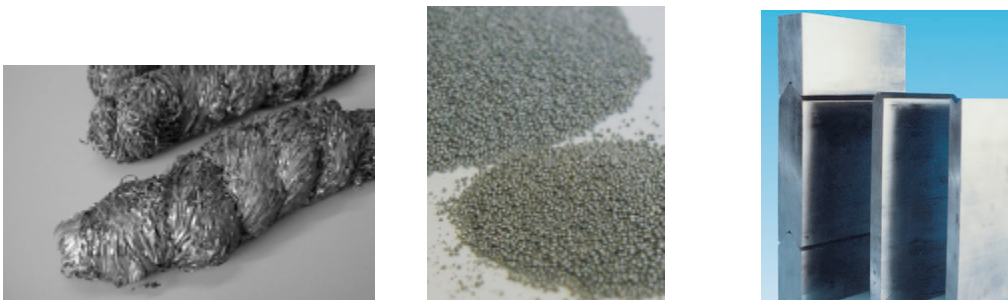
## Abschaltstab

Abschaltstäbe dienen dazu, einen Kernreaktor schnell abschalten zu können. Zu diesem Zweck müssen sie sehr schnell eingefahren werden können und eine hohe negative  $\rightarrow$ Reaktivität haben, die zur sicheren Reaktorabschaltung ausreicht.  $\rightarrow$ Regelstab

## Abschirmung

Schutzeinrichtung um radioaktive Quellen oder Einrichtungen mit radioaktiven Stoffen, um deren Strahlung nach außen den Erfordernissen entsprechend zu verringern. Abschirmungen können ortsfest sein (z.B. Gebäudeteile, maschinentechnische Abschirmung von Messgeräten) oder ortsveränderlich. Zu ortsveränderlichen Abschirmungen zählen z.B. Bleimatten, Bleibausteine, Strahlenschutzschürzen, aufblasbare Wasserwände. Ortsveränderliche Abschirmungen sind in DIN 6814-5 ( $\rightarrow$ DIN-Normen zum Strahlenschutz) definiert.

Kenngößen für die Abschirmwirkung von Abschirmungen sind die  $\rightarrow$ Schwächungsfaktoren



Beispiele für Abschirmmaterialien aus Blei: Bleiwolle zum Verstopfen von Fugen und Spalten (links), Bleigranulat zum Verfüllen von Hohlräumen (Mitte), Bleiformsteine zum Aufbau von Abschirmwänden (rechts) (Quelle: [www.jlgoslar-strahlenschutz.de](http://www.jlgoslar-strahlenschutz.de))





Bleimatten, bestehend aus Bleiplatten, die zur besseren Dekontamination außen mit Kunststoffgewebe ummantelt sind.

## Abschirmung, aktive

Besondere Art der Abschirmung von Strahlungsmessgeräten zur Vermeidung störender Untergrundeinflüsse; bei der aktiven Abschirmung wird die Untergrundstrahlung separat gemessen und der Messwert wird vom Bruttomesswert der zu messenden Aktivität oder Strahlungsgröße abgezogen. Dazu werden häufig die beiden Detektoren so in Koinzidenz oder Antikoinzidenz geschaltet, dass nur die von der Messprobe verursachten Messsignale gezählt werden. Aktive Abschirmungen sind insbesondere bei Messungen kleiner Aktivitäten hilfreich, wenn umfangreiche Materialabschirmungen nicht gewünscht oder nicht möglich sind.

## Abschirmung, bautechnische

Nach DIN 6814-5 ([→DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)) sind bautechnische Abschirmungen

- Ortsfeste Strahlenschutzwände und -decken
- Bewegliche Strahlenschutzwände, die mit dem Bauwerk verbunden sind
- Strahlenschutztüren und -fenster
- Strahlenschutzschleusen und -labyrinth
- Ortsfeste Strahlenschutztresore
- Ortsfeste Strahlenschutztische
- Ortsfeste Strahlenschutzabzüge
- Heiße Zellen

## Abschirmung von Betastrahlung

Die Reichweite von Betastrahlen in Materie ist umgekehrt proportional zur Dichte der Materie ([→Reichweite](#)). Bei der Abschirmung hochenergetischer Betastrahlung ist jedoch die [→Bremsstrahlung](#) zu beachten, die insbesondere durch Abbremsung der Betateilchen im elektrischen Feld schwerer Kerne entsteht und wesentlich zur Dosisleistung beitragen kann. Zu Abschirmung von Betastrahlung empfiehlt sich deshalb häufig die Verwendung leichter Materialien (z.B. Kunststoffe) als Hauptabschirmung,



deren hintere Fläche zur Abschirmung der Bremsstrahlung mit einer Abschirmschicht hoher Dichte (z.B. Blei) belegt wird.

## Abschirmung von Messgeräten

Messgeräte werden zur Verbesserung der Nachweisempfindlichkeit gegen Störstrahlung von außen abgeschirmt. Dazu wird meistens Blei eingesetzt, das einen besonders niedrigen Anteil an eigener Radioaktivität besitzt (eigenstrahlungsarmes Blei).

## Abschirmung von Neutronenstrahlung

Aufgrund der Art der Wechselwirkung von  $\rightarrow$ Neutronenstrahlung mit Materie muss die Abschirmung von Neutronenstrahlung drei Aufgaben erfüllen:

- Abbremsung der schnellen Neutronen (dazu sind wasserstoffhaltige Materialien geeignet)
- Vernichtung der langsamen Neutronen durch Kernreaktionen, insbesondere durch den Neutroneneinfang (dazu sind z.B. Cadmium oder Bor-10 geeignet)
- Abschirmung der bei den Kernreaktionen entstehenden Gammastrahlung (dazu sind schwere Materialien wie Blei oder Eisen geeignet)

Neutronenabschirmungen sind deshalb häufig mehrschichtige Abschirmungen, z.B. aus Kunststoffen (wie z.B. Polyethylen) und Eisen, die abwechselnd angeordnet werden können (Sandwich-Bauweise).

## Absolute Intensität

In der angelsächsischen Literatur gebräuchliche Bezeichnung für die  $\rightarrow$ Emissionswahrscheinlichkeit; die Angabe erfolgt üblicherweise in %. Darüber hinaus wird dort die Emissionswahrscheinlichkeit auch relativ zu einer anderen angegeben, die sich auf die gleiche Teilchenart bei anderer Energie bezieht. Diese wird als „relative Intensität“ bezeichnet.

## Absolutes Risikomodell

Nach dem absoluten Risikomodell ist das Risiko für einen stochastischen Schaden nach einer Strahlenexposition nur während eines begrenzten Zeitraums nach der Strahlenexposition gegenüber dem spontanen Risiko  $R_s(t)$  erhöht. Wenn das zusätzliche expositionsbedingte Risiko mit  $R_z(D, t)$  bezeichnet wird – D und t drücken die Dosis- bzw. Zeitabhängigkeit aus – so gilt für das Gesamtrisiko  $R(t)$ :

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi r^2}$$

Leukämie lässt sich besser mit dem absoluten Risikomodell beschreiben, während für solide Tumore das  $\rightarrow$ relative Risikomodell besser geeignet ist.

Ohne Angaben zum verwendeten Risikomodell ist eine quantitative Aussage zur Risikoerhöhung bei Strahlenexpositionen nicht aussagekräftig und daher wertlos.

## Absorber

Im Strahlenschutz Bezeichnung für ein Material, das ionisierende Strahlung 'aufhält'; →[Alphastrahlung](#) wird bereits durch ein Blatt Papier total absorbiert, zur Absorption von →[Betastrahlung](#) genügen bereits wenige Zentimeter Kunststoffmaterial oder 1 cm Aluminium. Für →[Gammastrahlung](#) sind Materialien hoher →[Ordnungszahl](#) und großer Dichte als Absorber geeignet (Blei; Stahl; Beton, z. T. mit speziellen Zuschlägen). Neutronenabsorber wie Bor, Hafnium und Kadmium werden in Regelstäben von Reaktoren eingesetzt. →[Absorption](#)

## Absorberstab

→[Regelstab](#)

## Absorption

Als Absorption bezeichnet man den Prozess, der bewirkt, dass die aus einer Materieschicht austretende Zahl an Teilchen einer bestimmten Art gegenüber der vorher eingedrungenen Zahl verringert ist. Die absorbierten Strahlungsteilchen gehen durch Wechselwirkung mit den Atomen des Absorbers verloren.

## Absorptionsklassen

Charakteristikum bei der Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Körper; die Aufnahme inkorporierter radioaktiver Stoffe in die Organe des menschlichen Körpers und die Verweildauer im Körper hängen von der chemischen Form der radioaktiven Stoffe ab. Die →[Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle](#) unterscheidet vier Absorptionsklassen: F (fast – schnell), M (moderate), S (slow – langsam) und V (sehr schnell). Die Zuordnung der chemischen Form eines Radionuklids zur Absorptionsklasse ist tabelliert. Entsprechend gibt es abhängig von der Absorptionsklasse unterschiedliche →[Dosiskoeffizienten](#) (BMU01, BMU07).

## Abstandsgesetz

Die Abnahme der Ortsdosisleistung mit dem Abstand von der Strahlenquelle wird durch das Abstandsgesetz beschrieben. Das Abstandsgesetz hängt von der Strahlenart, der Energie der Strahlung und von der Quellengeometrie ab. Am bekanntesten ist das quadratische Abstandsgesetz (in Luft) für eine gammastrahlende Punktquelle. Hierbei fällt die Ortsdosisleistung in der Umgebung der Strahlenquelle umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes zur Quelle ab.

Dies ist eine direkte Folge der geometrischen Verhältnisse: Die von der Punktquelle emittierten Strahlungsteilchen durchsetzen gleichmäßig die Oberfläche einer Kugel, in deren Mittelpunkt sich die Punktquelle befindet. Die Teil-

chenflussdichte  $\varphi$  im Abstand  $r$  von der Punktquelle ist proportional zur Ortsdosisleistung und ergibt sich durch Division der →[Quellstärke](#)  $Q$  der Punktquelle durch die Kugeloberfläche im Abstand  $r$  ( $= 4\pi r^2$ ):

→ ( $k =$  →[Konversionsfaktor](#))

Verdoppelt sich der Abstand zur Quelle, vervierfacht sich die Kugeloberfläche und damit sinken die Teilchenflussdichte und die Ortsdosisleistung auf ein Viertel.

Dieses Gesetz gilt für Photonenstrahlung in Luft solange, wie der Photonenfluss durch Absorption in der Luft oder durch Streuung an der Luft nicht wesentlich verändert wird. Für große Abstände zur Strahlenquelle nehmen diese Effekte zu und es treten Abweichungen vom quadratischen Abstandsgesetz auf. Diese Effekte sind energieabhängig. So gilt das quadratische Abstandsgesetz für Photonenenergien von etwa 50 keV bis ca. 15 m Entfernung von der Quelle, bei Energien um 1 MeV bis ca. 50 m.

Für linienförmige Quellen der Länge L und mit der längenbezogenen Aktivität  $a_L$  (in Bq/cm) und ohne Eigenabsorption gilt die Beziehung:

$$\dot{H} = \Gamma a_L \frac{1}{L} y_L(r) \quad \Gamma = \text{Dosisleistungskonstante}$$

Die das Abstandsverhalten bestimmende Funktion  $y_L(r)$  nimmt im Nahfeld der Quelle (Abstände r klein gegen Quellenlänge L) mit  $1/r$  ab. Die Funktion ist in der Fachliteratur tabelliert (VOG04). Wertebeispiele für eine Linienquelle mit L=1 m sind in folgender Tabelle angegeben:

r / cm	$y_L(r)$
1	300
2	150
10	29
20	11
50	3
100	0,9
200	0,2
500	0,04

Beispiele für die Werte der Abstandsfunktion  $y_L(r)$  für eine Linienquelle der Länge 1 m (VOG04)

Flächenförmige Quellen ohne Selbstabsorption können oft als kreisförmige Scheibenquellen mit dem Scheibenradius R angenähert werden. Das Abstandverhalten der Ortsdosisleistung im Abstand r von der Scheibenmitte wird beschrieben durch:

$$\dot{H} = \Gamma \cdot a_F \cdot y_F(r)$$

$a_F$  = Aktivität je Flächeneinheit,  $\Gamma$  = Dosisleistungskonstante

Die Abstandsfunktion  $y_F(r)$  ist in der Fachliteratur in Abhängigkeit von r und R tabelliert oder als Funktion dargestellt. Einige Beispiele zeigt die folgende Tabelle.

r / cm	$y_F(r)$
1	30
5	19
10	15
20	10
50	5
100	2
200	0,65
500	0,12

Beispiele für die Werte der Abstandsfunktion  $y_F(r)$  für eine kreisförmige Scheibenquelle mit dem Radius  $R=1$  m (VOG04)

Bei Abständen  $r > 4R$  kann hinreichend genau mit der Punktquellen-Näherung gerechnet werden.

## Abwasserpfad

Modellmäßige Annahmen zur Berechnung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser. Die beim Zerfall dieser Radionuklide entstehende Strahlung kann prinzipiell über folgende Pfade zu einer Strahlenexposition des Menschen führen:

- externe Bestrahlung durch Aufenthalt auf Sediment,
- interne Bestrahlung nach Aufnahme radioaktiver Stoffe auf einem der folgenden Wege
  - Trinkwasser,
  - Wasser - Fisch,
  - Viehtränke - Kuh - Milch,
  - Viehtränke - Tier - Fleisch,
  - Beregnung - Futterpflanze - Kuh - Milch,
  - Beregnung - Futterpflanze - Tier - Fleisch,
  - Beregnung - Pflanze,
  - Muttermilch.

Modelle und Berechnungsannahmen für die Strahlenexposition über den Abwasserpfad aus einer kerntechnischen Anlage sind in der Verwaltungsvorschrift 'Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen' (BMU05E) enthalten.

## Actinon

Historischer Name für das Radonisotop Rn-219, das in der Zerfallsreihe des U-235 auftritt → [Zerfallsreihe, natürliche](#)

## ADC

Abk. für Analog-Digital-Converter → [Analog-Digital-Umwandler](#)

## ADR

Abkürzende Bezeichnung für die Anlagen A und B des Europäischen Übereinkommens vom 30. September 1957 über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR)

## AEPD

Abk. für **amtliche elektronische Personendosimetrie** (oder auch für amtliches elektronisches Personendosimeter); zurzeit läuft in Deutschland ein Projekt, welches die Realisierungsmöglichkeiten für eine amtliche Personendosiserfassung mit elektronischen Personendosimetern untersucht. →[elektronische Personendosimeter](#)

## Aeroradiometrie

Messung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung mit Messgeräten, die an oder in Flugzeugen angeordnet sind; mit der Aeroradiometrie können z.B. nach Ereignissen mit Radioaktivitätsfreisetzung schon in hohen Luftschichten radioaktive Stoffe nuklidspezifisch bestimmt werden, bevor sich diese auf der Erde abgelagern.

## Aerosol

Aerosol ist allgemein die Bezeichnung für ein Gas, das feste oder flüssige Schwebstoffe mit Durchmessern von wenigen nm bis maximal 100 µm enthält. Für den praktischen Strahlenschutz ist nur Luft als Trägermedium relevant. Radioaktive Stoffe können fein verteilt in der Luft vorhanden sein oder sich an Moleküle der Luft anlagern. Beispiele sind die natürlichen radioaktiven Folgeprodukte des Radon-Zerfalls oder künstliche Radionuklide wie Co-60 und Cs-137, die über die Verdunstung kontaminierter Flüssigkeiten in die Raumluft gelangen. Für die Strahlenexposition sind Aerosoldurchmesser bis etwa 10 µm von Bedeutung. Der Hauptexpositionspfad ist die Inhalation.

Die Messung radioaktiver Aerosole erfolgt in der Regel über ihre Abscheidung auf Filtern und deren Analyse. Für die Abgabe radioaktiver Stoffe über die Fortluft kerntechnischer Anlagen gibt es getrennte Grenzwerte für Aerosole, Edelgase und Jod.

## Aerosolmessung

Die Messung radioaktiver Aerosole erfolgt über die Ausmessung von Filtern, auf denen die radioaktiven Partikel zuvor abgeschieden wurden. Dazu wird die Raumluft in einem gemessenen Strom über das Filter gesaugt und die gemessene Filteraktivität auf das durchströmte Luftvolumen bezogen. Der Abscheidegrad auf dem Filter beträgt in der Regel mehr als 99 % und wird bei der Messung näherungsweise gleich 1 gesetzt. Man unterscheidet Messgeräte mit Festfiltern, die eine vorgegebene Zeit „bestaubt“ und dann ausgewertet werden, und Geräte mit Filterbändern, die kontinuierlich oder schrittweise weiterbewegt werden, so dass immer frische Filtermaterialien „bestaubt“ werden. Festfiltergeräte werden insbesondere zur integralen Messung eingesetzt. Geräte mit Filterbändern eignen sich besonders zur Erkennung von Aktivitätsgradienten und dienen als Monitore mit Alarmfunktion zur Arbeitsüberwachung. Die Ansaugung der Luft sollte möglichst unmittelbar oder über möglichst kurze Rohr- oder Schlauchleitungen erfolgen, um Fehler durch Verluste in den Zufuhrleitungen (→[Rohrfaktor](#)) zu minimieren.

Eine spezielle Arbeitsplatzüberwachung ist die Raumluftkontrolle mit sog. Hochvolumensammlern. Dabei wird über ein Rundfilter mit ca. 10-20 cm Durchmesser in wenigen Minuten ein Luftvolumen von mehreren m<sup>3</sup> gezogen und das Filter anschließend sofort ausgewertet (in der Regel über eine Gesamt-Beta-Messung). Da die Probenahme direkt am Arbeitsplatz erfolgt, wird dadurch eine zeitnahe Einschätzung der Raumlufthverhältnisse direkt am Arbeitsplatz ohne störenden Einfluss eines Rohrfaktors möglich.

Typische Nachweisgrenzen bei Messungen mit Filterbandmonitoren und Messzeiten von 1 Stunde liegen bei 1Bq/m<sup>3</sup> - 100 mBq/m<sup>3</sup> (VOG04). Spezielle Nachweise von künstlichen Alphastrahlern (z.B. Am-241) erfordern wegen der störenden natürlichen Alphaaktivität in der Raumlufth lange Sammelzeiten und eine anschließende nuklidspezifische Auswertung der Filter. Für eine Nachweisgrenze von 1 mBq/m<sup>3</sup> ist eine Langzeitbestäubung von ca. 10 h realistisch.

## **AGR**

Abk. für **A**dvanced **G**as-Cooled **R**eactor; in England und Schottland werden insgesamt 14 Reaktorblöcke dieses Bautyps betrieben. AGR-Reaktoren benutzen bis auf 2,5 % angereichertes Uran als Brennstoff, Graphit als Moderator und CO<sub>2</sub> als Kühlgas.

## **Airlift**

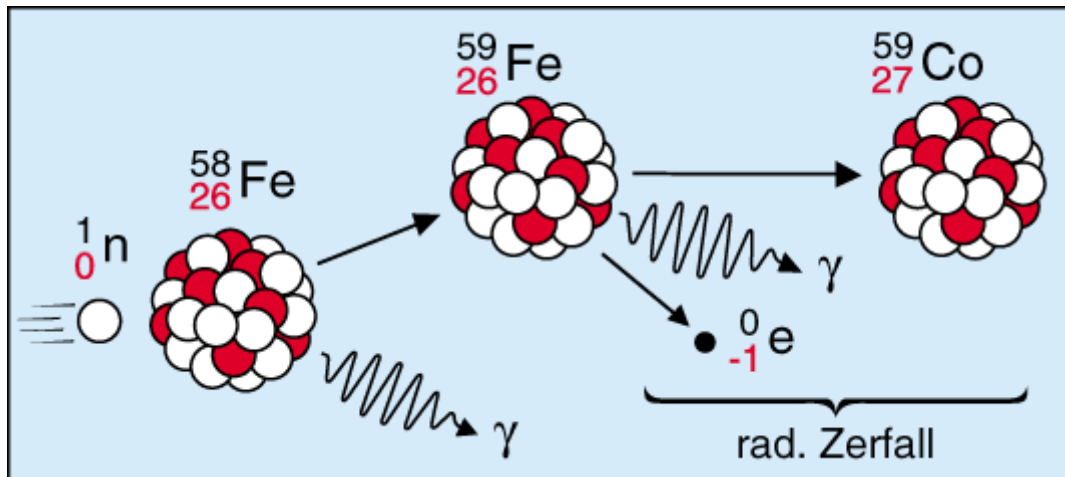
Verfahrenstechnische Förder- und Dosiereinrichtung, bei der Luft als Fördermedium für Flüssigkeiten benutzt wird, z. B. zur Förderung hochaktiver Flüssigkeiten. Ein Airlift hat keine beweglichen Teile. Er benötigt das zwei- bis fünffache Förderluftvolumen gegenüber dem geförderten Flüssigkeitsvolumen.

## **Aktivierung**

Vorgang, durch den ein Material durch Beschuss mit Neutronen, Protonen, anderen Teilchen oder auch Gammaquanten radioaktiv gemacht wird; die Aktivierung ist ein wesentlicher Prozess zur Erzeugung radioaktiver Stoffe in einem Kernreaktor. Eine dort wichtige Kernreaktion, die zur Aktivierung führt, ist der Einfang eines thermischen Neutrons.

Beispiele:  $\text{Co-59} + n \rightarrow \text{Co-60}$  ;  $\text{Fe-58} + n \rightarrow \text{Fe-59}$

Für den Strahlenschutz im Kernkraftwerk ist insbesondere die Produktion von Co-60 von Bedeutung, weil Co-60 ein harter Gammastrahler ist und maßgeblich zur Ortsdosisleistung in vielen Arbeitsbereichen beiträgt. Eine wichtige Strahlenschutzvorgekehrmaßnahme bei der Auslegung von Kernkraftwerken ist deshalb die Minimierung von Kobalt in Stählen, die mit Primärkühlmittel in Verbindung stehen.



Aktivierung von Eisen

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie

[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

Bei Beschleunigeranlagen werden hauptsächlich die Strukturmaterialien aktiviert, die vom Partikelstrahl getroffen werden (z.B. Blenden, Linsensysteme, Strahlfänger). Die Aktivierung durch Einfang eines Gammaquants und anschließender Teilchenemission spielt nur bei hohen Gammaenergien eine Rolle. Beispiel: Die Reaktion  $\text{Co-59} + \gamma \rightarrow \text{Co-58} + \text{n}$  tritt erst bei Gammaenergien  $> 10$  MeV auf und hat ihre größte Ausbeute bei Gammaenergien von etwa 20 MeV.

Besondere praktische Bedeutung hat die Aktivierung bei der Herstellung kurzlebiger Radionuklide für die Nuklearmedizin. Dies erfolgt in Reaktoren oder mit Beschleunigern.

## Aktivierungsanalyse

Verfahren zur quantitativen und qualitativen Bestimmung chemischer Elemente in einer zu analysierenden Probe. Die Probe wird durch Beschuss mit Neutronen oder geladenen Teilchen radioaktiv gemacht. Die danach radioaktiven Atome der Probe senden charakteristische Strahlungen aus, durch die die Art der Atome identifiziert und ihre Menge gemessen werden kann. Die Aktivierungsanalyse ist häufig empfindlicher als eine chemische Analyse. Sie findet in steigendem Maße in Forschung, Industrie, Archäologie und Kriminalistik Anwendung.

## Aktivierungsdetektor

Ein Aktivierungsdetektor (oder Aktivierungssonde) ist ein Strahlungsdetektor, bei dem die induzierte Radioaktivität, die durch eine Teilchenbestrahlung in einem Strahlungsfeld erzeugt wird, benutzt wird, um die  $\rightarrow$ Teilchenflussdichte oder die  $\rightarrow$ Teilchenflussenz im Strahlungsfeld zu bestimmen. (Def. DIN 25401 Teil 1,  $\rightarrow$ DIN-Normen zum Strahlenschutz)

Aktivierungsdetektoren werden im praktischen Strahlenschutz zur Messung von Neutronenfluenzen eingesetzt. Der Anwendungsbereich eines Aktivierungsdetektors hängt vom verwendeten Detektormaterial ab. Man unterscheidet Materialien für thermische Neutronen (thermische Detektoren mit z.B. Au-197 oder In-115), Resonanz-Detektoren, welche nur für Neutronen innerhalb eng begrenzter Energiebereiche (Resonanzbereiche) empfindlich sind (z.B. Cu-63 bei 577 eV) und Schwellen-

wertdetektoren, die nur auf Neutronenenergien oberhalb gewisser Schwellen ansprechen. Mit einer geeigneten Kombination verschiedener Aktivierungsdetektoren kann man das Energiespektrum einer Neutronenstrahlung ermitteln. (Lit.: VOG04)

## Aktivierungsfolie

Folie, bei der die induzierte Radioaktivität, die durch Teilchenbestrahlung (in der Regel Neutronen) in einem Strahlungsfeld erzeugt wird, benutzt wird, um die Teilchenflussdichte oder die Teilchenfluenz im Strahlungsfeld zu bestimmen. (Def. DIN 25401 Teil 1, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Aktivierungssonde

→[Aktivierungsdetektor](#)

## Aktivität

Aktivität ist die Zahl der Atomkerne, die im Mittel je Sekunde in einer radioaktiven Substanz zerfallen. Die Maßeinheit für die Aktivität ist die reziproke Sekunde mit dem besonderen Einheitenamen →[Becquerel](#), Kurzzeichen: Bq. 1 Becquerel entspricht dem Zerfall eines Atomkerns pro Sekunde. Die früher übliche Einheit der Aktivität war →[Curie](#), Kurzzeichen: Ci.  $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$ .

Anmerkung: 'Aktivität' benennt die physikalische Größe der Anzahl von Zerfällen pro Zeit, 'Radioaktivität' ist die Eigenschaft bestimmter Nuklide, sich umzuwandeln und dabei →[ionisierende Strahlung](#) auszusenden.

## Aktivität, spezifische

Quotient aus der Aktivität eines Stoffes und der Masse dieses Stoffes. Einheit Bq/kg. Bezeichnet A die Aktivität und m die Masse des Stoffes, so ergibt sich die spezifische Aktivität  $A_{\text{sp}}$  zu:  $A_{\text{sp}} = A / m$ .

Zusatz aus § 3 Abs.2 Nr.3 StrlSchV: Bei festen radioaktiven Stoffen ist die Bezugsmasse für die Bestimmung der spezifischen Aktivität die Masse des Körpers oder Gegenstandes, mit dem die Aktivität bei vorgesehener Anwendung untrennbar verbunden ist. Bei gasförmigen radioaktiven Stoffen ist die Bezugsmasse die Masse des Gases oder Gasgemisches.

Dieser Zusatz stellt klar, dass die Bezugsmasse nicht die Masse der Radionuklide ist.

## Aktivitätskonzentration

Quotient aus der Aktivität eines Stoffes und dem Volumen dieses Stoffes. Einheit Bq/m<sup>3</sup>. Bezeichnen A die Aktivität und V das Volumen des Stoffes, so ergibt sich die Aktivitätskonzentration zu:  $A_{\text{konz}} = A / V$ .

In der Strahlenschutzverordnung ist die Definition auf die Aktivität eines Radionuklids eingeschränkt: Die Aktivitätskonzentration ist das Verhältnis aus der Aktivität eines Radionuklids zum Volumen des Materials, in dem das Radionuklid verteilt ist.

(§ 3 Abs.2 Nr.4 StrlSchV).

Dieser Zusatz stellt außerdem klar, dass das Bezugsvolumen nicht das Volumen der Radionuklide ist.



## Aktivitätskonzentration, abgeleiteter Grenzwert

Als abgeleiteter Grenzwert der Aktivitätskonzentration wird die Aktivitätskonzentration der Atemluft bezeichnet, die bei einer Atemrate von 1,2 m<sup>3</sup>/h und 2000 h Aufenthaltszeit zur Ausschöpfung der maximal zulässigen Jahresaktivitätszufuhr über Inhalation führt. Dieser abgeleitete Grenzwert hängt von der Zusammensetzung der Aktivität in der Atemluft ab. Ist die Submersionsdosis (→[Submersion](#)) grenzwertbestimmend (z.B. bei Edelgasen), ist der abgeleitete Grenzwert die Aktivitätskonzentration, die bei 2000 h Aufenthaltszeit zu einer Ausschöpfung des Jahresgrenzwertes für die Körperdosis führt.

## Aktivitätsmessgeräte

Messgeräte zur Ermittlung des Aktivitätsgehalts in festen, flüssigen oder gasförmigen Stoffen; man unterscheidet integral messende Geräte, mit denen auf der Basis der gewählten Kalibrierung eine Gesamtaktivität ermittelt wird, und nuklidspezifisch messende Geräte, mit denen über eine Spektrumsanalyse die Art der radioaktiven Stoffe und deren Aktivität gemessen werden kann.

Zur Analyse von festen Stoffen kommen in der Praxis zumeist →[Proportionalzählrohre](#) (Endfensterzählrohre), →[Szintillationszähler](#) und →[Halbleiterdetektoren](#) zum Einsatz. Dabei befinden sich die Detektoren zur Abschirmung der störenden Umgebungsstrahlung häufig in einer Bleiabschirmung aus speziellem, strahlungsarmen Blei. Proportionalzählrohre und Szintillationsdetektoren werden für integrale Messungen eingesetzt. Einige Szintillationsdetektoren (z.B. NaI(Tl)-Detektoren) und insbesondere Halbleiterdetektoren eignen sich zur nuklidspezifischen Aktivitätsmessung. Eine spezielle Anwendung dieser Messtechnik, insbesondere zur Aktivitätsmessung an großen Flächen, ist die →[In-situ-Gammaspektrometrie](#).

Zur Analyse von flüssigen Stoffen können, sofern die Messung über emittierte Photonen erfolgt, dieselben Messgeräte eingesetzt werden wie bei den festen Stoffen. Dabei sind die Flüssigkeiten als Proben in Gefäßen verpackt oder die Detektoren tauchen in die Flüssigkeit ein (Eintauchzählrohre). Eine spezielle Art der Analyse von Flüssigkeiten, die mit energiearmen Betastrahlern kontaminiert sind, ist Untersuchung mit →[Flüssigszintillationszählern](#). Dabei wird die zu analysierende Flüssigkeit mit einer Szintillatorflüssigkeit gemischt, und der entstehende Cocktail wird ausgewertet.

Die Messung der luftgetragenen Aktivität erfolgt je nach Art der Aktivitätsträger (Gase, Dämpfe, Aerosole) durch Auswertung von Filtern, in denen die Aktivität zurückgehalten wurde, oder durch Direktmessung. Die Direktmessung wird vorzugsweise bei radioaktiven Gasen angewandt, die nicht in Filtern zurückgehalten werden (z.B. Edelgase wie Xe-133 oder Kr-85). Dabei kann die Luft den Detektor durchströmen, wobei eine integrale Beta-empfindliche Messung oder auch eine nuklidspezifische Messung durchgeführt wird, oder die Luft kann in ein Probengefäß gepumpt (Druckgasflasche) und dann nuklidspezifisch ausgewertet werden. Aerosole werden auf Filterpapieren abgeschieden, die im Messgerät selbst oder extern im Labor ausgewertet werden. Jod adsorbiert an in Filterpatronen befindlicher Aktivkohle oder Zeolith. Das Filtermaterial wird in der Regel anschließend im Labor integral oder nuklidspezifisch ausgemessen.

Integral messende Aktivitätsmessgeräte müssen für die vorliegenden Radionuklide kalibriert werden. Sofern die nuklidspezifische Zusammensetzung der radioaktiven Stoffe unbekannt ist, kann mit einer konservativen, d.h. abdeckenden Kalibrierung gemessen werden, oder es muss eine nuklidspezifische Messung durchgeführt werden. Nuklidspezifische Messungen erfordern in der Regel eine Kalibrierung der Messskala in Abhängigkeit von der Energie der Strahlungsteilchen (Energiekalibrierung) und eine Kalibrierung der Messeinrichtung in Abhängigkeit von der Nachweisempfindlichkeit gegenüber Strahlungsteilchen einer bestimmten Energie, das ist die energieabhängige Effizienz der Messeinrichtung (Effizienz-Kalibrierung) →[Effizienz](#).

## **Aktivitätszufuhr**

Die durch Mund oder Nase (Ingestion, Inhalation) oder durch die intakte oder verletzte Haut in den Körper gelangte Menge radioaktiver Stoffe. Die Aktivitätszufuhr kann über Messungen am Menschen ermittelt oder aus anderen Messwerten in Verbindung mit Annahmen zu den Verhaltensweisen des Menschen abgeschätzt werden. Die Messung der Aktivität am Menschen erfolgt über die Messung der Körperaktivität durch Ganzkörper- oder Teilkörpermessungen oder über die Messungen an Körperausscheidungen (Urin oder Stuhl). Im ersten Fall muss die zeitabhängige Verteilung der aufgenommenen Aktivität im Körper sowie ihr Verbleib über Retentionsfunktionen berücksichtigt werden, im zweiten Fall ist die Ausscheidungsrate über Exkretionsfunktionen einzubeziehen (→[Retention](#)).

Bei der Abschätzung der Aktivitätszufuhr über die Inhalation werden Messwerte der Aktivitätskonzentration in der Atemluft in Verbindung mit einer angenommenen Atemrate von 1,2 m<sup>3</sup>/h (für Berufstätige während beruflicher Exposition) verwendet. Bei Abschätzungen für Personen der Bevölkerung, deren Exposition über das gesamte Jahr verteilt ist, wird eine geringere mittlere Atemrate angenommen, welche die Absenkung der Atemrate zu Schlafzeiten berücksichtigt (8100 m<sup>3</sup>/a = 0,925 m<sup>3</sup>/h für Erwachsene). Für Kinder sind in der Strahlenschutzverordnung nach Altersgruppen gestaffelte Werte angegeben (Anlage VII Teil B Tabelle 2 StrlSchV).

Für die Abschätzung der Aktivitätszufuhr durch Ingestion gibt die Strahlenschutzverordnung anzunehmende Verzehrraten vor, die nach Altersgruppen gestaffelt sind (Anlage VII Teil B Tabelle 1 StrlSchV).

## **Akutes Strahlensyndrom (ASS)**

Strahlenkrankheit infolge hoher Strahlenexposition des gesamten Körpers oder eines großen Teils des Körpers, tritt in der Regel nach Energiedosen von 1Gy und mehr auf →[Strahlenwirkung bei hoher Ganzkörperbestrahlung](#)

## **AKW**

Abk. für Atomkraftwerk →[Kernkraftwerk](#).

## **ALARA**

Abk. von **as low as reasonably achievable** (so gering wie vernünftigerweise erreichbar). Konzept der →[Internationalen Strahlenschutzkommission](#) (ICRP) zur Dosisbegrenzung, erstmals vorgestellt in der ICRP-Veröffentlichung Nr. 26 (1977), ausführlich erläutert und begründet in der Empfehlung der Internationalen Strahlenschutzkommission von 1990, veröffentlicht 1991 als <sup>®</sup>ICRP-Veröffentlichung 60. Das ALA-

RA-Prinzip basiert auf der Annahme, dass es für stochastische Strahlenschäden keine untere Dosischwelle gibt.

Das ALARA-Prinzip steht in Konkurrenz zum nationalen deutschen Strahlenschutzrecht, nach dem jede Strahlenexposition auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich gehalten werden muss. →[Minimierungsgebot](#)

## **Alarmdosimeter**

Dosis- oder Dosisleistungsmessgerät, das bei Erreichen eines eingestellten Messwertes einen Alarm abgibt; Dosiswarngeräte werden eingesetzt, wenn bei einer Person ein definierter Dosiswert nicht überschritten werden darf. Dosisleistungs-Warngeräte dienen häufig der Warnung des Personals in Bereichen mit stark schwankender Ortsdosisleistung. Elektronische Personendosimeter können heute beide Warnfunktionen erfüllen.

## **ALARP**

Abk. von **as low as reasonable possible**; britische Abart des ALARA-Prinzips

## **Albedo**

Die Albedo oder das Remissionsvermögen ist das Verhältnis zwischen dem von einer Fläche rückgestreuten Strahlungsfluss und dem auf diese Fläche einfallenden Fluss.

## **Albedo-Dosimeter**

Das Albedo-Dosimeter dient der Messung der Personendosis in Gamma- und Neutronen-Strahlungsfeldern. In Deutschland ist es als amtliches Dosimeter zugelassen. Messprinzip:

Die auf den Körper auftreffenden Neutronen werden im Körper abgebremst (thermalisiert) und zum Teil rückgestreut. Dieser rückgestreute Anteil (Albedo) thermischer Neutronen wird zur Ermittlung der Neutronendosis herangezogen. Zum Nachweis der Strahlung enthält das Dosimeter zwei Thermolumineszenzdetektor-Paare und ggf. einen Kernspurfilm. Jedes Detektorpaar besteht aus zwei chemisch gleich aufgebauten →[Thermolumineszenzdetektoren](#) (TLD), deren Detektormaterial (z.B. LiF) sich jedoch in der Nuklidzusammensetzung unterscheiden. So wird z.B. in einem Detektor Li-6 und im anderen Li-7 verwendet, von denen Li-6 eine hohe Reaktionswahrscheinlichkeit mit thermischen Neutronen aufweist. Das Detektormaterial mit Li-6 ist daher empfindlich gegenüber Neutronen- und Gammastrahlung, Li-7 nur gegenüber Gammastrahlung. Durch Differenzbildung beider Detektoranzeigen kann die Neutronendosis ermittelt werden. Durch den Kernspurfilm kann zusätzlich der Beitrag schneller Neutronen berücksichtigt werden.

Ein Detektorpaar ist im Detektorgehäuse hinter dünnen Eintrittsfenstern angeordnet und somit auch empfindlich gegenüber von vorn einfallender Elektronenstrahlung. Das eigentliche Albedo-Detektorpaar sitzt hinter Eintrittsfenstern in der Gehäuserückseite, die gegenüber thermischen Neutronen ein geringes Absorptionsvermögen besitzen. Diese Detektorrückseite muss daher zum Körper zeigen, was beim Tragen des Albedodosimeters in der Praxis zu beachten ist.

Albedodosimeter können in Neutronenfeldern eingesetzt werden, die Neutronen vom thermischen Bereich bis zu Energien von 15 MeV enthalten. Die Auswertung setzt aber Informationen zum Energiespektrum der Neutronen voraus. Die auswertende Stelle gibt in der Regel Anwendungsbereiche vor, für die Auswertekalibrierungen vorliegen (z.B. Reaktorspektrum). Der entsprechende Anwendungsbereich muss beim Einsenden der Dosimeter angegeben werden. Bei geeigneter Kalibrierung kann der Messfehler unter 30 % gehalten werden. Die Nachweisgrenze liegt in der Praxis etwa bei 0,1 mSv.

## **ALI**

Abk. von annual limit of intake (Grenzwert der Jahresaktivitätszufuhr).

## **Allgemeine Verwaltungsvorschrift Strahlenpass**

Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 40 Abs. 2, § 95 Abs. 3 Strahlenschutzverordnung und § 35 Abs. 2 Röntgenverordnung ("AVV Strahlenpass") vom 14. Juni 2004 legt Form und Inhalt des Strahlenpasses für beruflich strahlenexponierte Personen und die Anforderungen an die Registrierung und das Führen eines Strahlenpasses fest. (BMU04)

## **Allobare**

Isotopenmischung eines Elements, bei dem das Isotopenverhältnis gegenüber dem natürlich vorkommenden verändert ist.

## **ALP**

Abk. von →[Ablaufplan](#)

## **Alphastrahlung**

Aus →[Alphateilchen](#) bestehende Teilchenstrahlung

## **Alphateilchen**

Von verschiedenen radioaktiven Stoffen beim Zerfall ausgesandtes, positiv geladenes Teilchen. Es besteht aus zwei Neutronen und zwei Protonen, ist also mit dem Kern des Heliumatoms identisch (Zeichen:  $\alpha$ ). Die Ruhemasse des Alphateilchens beträgt  $6,64424 \cdot 10^{-27}$  kg, das entspricht einer Ruheenergie  $3,72732 \cdot 10^9$  eV. Sie ist damit etwa 7300mal so groß wie die Elektronenmasse.

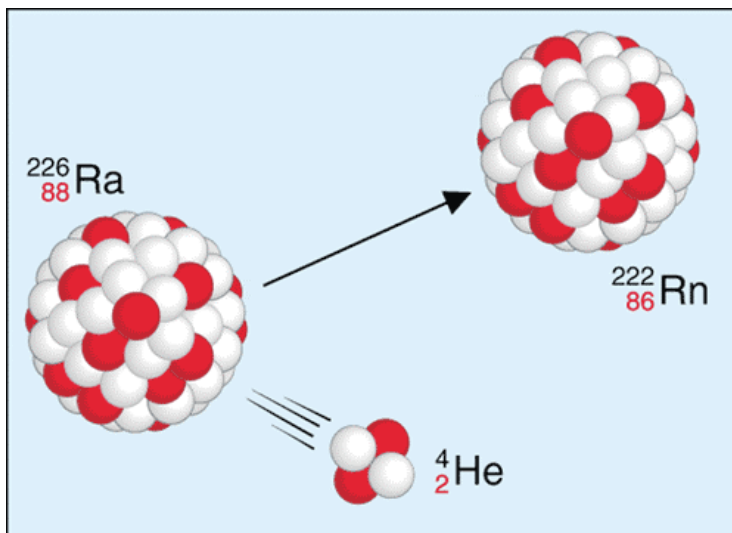
Wegen der großen Masse ist die Geschwindigkeit von Alphateilchen sehr viel geringer als die von Elektronen gleicher Energie. Die Bahn ist nahezu gradlinig und zeigt eine hohe Ionisationsdichte. Alphastrahlung ist die am wenigsten durchdringende Strahlung der drei Strahlungsarten (Alpha-, →[Beta-](#), →[Gammastrahlung](#)). Alphastrahlung wird schon durch ein Blatt Papier absorbiert, ihre Reichweite in Luft beträgt wenige cm.

Sie führt für Lebewesen nur dann zu relevanten Strahlenexpositionen, wenn die Alphastrahlen aussendende Substanz inkorporiert wird, d.h. eingeatmet oder mit der Nahrung aufgenommen wird oder in Wunden gelangt.

## Alphazerfall

Radioaktive Umwandlung, bei der ein  $\rightarrow$ Alphateilchen emittiert wird. Der Alphazerfall tritt vorwiegend bei Kernen mit hoher Nukleonenzahl auf, bei denen das Abstoßen einer stabilen Nukleonengruppe zu einem energetisch deutlich günstigeren Zustand führt. Der Zerfall muss nicht in einen einzigen definierten Energiezustand des Tochterkerns erfolgen, sondern er kann in verschiedene, zum Teil  $\rightarrow$ angeregte Zustände des Tochterkerns erfolgen. Für jeden Zustand des Tochterkerns gibt es dann eine  $\rightarrow$ Übergangswahrscheinlichkeit. Als Folge davon werden von der  $\alpha$ -strahlenden Substanz Alphateilchen mit unterschiedlicher Energie emittiert. Die Energie der Alphateilchen liegt typischerweise bei einigen MeV.

Beispiele: Ra-226  $E_\alpha = 4,60 \text{ MeV}, 4,78 \text{ MeV}$   
Pu-239  $E_\alpha = 5,14 \text{ MeV}, 5,16 \text{ MeV}$   
Am-241  $E_\alpha = 5,44 \text{ MeV}, 5,49 \text{ MeV}$



Alpha-Zerfall

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie

[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

Beim Alphazerfall nimmt die Ordnungszahl  $Z$  um zwei Einheiten und die Massenzahl  $A$  um vier Einheiten ab:  $(A, Z) \rightarrow (A-4, Z-2)$ . So entsteht z. B. aus Ra-226 mit der Ordnungszahl 88 durch den Alphazerfall Rn-222 mit der Ordnungszahl 86.

## Alvarez-Beschleuniger

Spezieller  $\rightarrow$ Driftröhren-Beschleuniger, bei dem die Hochspannung durch stehende elektromagnetische Wellen auf die Driftröhren übertragen wird.

## AMAD

Abk. für **activity median aerodynamic diameter**; der AMAD kennzeichnet die Partikelgrößen eines Aerosolgemischs und ist eine Art effektiver Partikeldurchmesser. Definiert ist der AMAD als der Durchmesser einer Kugel der Dichte  $1 \text{ g/cm}^3$ , die mit derselben Geschwindigkeit in Luft nach unten sinkt wie das Aerosolteilchen, dessen Aktivität dem  $\rightarrow$ Medianwert aller Aerosolteilchen entspricht.

Für die Berechnung der Inhalationsdosis durch radioaktive Aerosole wird eine AMAD von 5 µm unterstellt.

## Americium-Beryllium-Quelle

Die Americium-Beryllium-Quelle (Abk. Am-Be-Quelle) ist eine →[Neutronenquelle](#), in der Americium als Alphastrahler die für die Neutronen-produzierende Kernreaktion  $\text{Be-9} + \alpha = \text{C-12} + \text{n}$  erforderlichen Alphateilchen liefert.

## AMRadV

Abk. für →[Verordnung über radioaktive oder mit ionisierenden Strahlen behandelte Arzneimittel](#)

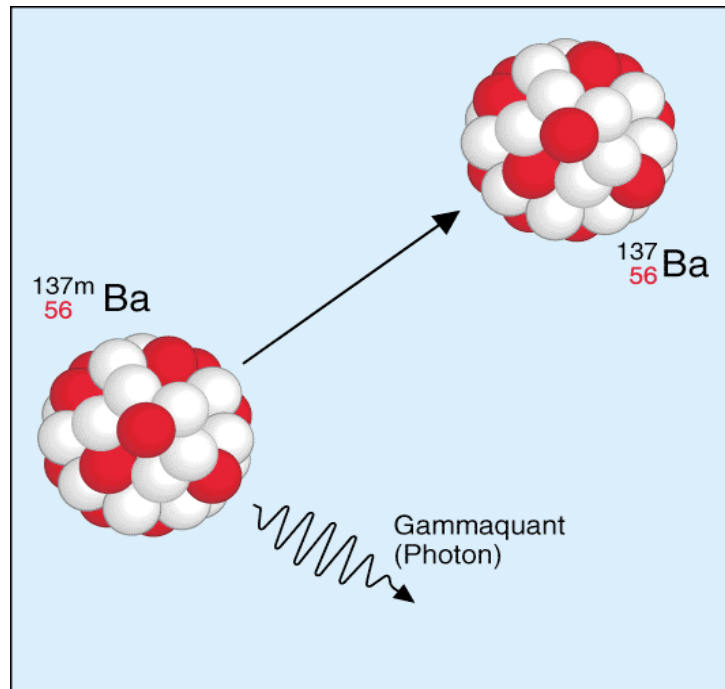
## Analog-Digital-Umwandler

Signalverarbeitungseinheit in einer spektrometrischen Messkette; →[Vielkanalanalysator](#)

## Angeregter Zustand

Zustand eines Atoms oder Kerns mit einer höheren Energie als seinem energetischen Grundzustand entspricht. Die Überschussenergie wird im Allgemeinen als Photon (Gammaquant) abgegeben. Angeregte Zustände gehen in der Regel in sehr kurzen Zeiten in den Grundzustand über. Dabei kann dieser Übergang in einem Sprung oder über Zwischenzustände kaskadenförmig erfolgen. Angeregte Zustände mit einer vergleichsweise langen Lebensdauer werden als →[metastabile Zustände](#) bezeichnet.

Beispiel: Ba-137m (als Tochter des Cs-137) geht unter Emission eines Gammaquants der Energie 662 keV in den Grundzustand des Ba-137 über.



Emission eines Gammaquants (Gammastrahlung,  $\gamma$ -Strahlung) aus einem angeregten Atomkern  
 Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Angereichertes Uran

Uran, bei dem der Prozentsatz des spaltbaren Isotops U-235 über den Gehalt von 0,7205 % im Natururan hinaus gesteigert ist. Angereichertes Uran wird z.B. zur Herstellung von Brennelementen für Kernkraftwerke oder als Spaltstoff für Kernwaffen benötigt. Je nach Einsatzzweck kann die Anreicherung von ca. 3 % bis über 90 % betragen. Zur Anreicherung sind verschiedene Verfahren möglich: →[Diffusionstrennverfahren](#), →[Gaszentrifugenverfahren](#), →[Trenndüsenverfahren](#).

## Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen

Nach § 3 Abs.2 Nr. 5 StrlSchV sind dies Anlagen, die geeignet sind, Photonen oder Teilchenstrahlung gewollt oder ungewollt zu erzeugen. Insbesondere sind dies Elektronenbeschleuniger, Ionenbeschleuniger und Plasmaanlagen. Die genehmigungsbedürftige Errichtung und der genehmigungsbedürftige Betrieb dieser Anlagen sind in § 11 StrlSchV geregelt.

## Anregungsenergie für Kernspaltung

Die Spaltung eines Atomkerns bedarf grundsätzlich der Zuführung einer Mindestenergie. Wird ein Neutron an einen Atomkern angelagert, so wird eine Energie frei, die sich aus der kinetischen Energie des Neutrons und der Bindungsenergie dieses Neutrons an den Kern zusammensetzt. Ist diese Energie größer als die Anregungsenergie für Spaltung für diesen Atomkern, kann der Atomkern spalten. Für U-235 beträgt die Anregungsenergie für Spaltung 5,7 MeV, die Bindungsenergie des anlagernden Neutrons 6,5 MeV, so dass auch Neutronen mit sehr geringen kinetischen



Energien (z. B. thermische Neutronen mit einer kinetischen Energie von nur 0,025 eV) die Spaltung auslösen können. Ähnlich liegen die Verhältnisse von Anregungsenergie und Bindungsenergie bei den Atomkernen von U-233, Pu-239 und Pu-241. Bei U-238 und Th-232 ist dagegen die erforderliche Anregungsenergie für Spaltung mit 6,5 MeV deutlich höher als die Bindungsenergie des anlagernden Neutrons mit 4,8 MeV, so dass eine Kernspaltung nur möglich ist, wenn das Neutron eine kinetische Energie von mindestens 1,7 MeV besitzt. Bei einigen sehr schweren Atomkernen ist auch eine spontane Spaltung möglich. →[Spaltung, spontane](#)

Atomkern	Anregungsenergie für Spaltung MeV	Bindungsenergie des letzten Neutrons MeV
Th-232	6,5	4,8
U-233	6,2	6,8
U-235	5,7	6,5
U-238	6,5	4,8
Pu-239	5,8	6,5
Pu-240	6,2	5,2
Pu-241	5,6	6,3

Anregungsenergie für Spaltung

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie

<http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/>

Service/021lexikon2010\_01.pdf

## Anreicherung

Vorgang, durch den der Anteil eines bestimmten →[Isotops](#) in einem Element vergrößert wird

## Anreicherungsfaktor

Verhältnis der relativen Häufigkeit eines bestimmten Isotops in einem Isotopengemisch zur relativen Häufigkeit dieses Isotops im Isotopengemisch natürlicher Zusammensetzung.

Beispiel: Der Anteil von U-235 im natürlichen Isotopengemisch des Urans beträgt 0,72 %. Wenn angereichertes Uran einen U-235-Anteil von 3 % enthält, beträgt der Anreicherungsfaktor  $3\% / 0,72\% = 4,17$ .

## Anreicherungsgrad

→[Anreicherungsfaktor](#) minus 1.

## Anreicherungsketten

Radioaktive Isotope eines Elementes verhalten sich chemisch wie seine nichtradioaktiven Isotope. Deshalb können sie sich wie diese in Pflanzen, Tieren und im Menschen anreichern oder anreichern. Eine solche Anreicherungskette liegt z. B. beim Iod vor. Über den Pfad Luft - Gras - Kuh - Milch ist eine Iodanreicherung schließlich in der menschlichen Schilddrüse gegeben. Diese Anreicherungs Vorgänge sind bekannt und berechenbar. Um die durch Anreicherungsketten entstehenden höheren Strahlenexpositionen in den betroffenen Organen zu vermeiden, werden die zulässi-



gen Freisetzungswerte für solche radioaktiven Stoffe entsprechend reduziert festgesetzt. Auch durch Anreicherungseffekte dürfen die durch Gesetze und Verordnungen festgelegten →[Dosisgrenzwert](#) nicht überschritten werden.

## Anreicherungsverfahren

→[Isotopentrennung](#).

## Ansprechvermögen

Begriff aus der Messtechnik; das Ansprechvermögen eines Detektors oder einer Messeinrichtung ist das Verhältnis zwischen der registrierten Impulszahl und der Anzahl der tatsächlich vorhandenen Strahlungsteilchen. Man unterscheidet häufig das *intrinsische* Ansprechvermögen und das *absolute* Ansprechvermögen. Daneben sind für spezielle Messsysteme noch weitere Definitionen gebräuchlich.

Das *intrinsische* Ansprechvermögen ist definiert als Quotient aus der gemessenen Impulszahl und der Zahl der auf den Detektor auftreffenden Strahlungsteilchen.

Das *absolute* Ansprechvermögen ist definiert als Quotient aus der gemessenen Impulszahl und der Zahl der die Strahlungsquelle verlassenden Strahlungsteilchen. Diese Definition wird im praktischen Strahlenschutz häufig verwendet. Die schließt die geometrischen Verhältnisse der Quellen-Detektor-Anordnung ein und berücksichtigt auch Verluste durch Absorption und Streuung auf dem Weg der Strahlungsteilchen zum Detektor.

Speziell für Messgeräte zur Ermittlung der Oberflächenkontamination wird das *Oberflächenansprechvermögen* definiert. Unter der Voraussetzung, dass sich die kontaminierte Fläche direkt unter dem Eintrittsfenster des Detektors (Fensterfläche  $W$ ) befindet, ist das Oberflächenansprechvermögen  $\varepsilon_0$  definiert als

$$\varepsilon_0 = \varepsilon \cdot \varepsilon_s \cdot W \cdot p$$

$\varepsilon$  = absolutes Ansprechvermögen

$\varepsilon_s$  = Wirkungsgrad der Quelle = Quotient aus der Zahl der die Quelle verlassenden und der in der Quelle erzeugten Strahlungsteilchen

$p$  = Teilchenausbeute = Anzahl der erzeugten, zu messenden Strahlungsteilchen je Zerfall

## Anthropomorphes Phantom

Phantom aus einem Material, das der Zusammensetzung des menschlichen Gewebes entspricht →[Gewebeäquivalentes Material](#)

## Antikathode

In einer Röntgenröhre werden die Elektronen von der Kathode zur Anode hin beschleunigt. Da die Erzeugung von Röntgenstrahlung die Abbremsung der Elektronen in Material hoher Ordnungszahl erfordert, wird die Anode an der Auftrefffläche mit Material hoher Ordnungszahl ausgestattet. Dieses Material bezeichnet man als Antikathode. →[Röntgenstrahlung](#)

## Antikoinzidenzschaltung

Elektronische Schaltung, die nur dann einen Ausgangsimpuls liefert, wenn nur an einem von mehreren Eingängen ein Impuls ankommt; treten an mehreren Eingängen gleichzeitig oder um eine bestimmte Zeit verzögert Impulse auf, so wird kein Ausgangsimpuls abgegeben.

## Antimaterie

Materie, in der die Kernteilchen (Neutronen, Protonen, Elektronen) durch die entsprechenden →[Antiteilchen](#) ersetzt sind (Antineutronen, Antiprotonen, Positronen).

## Antineutrino

Elementarteilchen, das beim  $\beta^-$ -Zerfall neben dem Elektron emittiert wird. Das Antineutrino hat wie das Neutrino eine Ruhemasse, die nach den bisherigen Erkenntnissen null ist. Die Forschungen auf diesem Gebiet sind allerdings noch nicht abgeschlossen. →[Elementarteilchen](#)

## Antiteilchen

Nach einer von Dirac 1928 aufgestellten Theorie gibt es zu jedem Elementarteilchen ein Antiteilchen. Antiteilchen haben die gleiche Masse, die gleiche mittlere Lebensdauer und den gleichen Spin wie die entsprechenden Teilchen, aber entgegengesetzte gleiche Baryonen- und Leptonenzahl. Antiteilchen und Teilchen sind entweder beide elektrisch neutral oder sie besitzen eine elektrische Ladung vom gleichen Betrag aber entgegengesetztem Vorzeichen.

Beispiele:

Das Antiteilchen zum Elektron, das beim  $\beta^-$ -Zerfall emittiert wird, ist das beim  $\beta^+$ -Zerfall emittierte Positron ( $\beta^+$ -Teilchen oder  $e^+$ ).

Die Daten des Protons und Antiprotons zeigt folgende Tabelle:

	Teilchen Proton	Antiteilchen Antiproton
Masse	$1,6726 \cdot 10^{-27}$ kg	$1,6726 \cdot 10^{-27}$ kg
mittlere Lebensdauer	stabil	stabil
Spin	1/2 h	1/2 h
Baryonenzahl	+1	-1
Leptonenzahl	0	0
elektrische Ladung	$+1,6022 \cdot 10^{-19}$ C	$-1,6022 \cdot 10^{-19}$ C

Wichtige Daten für das Teilchen-/Antiteilchen-Paar Proton/Antiproton

## APD

Abk. für Amtliche Personendosimetrie

## Apoptose

Die Apoptose ist ein programmierter, natürlicher Mechanismus zur Selbstzerstörung von Zellen. Er läuft durch zellinterne Mechanismen ab, die von außen oder innen initiiert worden sind. In der Strahlenbiologie wird diskutiert und untersucht, ob ionisierende Strahlung eine solche Initiierung auslösen kann und so bei niedrigen Dosen eine Konkurrenz zur Mutation, d.h. zur Krebsinitiierung, bewirken könnte.

## Äquivalentdosis

Produkt aus der →**Energiedosis**  $D$  im ICRU-Weichteilgewebe und dem →**Qualitätsfaktor**  $Q$  des ICRU-Reports 51.

$$H = Q \cdot D$$

Die Einheit ist Joule/Kilogramm (J/kg). Der besondere Name für die Einheit der Äquivalentdosis ist →**Sievert** (Sv). Die Größe Äquivalentdosis ist nur für den Dosisbereich des Routinestrahenschutzes definiert. Sie darf nicht bei hohen Strahlenexpositionen - z. B. bei Strahlenunfällen - angewandt werden. In solchen Fällen ist die Energiedosis zu verwenden. Das ICRU-Weichteilgewebe ist ein für dosimetrische Zwecke definiertes gewebeäquivalentes Material der Dichte  $1 \text{ g/cm}^3$ , das aus 76,2 % Sauerstoff, 11,1 % Kohlenstoff, 10,1 % Wasserstoff und 2,6 % Stickstoff besteht.

Neben dieser für messtechnische Zwecke im Strahlenschutz geltenden Definition der Äquivalentdosis wurde von der Internationalen Strahlenschutzkommission zu Strahlenschutz Zwecken 1990 die Organ-Äquivalentdosis (Äquivalentdosis in einem Organ oder Gewebe) eingeführt. Diese Äquivalentdosis  $H_{T,R}$  in einem Organ oder Gewebe  $T$  durch die Strahlenart  $R$  ist:

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

Dabei sind  $w_R$  der →**Strahlungs-Wichtungsfaktor** und  $D_{T,R}$  die →**Energiedosis** gemittelt über das Gewebe oder Organ  $T$  durch die Strahlenart  $R$ . Bei einem gemischten Strahlenfeld gilt für die gesamte Äquivalentdosis  $H_T$  im Gewebe oder Organ  $T$ :

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

Die Einheit ist Joule/kg (J/kg). Der besondere Name für die Einheit der (Organ-) Äquivalentdosis ist ebenfalls Sievert. Gelegentlich wird noch der frühere Einheitenname →**Rem** gebraucht. 1 Sievert ist gleich 100 Rem.

Die Größe Organ-Äquivalentdosis bietet für Strahlendosen weit unter den Schwellwerten für →**deterministische Strahlenwirkungen** eine Grundlage zur Abschätzung →**stochastischer Strahlenwirkungen**. In der deutschen Strahlenschutzverordnung wird diese Dosisgröße Organdosis genannt.

## Äquivalentdosisleistung

Änderung der Äquivalentdosis  $H$  mit der Zeit:  $dH/dt$ ; messtechnisch wird die Äquivalentdosisleistung ermittelt, indem der Quotient aus der Äquivalentdosis  $\Delta H$  in einer kurzen Zeitspanne  $\Delta t$  und dieser Zeit gebildet wird:  $\Delta H / \Delta t$ . Die praktische Maßeinheit im Strahlenschutz ist z. B.: Millisievert/Stunde (mSv/h)

## Arbeit

In der Strahlenschutzverordnung wird der Begriff „Arbeit“ in Abgrenzung zum Begriff „Tätigkeit“ verwendet. Mit Arbeiten wird der früher nicht im Regelungsbereich der Strahlenschutzverordnung enthaltene Bereich erfasst, in dem ein Schutz vor natürlich vorkommender ionisierender Strahlung erforderlich ist. Insbesondere gehören dazu Strahlenexpositionen, die in folgenden Zusammenhängen auftreten:

- Aufsuchung, Gewinnung, Erzeugung, Lagerung, Bearbeitung, Verarbeitung und sonstigen Verwendung von Stoffen, die natürliche Radionuklide enthalten oder mit solchen kontaminiert sind. Dabei darf der Umgang mit diesen Stoffen nicht wegen der Radioaktivität derselben erfolgen.
- Verwertung und Beseitigung von Stoffen, die natürliche Radionuklide beinhalten und beim o.g. Umgang angefallen sind.
- Einwirkung von natürlichen, terrestrischen Strahlenquellen, insbesondere von Radon und dessen Folgeprodukten.
- Berufsausübung als fliegendes Personal in Flugzeugen.

Siehe dazu § 3 Abs. 1 Nr.2 StrlSchV in Verbindung mit § 2 Abs.1 StrlSchV und § 3 Abs.2 Nr. 20 StrlSchV

## Arbeitsbehälter

Bezeichnung für einen Strahlenschutzbehälter für →[Bestrahlungsvorrichtungen](#)

## Arbeitskräfte, strahlenexponierte

Begriff aus den EU-Grundnormen zum Strahlenschutz; im deutschen Strahlenschutzrecht wird der Begriff →[beruflich strahlenexponierte Personen](#) verwendet.

## Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung

Beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A müssen vor Beginn ihrer Tätigkeit und dann mindestens jährlich wiederkehrend von einem ermächtigten Arzt auf ihre Tauglichkeit untersucht werden (§ 60 StrlSchV, § 37 RöV, arbeitsmedizinische Vorsorge). Für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie B kann dies von der Behörde angeordnet werden. Bei relevanten Krankheiten zwischen den Untersuchungsterminen (z.B. bei Hautkrankheiten) ist eine außerplanmäßige Beurteilung durch den ermächtigten Arzt angezeigt.

Nach besonders hohen Strahlenexpositionen, z.B. bei einer effektiven Dosis von mehr als 50 mSv im Kalenderjahr, muss unverzüglich eine besondere arbeitsmedizinische Untersuchung des Betroffenen veranlasst werden. Dies ist bereits erforderlich, wenn eine derartig hohe Strahlenexposition nicht auszuschließen ist (§63 StrlSchV).

## Arbeitsplatzaktivität

In der →[Richtlinie zur physikalischen Strahlenschutzkontrolle](#) definierter Begriff; er bezeichnet die Aktivität eines Radionuklids, die infolge des Umgangs mit offenen radioaktiven Stoffen am Arbeitsplatz vorhanden ist.

## Arbeitsplatzeinhausung

Strahlenschutzmaßnahme zur Vorsorge gegen Kontaminationsausbreitung; →[Arbeitszelt](#)

## Arbeitsplatzüberwachung

Im Strahlenschutz die radiologische Überwachung des Arbeitsplatzes mit dem Ziel, getroffene Strahlenschutzmaßnahmen zu überprüfen und bei Bedarf zusätzliche Strahlenschutzmaßnahmen zu veranlassen; zur Arbeitsplatzüberwachung können z.B. gehören: Messung der Ortsdosis oder Ortsdosisleistung, der Kontamination an Oberflächen und der Aktivitätskonzentration in der Raumluft oder in Arbeitsmedien. Zur Arbeitsplatzüberwachung werden vor Ort installierte Messgeräte, ggf. mit Warn- und Alarmfunktionen, aber auch ständig vor Ort befindliches Strahlenschutzpersonal eingesetzt. Explizit gefordert wird die Überwachung des Arbeitsplatzes in § 39 StrlSchV.

## Arbeitszelt

Bei Arbeiten mit Aktivitätsfreisetzungen, z.B. Trennschweißen an kontaminierten Rohrleitungen, wird der Arbeitsplatz zur Vermeidung von Kontaminationsausbreitungen häufig mit einem Arbeitszelt eingehaust. Je nach Umfang der Tätigkeiten, nach Höhe und Zusammensetzung der Aktivität und nach den Anforderungen des Brandschutzes gibt es unterschiedliche Anforderungen an das Arbeitszelt. Durch Absaugung der Zeltluft über eine Filteranlage wird eine gerichtete Luftströmung in das Zelt hinein sichergestellt. Falls erforderlich wird der Ausfall der Absaugeinrichtung im Zelt akustisch und/oder optisch signalisiert. Der Personenzugang erfolgt bei Bedarf über eine Personenschleuse. Diese wird bei radiologisch besonders bedeutsamen Kontaminationen (z.B. Alphakontaminationen) als Doppelschleuse ausgeführt, in der die im Zelt zu tragende Schutzkleidung stufenweise abgelegt werden kann. Das Zelt selbst wird in diesen Fällen als Doppelzelt ausgeführt, wobei das Innenzelt die Hauptbarriere für die Kontamination darstellt, die beim Zeltabbau als erstes entfernt wird. Für Materialtransporte kann eine separate Materialschleuse erforderlich sein. Bei Heißarbeiten sind zur Brandvorbeugung Brandschutzmatten als Innenauskleidung erforderlich.

Für Arbeitsplätze, die längere Zeit eingehaust werden müssen, wird häufig eine feste Einhausung errichtet. Diese kann z.B. aus mobilen Aluminiumwänden aufgebaut werden oder als Arbeitscontainer installiert werden. Diese Einhausung bietet insbesondere bei besonderer mechanischer Beanspruchung und aus Brandschutzgründen Vorteile. Für eine solche feste Einhausung wird auch der Begriff „Caisson“ verwendet.

## Argonaut

Abk. für **Argonne Nuclear Assembly for University Training**; Typ eines Schulungskernreaktors

## Ärztliche Überwachung

→[Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung](#)

## ASME

Abk. für **American Society of Mechanical Engineers**, New York, N.Y., USA.; die ASME gibt, ähnlich wie der DIN, Normen und technische Regeln heraus, welche Sicherheitsstandards festlegen. Für den Strahlenschutz haben z.B. Regeln zum Betrieb und zur Instandhaltung in Kernkraftwerken, zur Dekontamination und zur Behandlung radioaktiver Abfälle Bedeutung.

Internet: [www.asme.org](http://www.asme.org)

## ASS

Abkürzung für →**Akutes Strahlensyndrom**

## Asse

Zur versuchsweisen Endlagerung von schwach- und mittelaktiven Abfällen hergerichtete ehemaliges Salzbergwerk 10 km südöstlich von Wolfenbüttel; in dem Salzbergwerk wurde seit 1908 Salz (Kalisalz und Steinsalz) abgebaut. Der Salzabbau wurde 1964 eingestellt. 1965 übernahm das Institut für Tiefenlagerung im Auftrag des damaligen Bundesministeriums für Forschung und Technologie die Schachtanlage mit dem Auftrag, die Endlagerung radioaktiver Abfälle zu erforschen.

Nach einigen Umbauten begann 1967 die Versuchseinlagerung radioaktiver Abfälle. Bis 1978 wurden nach Angaben des damaligen Betreibers 125.787 Gebinde mit schwach radioaktiven Abfällen in insgesamt 12 Einlagerungskammern auf den 725-m- und 750-m-Sohlen eingelagert. Insgesamt 1.293 Gebinde mit mittelaktiven Abfällen wurden in eine Kammer in 511 m Tiefe eingelagert. Der größte Teil der eingelagerten Abfälle wurde zwar aus den Forschungszentren Jülich und Karlsruhe angeliefert, stammt aber nach Angaben des jetzigen Betreibers ursprünglich aus anlagender Kernkraftwerksbetreiber. Die Gesamtaktivität der eingelagerten Abfälle beträgt ca.  $2,9 \cdot 10^{15}$  Bq (Bezug: 2010)

Die Genehmigung zur Einlagerung radioaktiver Abfälle ist seit 1978 abgelaufen. Zurzeit laufen Untersuchungen zur endgültigen Stilllegung der Schachtanlage Asse. Nach Beschluss der Bundesregierung ist seit dem 1.1.2009 das Bundesamt für Strahlenschutz über die Asse GmbH Betreiber der Schachtanlage Asse. Atomrechtliche Aufsichtsbehörde ist die Organisationseinheit Endlagerüberwachung (EÜ) des Bundesamts für Strahlenschutz.

Informationen: [http://www.endlager-asse.de/DE/1\\_Home/home\\_node.html](http://www.endlager-asse.de/DE/1_Home/home_node.html)

## AtDeckV

Abk. für →**Atomrechtliche Deckungsvorsorge-Verordnung**

## Atemminutenvolumen

Begriff aus dem Arbeitsschutz (Atemschutz); das Atemminutenvolumen ist das Luftvolumen, das in einer Minute veratmet wird. (BGR190)

## Atemschutzgeräte

Persönliche Schutzgeräte gegen die Inkorporation radioaktiver Stoffe in kontaminierter Umgebung; man unterscheidet grundsätzlich zwei Arten von Atemschutzgeräten: Filtergeräte und Isoliergeräte. Bei den Filtergeräten wird die Raumluft über Filter ge-



leitet und als Atemluft zugeführt. Isoliergeräte arbeiten unabhängig von der Umgebungsluft und führen saubere Luft, z.B. aus Druckgasflaschen, als Atemluft zu. Bei Filtergeräten ist zum Schutz gegen radioaktive Stoffe für Partikelfilter die Schutzstufe P3 (hohes Abscheidevermögen) vorgeschrieben. Im Strahlenschutz werden in der Regel Partikelfilter zum Schutz gegen trockene und feuchte Aerosole eingesetzt und Kombinationsfilter zum Schutz gegen Aerosole und radioaktive Gase (z.B. radioaktives Jod). In Kernkraftwerken sind Kombinationsfilter gegen Aerosole und Jod als sogen. Reaktorfilter gebräuchlich. Zum Schutz gegen radioaktive Edelgase sind Filtermasken ungeeignet, da die Filter für Edelgase kein angemessenes Rückhaltevermögen aufweisen. Gegen radioaktive Edelgase kommen Vollschutzanzüge mit Fremdluftversorgung zum Einsatz.

Filter sind zur Kennzeichnung ihres Anwendungsbereichs farblich gekennzeichnet. Partikelfilter tragen eine weiße Kennung, Kombinationsfilter für den Reaktorbereich eine orange-weiße Kennung. Partikelfilter dürfen nicht mehrmals eingesetzt werden, es sei denn nach einem kurzzeitigen Einsatz von nicht mehr als einer halben Stunde. Filtermasken sind als Vollmasken, Halbmasken oder Viertelmasken gebräuchlich. Vollmasken umschließen Mund, Nase, Augen und Kinn, Halbmasken Mund, Nase und Kinn und Viertelmasken nur Mund und Nase. Die Rückhaltefähigkeit der unterschiedlichen Atemschutzgeräte wird durch den VdGW-Wert gekennzeichnet. Dieser gibt das Vielfache des Grenzwertes der maximalen Schadstoffkonzentration in der Raumluft an, bei dem mit dem entsprechenden Schutzgerät noch gearbeitet werden kann. Der Rückhaltefaktor RF des Atemschutzgerätes kann daraus ermittelt werden. Beispiel:  $VdGW = 100 \rightarrow RF = 99 \%$ . Diese Werte gelten nur bei ausreichendem Dichtsitz des Atemschutzgerätes.

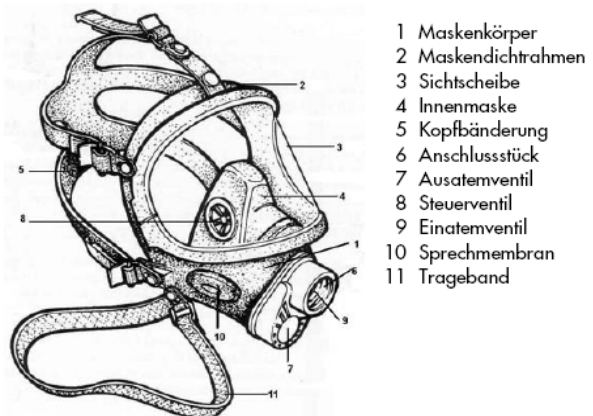
Für Filtermasken ergeben sich folgende Werte (BGR190):

Vollmaske mit P3-Filter:	VdGW = 400	RF = 99,75 %
Halb-/Viertelmaske mit P3-Filter:	VdGW = 30	RF = 96,67 %

Für Kombinationsfilter gelten dieselben Werte.

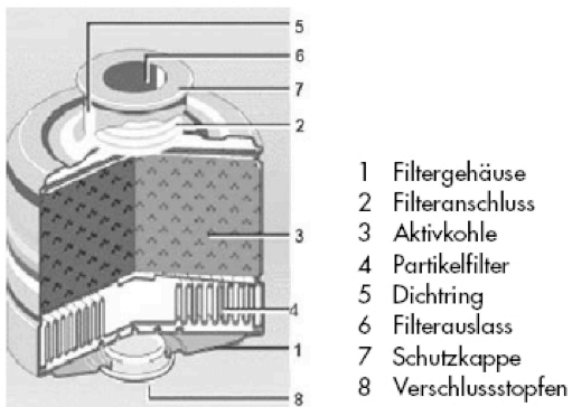


Vollmaske; Quelle: [www.msa-auer.de](http://www.msa-auer.de)



- 1 Maskenkörper
- 2 Maskendichtrahmen
- 3 Sichtscheibe
- 4 Innenmaske
- 5 Kopfbänderung
- 6 Anschlussstück
- 7 Ausatemventil
- 8 Steuerventil
- 9 Einatemventil
- 10 Sprechmembran
- 11 Trageband

Beispielhafter Aufbau einer Vollmaske (aus BGR190)



Kombinationsfilter (aus BGR190)



Partikelfilter

Isoliergeräte werden unterteilt in frei tragbare Geräte (Pressluftatmer, Regenerationsgeräte) und nicht frei tragbare Geräte (Schlauchgeräte). Bei Pressluftatmern wird die Atemluft in einer Druckgasflasche mitgeführt. Regenerationsgeräte gewinnen Sauerstoff aus der Ausatemluft zurück und ergänzen diesen durch mitgeführten Sauerstoff oder Sauerstoff, der über chemische Reaktionen gewonnen wird. Bei Schlauchgeräten wird die Atemluft als Frischluft mit leichtem Überdruck zugeführt oder als Druckluft (ca. 10 bar), wobei der Druck an der Schutzkleidung über ein Reduzierventil gesenkt wird.

Für Atemschutzgeräte besteht eine Prüfpflicht. Dazu sind die EG-Baumusterprüfbescheinigung einer notifizierten Stelle und regelmäßige Kontrollmaßnahmen erforderlich. Zur Benutzung dürfen nur zertifizierte, d.h. mit CE-Kennzeichnung versehene Atemschutzgeräte ausgegeben werden, die neben dem CE-Zeichen die vierstellige Nummer der zertifizierenden Stelle enthält. (BGR190)

Für Atemschutzgeräte gibt es eine Vielzahl von Vorgaben, die in DIN-Normen festgelegt sind. Eine umfassende Auflistung der Normen findet sich in BGR190.

Internet: <http://www.bgfe.de/>

## Atemschutzmaßnahmen

Im Strahlenschutz Maßnahmen zur Vermeidung der Inkorporation radioaktiver Stoffe über die Atemluft; Atemschutzmaßnahmen können technischer oder organisatorischer Natur sein oder in der Anwendung von Körperschutzmitteln bestehen. Nach § 43 StrlSchV haben technische Maßnahmen Vorrang vor organisatorischen oder vor der persönlichen Schutzausrüstung. Desgleichen wird in den Unfallverhütungsvorschriften für Kernkraftwerke (VGB30) betont, dass vor dem Einsatz der persönlichen Schutzausrüstung technische und organisatorische Maßnahmen anzuwenden sind. Zu den technischen Maßnahmen zählen z.B. Vermeidung von Aktivitätsfreisetzungen durch dichten Einschluss der radioaktiven Stoffe, Spülen von Raumbereichen und gezielte Ausaugung der kontaminierten Raumluft am Arbeitsplatz.



## Atemschutzuntersuchung

Für Personen, die unter Atemschutz tätig werden sollen, muss vorher von einem Arzt aufgrund einer arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchung die Unbedenklichkeit für die Tätigkeit bescheinigt worden sein. Man unterscheidet Erstuntersuchungen vor der erstmaligen Aufnahme der Tätigkeit unter Atemschutz und Nachuntersuchungen. Nachuntersuchungen sind für Personen im Alter bis 50 Jahre alle 3 Jahre erforderlich. Für Personen im Alter von über 50 Jahren beträgt die Frist 2 Jahre (bei Gerätegewichten bis 5 kg) bzw. 1 Jahr (bei Gerätegewichten über 5 kg).

Die Eignung für die Tätigkeit unter Atemschutz kann für drei Atemschutzgerätegruppen festgestellt werden:

Gruppe 1: Gerätegewicht bis 3 kg

Gruppe 2: Gerätegewicht bis 5 kg (Beispiel: Partikelfilter P3)

Gruppe 3: Gerätegewicht über 5 kg (Beispiel: Pressluftatmer)

Im Strahlenschutz ist mindestens die Eignung für die Gruppe 2 erforderlich. Details regelt der berufsgenossenschaftliche Grundsatz G26 für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen (BGG26).

## Atemschutzunterweisung

Personen, die unter Atemschutz tätig werden sollen, müssen über die Gefahren bei Arbeiten in schadstoffhaltiger Raumluft theoretisch unterwiesen werden und in der Anwendung der Atemschutzgeräte praktisch geübt werden. Die Unterweisung ist zu dokumentieren und der Unterwiesene muss die Unterweisung durch Unterschrift bestätigen. Die Dokumentationsunterlage ist mindestens bis zur nächsten Unterweisung aufzubewahren. Die Unterweisung muss vor dem erstmaligen Einsatz unter Atemschutz erfolgen und mindestens jährlich wiederholt werden.

Der Umfang der Unterweisung richtet sich nach der Art der Atemschutzgeräte:

Filtergeräte: Dauer ca. 2h; der praktische Teil soll Trageübungen mit dem Filtergerät beinhalten

Isoliergeräte: Dauer mind. 8 h bis 20 h; im praktischen Teil sind Arbeiten mit angelegtem Gerät vorgeschrieben; das Verhältnis Theorie/Praxis soll ca. 2:1 betragen (BGR190).

## AtG

Abk. für →[Atomgesetz](#)

## AtKostV

Abk. für →[Kostenverordnung](#) zum Atomgesetz

## Atom

Kleinste Teilchen eines →[Elementes](#), das auf chemischem Wege nicht weiter teilbar ist. Die Elemente unterscheiden sich durch ihren Atomaufbau voneinander. Atome sind unvorstellbar klein. Ein gewöhnlicher Wassertropfen enthält etwa 6.000 Trillionen (eine 6 mit 21 Nullen) Atome. Der genaue Aufbau eines Atoms entzieht sich we-

gen seiner geringen Größe der direkten Beobachtung. Zur Veranschaulichung und zur Erklärung der Beobachtungen wurden Atommodelle entwickelt. Ein einfaches und für die Erklärung der Radioaktivität oft ausreichendes Modell ist das →Bohr'sche Atommodell

## Atomare Masseneinheit

1/12 der Masse des Nuklids C-12; Zeichen  $m_u$  (engl. amu)  $m_u = 1,66056 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

## Atombombe

Kernwaffe, die die Energiefreisetzung bei der Spaltung von U-235 oder Pu-239 nutzt. Die Sprengkraft einer Kernwaffe wird in Kilotonnen (kt) oder Megatonnen (Mt) TNT-Äquivalenten angegeben; TNT (Trinitrotoluol) ist ein chemischer Sprengstoff. Bei den Bomben auf Hiroshima (U-235-Bombe) und Nagasaki (Pu-239-Bombe) entsprach die Explosionsenergie der von 13 bzw. 22 kt TNT. Dabei wurde rund 1 kg Spaltstoff in einer millionstel Sekunde gespalten. Für einen nuklearen Sprengsatz wird eine Mindestmasse an Spaltmaterial benötigt, so z. B. 52 kg U-235. Unter Nutzung der höchstentwickelten Waffentechnik der Kernwaffenländer ergeben sich z. T. niedrigere Werte, so z. B. 15 kg und weniger für metallisches U-235. Weiterhin wird eine Zündvorrichtung benötigt, die diese Spaltstoffmengen in sehr kurzer Zeit zu einer kritischen Konfiguration zusammenschießt, damit die Kettenreaktion ablaufen kann (→kritische Masse). Für Waffenplutonium nennen Experten als Geschwindigkeit einige Kilometer pro Sekunde, für Reaktorplutonium mit seinem hohen Anteil an anderen Plutonium-Isotopen ist ein Mehrfaches dieser Zusammenschussgeschwindigkeit erforderlich. →Wasserstoffbombe.

Bis heute wurden oberirdisch, d. h. mit einer Freisetzung der radioaktiven Stoffe in die Atmosphäre, 514 Kernwaffen (+ 39 Sicherheitstests) mit einer Sprengkraft von 440 Megatonnen TNT-Äquivalent gezündet. Die nach Zahl und Sprengkraft größten Versuchsserien wurden in den Jahren 1961/62 durchgeführt. Insgesamt wurden dabei 5 – 7 t Plutonium in der Atmosphäre verteilt. Die radioaktiven Rückstände in der Umwelt bewirken einen kleinen Teil der zivilisatorischen Strahlenexposition. (→Strahlenexposition, zivilisatorische, →Plutonium)Die Zahl der unterirdischen Explosionen beträgt 1538 (die Datenangaben schwanken bis zu 1876) mit einer Sprengkraft von 90 Mt. Diese unterirdischen Explosionen sind mit keiner relevanten Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Atmosphäre verbunden.

Art des Spaltstoffs	Menge in kg	
	als Metall	als Oxid
Waffen-Plutonium	10	30
Reaktor-Plutonium	>13	40
93% anger. U-235	52	100
3% anger. U-235 (LWR-Brennstoff)	nicht möglich	nicht möglich
U-233	16	40

Geschätzte Mindestmenge an Spaltstoff für nukleare Sprengsätze

## Atomenergie

Umgangssprachlicher Begriff für →[Kernenergie](#)

## Atomgesetz

Das "Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren" - Atomgesetz - ist am 1. Januar 1960 in Kraft getreten. Es wurde in der Zwischenzeit mehrfach geändert und ergänzt. Wesentliche Änderungen erfolgten insbesondere durch das "Gesetz zur geordneten Beendigung der Kernenergienutzung zur gewerblichen Erzeugung von Elektrizität" vom 22. April 2002. Wichtige Änderungen durch dieses Gesetz sind: Geordnete Beendigung der nuklearen Stromerzeugung, Genehmigungsverbot für die Errichtung und den Betrieb neuer Reaktoren zur Stromerzeugung, Festlegung der Elektrizitätsmengen, die von den bestehenden Kernkraftwerken noch erzeugt werden dürfen, Unzulässigkeit der Abgabe bestrahlter Kernbrennstoffe aus Kernkraftwerken zur Wiederaufarbeitung ab dem 1. Juli 2005, Pflicht zur Errichtung von Zwischenlagern für abgebrannte Kernbrennstoffe am Standort. Zweck des Atomgesetzes ist,

1. die Nutzung der Kernenergie zur gewerblichen Erzeugung von Elektrizität geordnet zu beenden und bis zum Zeitpunkt der Beendigung den geordneten Betrieb sicherzustellen,
2. Leben, Gesundheit und Sachgüter vor den Gefahren der Kernenergie und der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlen zu schützen und durch Kernenergie oder ionisierende Strahlen verursachte Schäden auszugleichen,
3. zu verhindern, dass durch Anwendung oder Freiwerden der Kernenergie die innere oder äußere Sicherheit der Bundesrepublik gefährdet wird,
4. die Erfüllung internationaler Verpflichtungen der Bundesrepublik auf dem Gebiet der Kernenergie und des Strahlenschutzes zu gewährleisten.

Das Atomgesetz ist die Grundlage für die nachgeschalteten Rechtsverordnungen zum Strahlenschutz, die →[Strahlenschutzverordnung](#) und die →[Röntgenverordnung](#).

Lit.: ATG, RÖV

## Atomgewicht

Relativzahl für die Masse eines Atoms. Die Grundlage der Atomgewichtsskala ist das Kohlenstoffatom, dessen Kern aus sechs Protonen und sechs Neutronen besteht. Ihm wurde das Atomgewicht 12 zugeteilt. Somit ist die Atomgewichtseinheit 1/12 des Gewichtes des Kohlenstoff-12. Die Basisgröße für die Masse ist die →[atomare Masseneinheit](#)  $m_u$  . →[relative Atommasse](#)

## Atomhaftungsübereinkommen

Übereinkommen vom 29. Juli 1960 über die Haftung gegenüber Dritten auf dem Gebiet der Kernenergie (Pariser Atomhaftungsübereinkommen), Bekanntmachung der Neufassung vom 15. Juli 1985 im Bundesgesetzblatt, Teil II, S. 963. Internationales Übereinkommen, um den Personen, die durch ein nukleares Ereignis Schaden erlei-

den, eine angemessene und gerechte Entschädigung zu gewährleisten und um gleichzeitig die notwendigen Maßnahmen zu treffen, um sicherzustellen, dass dadurch die Entwicklung der Erzeugung und Verwendung der Kernenergie für friedliche Zwecke nicht behindert wird.

## **Atomkern**

Positiv geladener Kern eines Atoms. Sein Durchmesser beträgt einige  $10^{-15}$  (billiardstel) m, das ist rund 1/100 000 des Atomdurchmessers. Er enthält fast die gesamte Masse des Atoms. Der Kern eines Atoms ist, mit Ausnahme des Kernes des normalen Wasserstoffes, zusammengesetzt aus →Protonen und →Neutronen. Die Anzahl der Protonen bestimmt die Kernladungs- oder →Ordnungszahl Z, die Anzahl der Protonen plus Neutronen - der Nukleonen - die Nukleonen- oder Massenzahl A des Kerns.

## **Atommasse**

Die Masse eines Atoms  $m_a$  ist absolut gesehen in SI-Einheiten ein sehr kleiner Zahlenwert. Beispiel:  $m_a(\text{C-12}) = 1,993 \cdot 10^{-23}$  g. Man drückt sie deshalb in Vielfachen der →atomaren Masseneinheit aus. →relative Atommasse

## **Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung**

Verordnung über die Verbringung radioaktiver Abfälle in das oder aus dem Bundesgebiet (AtAV); diese Verordnung regelt die Verbringung radioaktiver Abfälle im Sinne der Richtlinie 92/3/EURATOM vom 3. Februar 1992 zur Überwachung und Kontrolle der Verbringung radioaktiver Abfälle von einem Mitgliedstaat in einen anderen, in die Gemeinschaft und aus der Gemeinschaft.

## **Atomrechtliche Deckungsvorsorge-Verordnung**

Die Verordnung über die →Deckungsvorsorge nach dem Atomgesetz (Atomrechtliche Deckungsvorsorge-Verordnung - AtDeckV) regelt die Deckungsvorsorge für Anlagen und Tätigkeiten, bei denen eine atomrechtliche Haftung nach internationalen Verträgen oder nach dem Atomgesetz in Betracht kommt. Die Deckungsvorsorge kann durch eine Haftpflichtversicherung oder eine Freistellungs- oder Gewährleistungsverpflichtung eines Dritten erbracht werden.

## **Atomrechtliche Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung**

Die Verordnung über den kerntechnischen Sicherheitsbeauftragten und über die Meldung von Störfällen und sonstigen Ereignissen (Atomrechtliche Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung - AtSMV) regelt die Bestellung und den Aufgabenbereich des kerntechnischen Sicherheitsbeauftragten in Anlagen zur Spaltung von Kernbrennstoffen über einer thermischen Höchstleistung von 50 kW und enthält die Vorschriften zur Meldung sicherheitsrelevanter Ereignisse an die Aufsichtsbehörde.

## **Atomrechtliche Verfahrensverordnung**

Die Verordnung über das Verfahren bei der Genehmigung von Anlagen nach § 7 des Atomgesetzes (Atomrechtliche Verfahrensverordnung - AtVfV) vom 28. Februar 1977 in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. Februar 1995 – zuletzt geändert durch

Gesetz vom 25. März 2003 - regelt das Verfahren bei der Erteilung einer Genehmigung, einer Teilgenehmigung oder eines Vorbescheids für die in § 7 Abs. 1 und 5 des Atomgesetzes genannten Anlagen. Die AtVfV regelt insbesondere die Beteiligung Dritter und den →[Erörterungstermin](#).

## **Atomrechtliche Zuverlässigkeitsprüfungs-Verordnung**

Verordnung für die Überprüfung der Zuverlässigkeit zum Schutz gegen Entwendung oder erhebliche Freisetzung radioaktiver Stoffe; diese Verordnung regelt die Verfahren und Zuständigkeiten für die Überprüfung der nach dem Atomgesetz geforderten Zuverlässigkeit von Personen im Hinblick auf den Schutz gegen Entwendung oder erhebliche Freisetzung radioaktiver Stoffe.

## **Atomuhr**

Gerät, das sich der Atomkern- oder Molekülschwingungen zur Messung von Zeitintervallen bedient. Diese Schwingungen sind äußerst zeitkonstant.

## **AtSMV**

Abk. für →[Atomrechtliche Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung](#)

## **AtVfV**

Abk. für →[Atomrechtliche Verfahrensverordnung](#)

## **Ätzspurdosimeter**

→[Kernspurdetektor](#)

## **Aufbaueffekt**

Beim Durchgang von Strahlung durch Materie wird die Primärstrahlung durch Wechselwirkungen geschwächt. Diese Schwächung kann z.B. für Photonenstrahlung durch ein einfaches exponentielles Gesetz beschrieben werden. Für eine Strahlungsfeldgröße nach dem Durchgang durch eine Materieschicht, z.B. die Dosisleistung, ist jedoch neben der geschwächten Primärstrahlung auch die durch Wechselwirkungsprozesse erzeugte Sekundärstrahlung relevant. Diese erhöht den Wert der Feldgröße. Diesen Effekt bezeichnet man als Aufbaueffekt.

## **Aufbaufaktor**

→[Dosisaufbaufaktor](#)

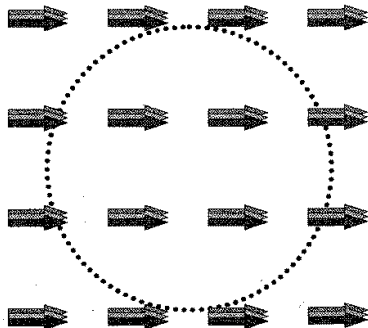
## **Aufenthaltsbereich, wichtiger**

Begriff aus dem medizinischen Strahlenschutz; hier ist der Bereich gemeint, in dem sich der Bediener oder das Personal bei der medizinischen Anwendung ionisierender Strahlung in der Nähe des Patienten oder einer Einrichtung aufhalten muss und dessen Schutz daher für den Strahlenschutz des Personals wichtig ist. Der Strahlenschutz wird durch gerätetechnische Maßnahmen oder Abstandhaltung sichergestellt. (s. auch DIN 6814-5, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Aufgeweitetes Strahlenfeld

Idealisiertes Strahlenfeld für Modellrechnungen oder Kalibriermessungen, das von den tatsächlichen Feldbedingungen an einem Punkt im Strahlenfeld abgeleitet wird; während mit einer kleinen Messkammer die Feldbedingungen an einem Punkt im Strahlenfeld hinreichend gut erfasst werden können, müssen für die Messung mit der 30-cm-ICRU-Kugel die Feldbedingungen vom interessierenden Punkt auf die Dimension der ICRU-Kugel aufgeweitet werden. Für Messungen der Umgebungsäquivalentdosis wird dieses aufgeweitete Feld auch noch gleichgerichtet. Das aufgeweitete Feld hat an jedem Punkt die gleiche Teilchenfluenz wie sie am Referenzort im Feld herrscht.

Die Aufweitung des Strahlenfeldes ist somit eine Anforderung an die Kalibrierbedingung für Messgeräte. Das Strahlungsfeld bei der Kalibrierung von Messgeräten mit der ICRU-Kugel muss die Eigenschaften eines aufgeweiteten Strahlenfeldes besitzen.



Schemadarstellung eines ausgerichteten und aufgeweiteten Strahlungsfeldes

## Auflöser

Technische Einrichtung in einer Wiederaufbereitungsanlage für das Auflösen des Kernbrennstoffes in Säure. →[PUREX-Verfahren](#).

## Aufpunkt

Der von meteorologischen Daten abhängige geographische Punkt des Niederganges der Abluffahne aus einem Kamin auf den Erdboden. Der Aufpunkt ist für die Ermittlung der Strahlenexposition über den Abluffpfad von Bedeutung.

## Aufzeichnungsschwelle

Wert der Äquivalentdosis oder der Aktivitätszufuhr, bei dessen Überschreitung das Ergebnis der Messung aufgezeichnet und aufbewahrt werden muss.

## Auger-Effekt

Strahlungsloser Übertrag von Anregungsenergie in der Elektronenhülle eines Atoms auf ein Elektron. →[Auger-Elektronen](#)

## Auger-Elektronen

Angeregte Hüllenelektronen können bei ihrem Übergang in eine energetisch tiefer liegende Schale, konkurrierend zur Emission charakteristischer Röntgenstrahlung, ihre Anregungsenergie auch auf eine anderes Hüllenelektron übertragen, welches dadurch freigesetzt wird. Dieses Elektron heißt Auger-Elektron.

Dieser Energieübertrag erfolgt strahlungsfrei in einem einstufigen Prozess, also **nicht** über eine Gammaemission mit anschließendem →[Photoeffekt](#).

Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein Photon und nicht ein Elektron emittiert wird, nennt man →[Fluoreszenzausbeute](#). Sie nimmt mit der Ordnungszahl Z zu und hat für Übergänge in die K-Schale bei Z=32 ungefähr den Wert 0,5.

## Ausbildungsnachweis

Teil der Strahlenschutzdokumentation, mit dem die Ausbildung des Personals, das in Strahlenschutzbereichen tätig werden soll, nachgewiesen wird. Beispiele: Allgemeine Strahlenschutzunterweisung, spezielle Arbeitsplatz bezogene Unterweisungen, Übungen an Modellen etc.

## Ausbreitungsfaktor

Kenngröße für die Ausbreitung einer Aktivitätsemission aus einer punktförmigen Quelle; der Ausbreitungsfaktor  $\chi(x)$  ist eine ortsabhängige Größe, welche die maximale Aktivitätskonzentration  $a_v(x)$  im Wolkenschwerpunkt der Aktivitätswolke in der Entfernung x von der Emissionsquelle mit der Emissionsrate der Quelle verknüpft. Wenn eine konstante Emissionsrate  $\dot{A}$  vorliegt, dann folgt für den Maximalwert der bodennahen Aktivitätskonzentration  $a_v(x)$  in der Entfernung x in Windrichtung von der Quelle:

$$a_v(x) = \chi(x) \cdot \dot{A}$$

Die Ausbreitungsfaktoren hängen von der →[Stabilitätsklasse der Atmosphäre](#), der Emissionshöhe und der Windgeschwindigkeit ab. Der Einfluss der Windgeschwindigkeit  $v_w$  wird in den häufig tabellierten normierten Ausbreitungsfaktoren

$$\hat{\chi}(x) = v_w \cdot \chi(x)$$

eliminiert, so dass die normierten, tabellierten Werte vor dem Einsetzen in die oben angegebene Formel durch die Windgeschwindigkeit an der Emissionsstelle zu teilen sind.

Die Ausbreitungsfaktoren sind in der Regel nur für kurzzeitige Ausbreitungen (< 1h) anwendbar, weil über längere Zeiträume die Änderungen der Wetterverhältnisse sich störend auswirken. Da jedoch schwankende Wetterverhältnisse in der Regel zu einer größeren Verdünnung der Aktivität in der Atmosphäre führen, ergeben sich für die Langzeitausbreitung kleinere Ausbreitungsfaktoren. Die Verwendung der Faktoren für die Kurzeitausbreitung führt deshalb zu abdeckenden Aktivitätskonzentrationen.



## Ausbreitungsrechnungen

Rechenverfahren zur Ermittlung der Auswirkungen infolge der Abgabe von Radioaktivität mit der Abluft oder dem Abwasser aus Kernkraftwerken. Bei diesen Berechnungen werden die meteorologischen Verhältnisse im Standortgebiet berücksichtigt. Ziel der Ausbreitungsrechnungen ist es, die Strahlenexposition des Menschen durch die Ableitung radioaktiver Stoffe zu berechnen, →[Abluftpfad](#), →[Abwasserpfad](#).

## Auslaugbeständigkeit

Widerstandsfähigkeit gegen Auslaugen in Flüssigkeiten.

## Auslaugrate

Maß für das Auslaugverhalten von Festkörpern in Flüssigkeiten; im Strahlenschutz ist das relevant für Festkörper, die radioaktive Stoffe enthalten. Beispielsweise gilt für verfestigte radioaktive Abfälle in siedendem destilliertem Wasser: zementierte Abfälle  $10^{-2}$  bis  $10^{-3}$  g/cm<sup>2</sup> · Tag, verglaste Abfälle  $10^{-5}$  bis  $10^{-7}$  g/cm<sup>2</sup> · Tag.

## Auslegungserdbeben

Erdbeben, gegen das eine kerntechnische Anlage ausgelegt werden muss; →[Erdbebensicherheit](#)

## Auslegungsstörfall

Entsprechend den Anforderungen aus den §§ 49 und 50 StrlSchV muss eine Anlage so ausgelegt werden, dass bei zu unterstellenden Störfällen die Auswirkungen auf die Umgebung beherrscht werden. Bei Kernkraftwerken darf z.B. die effektive Dosis für Personen in der Umgebung des Kraftwerks 50 mSv nicht überschreiten (§ 49). Für sonstige Anlagen und Einrichtungen wird kein expliziter Dosiswert genannt. Hier legt die zuständige Behörde die Schutzmaßnahmen im Einzelfall fest (§ 50). Auslegungsstörfälle in einem Kernkraftwerk sind z.B. der Bruch einer Primärkreisleitung oder der Absturz einer schnell fliegenden Militärmaschine auf das Kernkraftwerk.

Ereignisse mit ungünstigeren Folgen müssen eine so geringe Eintrittswahrscheinlichkeit besitzen, dass sie als Restrisiko akzeptabel sind. Diese Ereignisse fallen unter den Begriff →[Unfall](#).

## Auslösezähler

→[Geiger-Müller-Zählrohr](#)

## Ausscheidung

Austreten inkorporierter offener radioaktiver Stoffe aus dem Körper durch natürliche Körperfunktionen (Def. DIN 6814-5, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)).

## Ausscheidungsmessung

Die Messung der Aktivität von Körperausscheidungen (Stuhl, Urin, Speichel, Ausatemungsluft) ist eine Methode zur Ermittlung der inkorporierten Aktivität und letztlich

zur Ermittlung einer Inkorporationsdosis. Die dabei zu beachtenden Randbedingungen hat die internationale Strahlenschutzkommission in ihrer Empfehlung Nr. 78 angegeben (ICRP78).

## **Ausscheidungsrate**

Begriff aus der Inkorporationsüberwachung; in der →[Richtlinie zur physikalischen Strahlenschutzkontrolle](#) ist die Ausscheidungsrate definiert als die innerhalb von 24 Stunden im Urin oder Stuhl ausgeschiedene Aktivität (in Bq / d ) eines inkorporierten Radionuklids, zerfallskorrigiert auf das Ende des 24-stündigen Sammelintervalls. Bei tritiiertem Wasser (HTO) wird die Aktivitätskonzentration im Urin angegeben (in Bq/l).

## **Ausschließliche Verwendung**

Begriff aus dem Gefahrgutrecht (ADR); eine Beförderung unter ausschließlicher Verwendung erfolgt mit einem Transportfahrzeug unter Kontrolle eines einzigen Absenders (oder Empfängers). Dieser kontrolliert alle Be- und Entladevorgänge beginnend mit der Beladung vor Anfang des Beförderungsvorgangs bis zur Entladung am letzten Bestimmungsort.

## **Außergewöhnliche Ereignisabläufe**

Begriff aus der Röntgenverordnung (§ 42); außergewöhnliche Ereignisabläufe oder Betriebszustände beim Betrieb einer Röntgeneinrichtung oder eines Störstrahlers sind der zuständigen Behörde unverzüglich zu melden, wenn

- zu besorgen ist, dass eine Person eine Strahlenexposition erhalten haben kann, die die Grenzwerte der Körperdosis übersteigt oder
- sie von erheblicher sicherheitstechnischer Bedeutung sind.

## **Autoradiolyse**

Dissoziation von Molekülen durch ionisierende Strahlung, die von radioaktiven Stoffen stammt, die in der Substanz oder im Substanzgemisch selbst enthalten sind. Beispiel: Autoradiolytische Dissoziation im flüssigen hochaktiven Abfall.

## **Autoradiographie**

Als Autoradiographie bezeichnet man die fotografische Aufzeichnung der Verteilung eines radioaktiven Stoffes durch seine Eigenstrahlung. Der radioaktive Stoff befindet sich in einem Gegenstand, dessen Oberfläche dicht an eine photographische Emulsion herangebracht wird (Def. aus DIN 25401 Teil 1, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)).

## **AVM-Verfahren**

Französisches Verglasungsverfahren von flüssigem hochaktivem Abfall. Seit Juli 1978 ist eine Anlage in Marcoule/Frankreich in Betrieb. In der Wiederaufarbeitungsanlage La Hague wird dieses Verfahren im industriellen Maßstab genutzt. →[Verglasung](#).

## **AVR**

Atomversuchskernkraftwerk, Jülich; Hochtemperaturreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 15 MW, nukleare Inbetriebnahme am 26.08.1966, am 31.12.1988 endgültig außer Betrieb genommen. Die kumulierte Stromerzeugung betrug 1,7 TWh. Der Reaktor wurde nach dem von Prof. Schulten entwickelten Kugelhaufen-Reaktor-konzept errichtet. Mit dem AVR wurden vor allem Betriebserfahrungen für die Entwicklung von Hochtemperaturreaktoren gesammelt. Der AVR war der erste vollständig in Deutschland entwickelte Leistungsreaktor.

## **AVV-IMIS**

Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz vom 13.12.2006 (BAnzNr. 244a vom 29.12.2006)

Diese allgemeine Verwaltungsvorschrift gilt für die Ermittlung, Übermittlung, Aufbereitung, Bereitstellung und Dokumentation von Daten im System →[IMIS](#) auf Basis des →[Strahlenschutzvorsorgegesetzes](#).

## **AVV Strahlenpass**

Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 40 Abs. 2, § 95 Abs. 3 Strahlenschutzverordnung und § 35 Abs. 2 Röntgenverordnung ("AVV Strahlenpass") vom 20. Juli 2004 legt Form und Inhalt des Strahlenpasses für beruflich strahlenexponierte Personen und die Anforderungen an die Registrierung und das Führen eines Strahlenpasses fest.

# B

## b

Einheitenzeichen für →barn

## BAM

Abk. für **B**undesanstalt für **M**aterialforschung und -prüfung, Berlin. Die BAM ist ein technisch-wissenschaftliches Staatsinstitut, zuständig für Sicherheit und Zuverlässigkeit in Chemie- und Materialtechnik in Deutschland. Sie ist eine Bundesoberbehörde des Bundesministeriums für Wirtschaft. Das fachliche Profil der BAM ist schwerpunktmäßig gekennzeichnet durch die Fachaufgaben im Aufgabenverbund Material / Chemie / Umwelt / Sicherheit:

- hoheitliche Funktionen zur technischen Sicherheit, insbesondere im Gefahrstoff- und Gefahrgutrechtsbereich
- Mitarbeit bei der Entwicklung entsprechender gesetzlicher Regelungen, z. B. bei der Festlegung von Sicherheitsstandards und Grenzwerten
- Beratung der Bundesregierung, der Wirtschaft sowie der nationalen und internationalen Organisationen im Bereich der Materialtechnik und Chemie
- Entwicklung und Bereitstellung von Referenzmaterialien und Referenzverfahren, insbesondere der analytischen Chemie und der Prüftechnik
- Unterstützung der Normung und anderer technischer Regeln für die Beurteilung von Stoffen, Materialien, Konstruktionen und Verfahren im Hinblick auf die Schadensvermeidung bzw. Schadensfrüherkennung, für die Schonung der Umwelt und den Erhalt volkswirtschaftlicher Werte.

Verknüpfungen zum Strahlenschutz ergeben sich z.B. bei der Zulassung von Behältern für radioaktive Abfälle, an die besondere Anforderungen bzgl. der Dichtheit oder Dekontaminierbarkeit gestellt werden.

## barn

In der Kernphysik benutzte Einheit für den →[Wirkungsquerschnitt](#). Der Wirkungsquerschnitt ist ein Maß für die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Kernreaktion auftritt. Kurzzeichen: b.  $1 \text{ barn} = 10^{-28} \text{ m}^2$ ; das ist etwa die Querschnittsfläche eines Atomkernes.

## Barriere

Der sichere Einschluss des radioaktiven Inventars einer kerntechnischen Anlage erfolgt nach dem Mehrfachbarrierenprinzip, d. h. zur Freisetzung radioaktiver Stoffe müssen diese mehrere verschiedene, hintereinander geschaltete Barrieren passieren. Barrieren eines Kernreaktors:

- Rückhaltung der Spaltprodukte im Kernbrennstoff selbst,
- Einschluss des Kernbrennstoffes in Hüllrohren,

- Einschluss der Brennelemente im Reaktordruckbehälter und Primärkühlkreislauf,
- gasdichter Sicherheitsbehälter um den Reaktordruckbehälter.

## Baryon

Elementarteilchen mit der Baryonenzahl 1 und halbzahligen Spin; das sind z.B. Neutronen und Protonen. Der Name (barys, griech. = schwer) leitet sich von der verhältnismäßig großen Masse dieser Teilchen gegenüber anderen Elementarteilchen (→Leptonen, →Mesonen) ab. →Elementarteilchen

## Bauartzulassung

Bei einer Bauartzulassung wird anhand von technischen Unterlagen und Prüfmustern geprüft, ob die Konstruktion und Beschaffenheit eines Gerätes/Produktes den für einen bestimmten Verwendungszweck geltenden Vorschriften entsprechen (Bauartprüfung). Die Bauartprüfung und die Bauartzulassung erfolgen in der Regel durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB). Eine Zulassung jedes einzelnen Gerätes/Produktes ist mit einer einmal erteilten Bauartzulassung nicht mehr erforderlich. Das Verfahren der Bauartzulassung regeln die §§ 25, 26 StrlSchV sowie die §§ 8 – 12 RÖV.

Nach der →Strahlenschutzverordnung bzw. der →Röntgenverordnung können eine Bauartzulassung erhalten:

- Strahlenschutzmessegeräte
- Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen, Geräte und Vorrichtungen, in die radioaktive Stoffe eingefügt sind
- →Röntgenstrahler, →Röntgeneinrichtungen
- Ionisationsrauchmelder

Die Vorschriften der Bauartzulassung für Röntgeneinrichtungen enthalten u.a. Maximalwerte für die Ortsdosisleistung an der Gehäuseoberfläche. An →Hochschutzgeräten und →Vollschutzgeräten ist die maximale Ortsdosisleistung in 10 cm Abstand von den äußeren berührbaren Oberflächen auf 25 µSv/h bzw. 7,5 µSv/h begrenzt.

## Baustoffe und Strahlenexposition

Die Strahlenexposition durch Baustoffe wird durch die natürlichen radioaktiven Stoffe in den Baumaterialien bestimmt. (→Strahlenexposition, natürliche )

## Bayes-Statistik

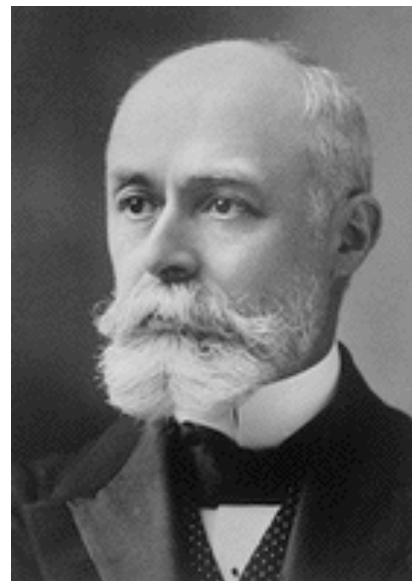
Spezielle mathematisch-statistische Methode zur Ermittlung der Unsicherheiten bei der Messung. Die Methode zielt direkt auf die Fragestellung ab: wie kann ich aus den beobachteten Messwerten auf die wahren Werte der Messgrößen schließen? Die Bayes-Statistik geht auf den englischen Geistlichen und Mathematiker Thomas Bayes (1702 – 1761) zurück. Lit.: DIN25482-10, FS99, WEI99

## BE

Abkürzung für →[Brennelement](#)

## Becquerel

- a) Antoine Henri Becquerel, \*15.12.1852 † 25.8.1908, untersuchte magneto-optische Effekte und entdeckte 1896 durch Phosphoreszenzuntersuchungen an Uranmineralien die radioaktive Strahlung des Urans. Er erhielt 1903 den Nobelpreis für Physik (zusammen mit dem Ehepaar Curie).



Henri Becquerel

Quellen:

[http://de.wikipedia.org/wiki/Antoine\\_Henri\\_Becquerel](http://de.wikipedia.org/wiki/Antoine_Henri_Becquerel)

[http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1903/becquerel-bio.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1903/becquerel-bio.html)

- b) Einheit der Aktivität eines Radionuklids; benannt nach dem Entdecker der Radioaktivität A. H. Becquerel. Das Einheitenzeichen ist Bq. Die Aktivität beträgt 1 Bq, wenn von der vorliegenden Menge eines Radionuklides im Mittel 1 Atomkern pro Sekunde zerfällt. Die Einheit Becquerel ersetzt die früher gebräuchliche Einheit →[Curie](#). Da in der Praxis Aktivitäten gehandhabt werden, die sich um viele Größenordnungen unterscheiden, sind Aktivitätsangaben mit dem Vielfachen von 1 Bq üblich: mBq ( $10^{-3}$  Bq), kBq ( $10^3$  Bq), MBq ( $10^6$  Bq), GBq ( $10^9$  Bq), TBq ( $10^{12}$  Bq)

## Bedienungsraum

Der Bedienungsraum (auch Schaltraum) ist im medizinischen Bereich definiert als Raum, von dem aus radiologische Einrichtungen (z.B. zur Strahlentherapie oder radiologischen Diagnostik) bedient und insbesondere ein- und ausgeschaltet werden (s. DIN 6814-5, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)).

## Beförderung radioaktiver Stoffe

Die Beförderung radioaktiver Stoffe auf öffentlichen oder der Öffentlichkeit zugänglichen Verkehrswegen bedarf grundsätzlich der Genehmigung (§ 4 AtG, § 16 StrlSchV). Ausnahmen davon sind in der Strahlenschutzverordnung angegeben. Bei der Beförderung sind Vorgaben zur Verpackung, Kennzeichnung, Sicherung und Dokumentation zu beachten, die in ergänzenden rechtlichen Regelwerken enthalten sind. Für den Straßen- und Eisenbahntransport gilt die Gefahrgutverordnung Straße und Eisenbahn (GGVSE), für den Seetransport die Gefahrgutverordnung See (GGVSee) und für den Lufttransport das Luftverkehrsgesetz (LuftVG).

Strahlenexpositionen im Zusammenhang mit der Beförderung radioaktiver Stoffe müssen im Rahmen eines Strahlenschutzprogramms festgelegt werden. Bei erwarteten Individualdosen  $< 1$  mSv sind keine besonderen Überwachungsmaßnahmen erforderlich. Bei erwarteten Individualdosen zwischen 1 mSv und 6 mSv ist die Dosis durch Arbeitsplatzüberwachung oder Individualdosisüberwachung abzuschätzen. Bei erwarteten effektiven Dosen über 6 mSv ist die Individualdosis messtechnisch zu überwachen (ADR, FS01).

Die Ortsdosisleistung am Transportfahrzeug darf bei Routinebeförderungen an den Außenflächen des Fahrzeugs 2 mSv/h und in 2 m Abstand 0,1 mSv/h nicht überschreiten.

Das Beförderungsfahrzeug muss, sofern nicht freigestellte Versandstücke transportiert werden, an den beiden Längsseiten und hinten mit Großzetteln (Placards) gekennzeichnet sein. Vorn und hinten sind ergänzend orangefarbene Tafeln anzubringen.



Großzettel (Placard) für Radioaktivtransporte

## Behandlung radioaktiver Abfälle

→ [Abfälle, radioaktive, Behandlung](#)

### BEIR

Abk. für Committee on the **B**iological **E**ffects of Ionizing **R**adiation; ein Komitee des National Research Council der USA, das eine Berichtsreihe zur Information der US-



Regierung über die Wirkungen ionisierender Strahlen herausgibt. Das BEIR III Committee hat 1980 den Bericht 'The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation' veröffentlicht. 1988 folgte BEIR IV mit 'Health Effects of Radon and Other Internally Deposited Alpha-Emitters' und 1990 BEIR V mit 'Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation'.

## **Bereich, geschützter**

Begriff aus dem medizinischen Strahlenschutz, der im Gegensatz zum „wichtigen Aufenthaltsbereich“ (→Aufenthaltsbereich, wichtiger) definiert wird; im geschützten Bereich wird der Strahlenschutz vornehmlich durch bauliche Maßnahmen sichergestellt, Abstandhaltung ist jedoch auch möglich (siehe auch DIN 6814-5, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)).

## **Berufliche Strahlenexposition**

Teil der Strahlenexposition, der infolge einer beruflichen Tätigkeit auftritt; im rechtlichen Bereich ist der Begriff in § 3 Abs.2 Nr. 31 StrlSchV definiert. Danach ist sie eine Strahlenexposition, die eine Person erhält, die

- a) bei einer Person beschäftigt ist, welche eine Tätigkeit nach § 2 Abs.1 Nr.1 oder eine Arbeit nach § 2 Abs.1 Nr.2 ausübt oder diese Tätigkeit oder Arbeit selbst ausübt,
- b) eine Aufgabe im Rahmen der staatlichen Aufsicht wahrnimmt oder
- c) im Rahmen des § 15 oder § 95 StrlSchV in fremden Anlagen tätig wird oder arbeitet.

→[Strahlenexposition, zivilisatorische](#)

## **Beruflich strahlenexponierte Personen**

Entsprechend den Bestimmungen der Strahlenschutz- und Röntgenverordnung sind dies Personen, die bei ihrer Berufsausübung oder bei ihrer Berufsausbildung eine berufliche Strahlenexposition oberhalb festgelegter Grenzwerte erhalten können. Für den Bereich der →[Tätigkeiten](#) ist dies z.B. eine effektive Dosis von mehr als 1 mSv pro Jahr, für den Bereich der →[Arbeiten](#) liegt die entsprechende Schwelle bei 1 mSv (kosmische Strahlung) bzw. 6 mSv (terrestrische Strahlung).

Innerhalb der Gruppe der beruflich strahlenexponierten Personen wird bei Tätigkeiten nach der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung unterschieden zwischen Personen der Kategorie A und Personen der Kategorie B. Jede beruflich strahlenexponierte Person muss mindestens in die Kategorie B eingestuft werden. Wenn die in der Tabelle angegebenen Dosiswerte überschritten werden können, ist eine Einstufung in die Kategorie A erforderlich.

Auswirkungen hat diese unterschiedliche Eingruppierung auf die Häufigkeit der Untersuchung im Rahmen der ärztlichen Überwachung.

Körperdosis	Dosis im Kalenderjahr / mSv			
	Tätigkeiten		Arbeiten	
	Kat. A	Kat. B	Terrestrische Strahlung	Kosmische Strahlung
Effektive Dosis	> 6	> 1	> 6	> 1
Organdosis - Augenlinse - Haut, Hände, Unterarme, Füße, Knöchel	> 45  > 150	> 15  > 50		

Dosisschwellen, ab denen eine Einstufung als beruflich strahlenexponierte Person erforderlich-

Zu Erfahrungswerten der beruflichen Strahlenexposition in Deutschland siehe  
→ [Strahlenexposition, zivilisatorische](#)

## Berufslebensdosis

Die Berufslebensdosis ist die Summe der in allen Kalenderjahren ermittelten effektiven Dosen → [beruflich strahlenexponierter Personen](#). Ihr Grenzwert beträgt nach § 56 StrlSchV 400 mSv.

Ausnahmen sind unter bestimmten Umständen möglich (siehe §§ 57, 58, 59 StrlSchV). (→ [Dosisgrenzwert](#))

## Beschichtete Partikel

Brennstoffkörnchen aus hochangereichertem  $UO_2$  oder aus Mischungen von  $UO_2$  und  $ThO_2$ , die mit einer praktisch gasdichten Hülle aus pyrolytisch abgeschiedenem Kohlenstoff umgeben sind; in einer Graphitmatrix werden sie als Brennelemente in Hochtemperaturreaktoren eingesetzt.

## Beschichtung, dekontaminierbare

Oberflächenauftrag, der eine leichte Dekontaminierbarkeit der entstehenden Oberfläche sicherstellen soll; die Beschichtung besteht in der Regel aus mehreren Schichten, die insgesamt ein Beschichtungssystem bilden und aufeinander abgestimmt sind. Das Beschichtungssystem kann nach DIN 25415 qualifiziert werden (→ [Dekontaminierbarkeit](#), → [DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)).

Beispiel: Ein Beschichtungssystem für mineralische Untergründe (Betonflächen) besteht aus

- Einlassgrundierung (zur Festigung der Oberfläche)
- Spachtelschicht (zur Glättung)
- 1. Deckschicht
- 2. Deckschicht

Um die Flächenüberdeckung beim Auftragen der 1. und 2. Deckschicht kontrollieren zu können, haben diese häufig unterschiedliche Farben. Die Haftung der Beschichtung wird über Abzugsversuche geprüft. Um eine einwandfreie Haftung sicherzustellen

len, müssen während der Verarbeitung die Umgebungsbedingungen Temperatur, Luftfeuchte, Betonfeuchte innerhalb spezifizierter Werte liegen.

## Beschleuniger

Gerät zur Beschleunigung elektrisch geladener Teilchen auf hohe Energien; je nach Art des Feldes, in dem die Teilchen beschleunigt werden, unterscheidet man Gleichspannungsfeld-Beschleuniger und Wechselfeld-Beschleuniger. Zu den Gleichspannungsfeld-Beschleunigern gehören →[van-de-Graaff-Beschleuniger](#), →[Kaskaden-Beschleuniger](#) und → [Dynamitron](#). Bei den Wechselfeld-Beschleunigern unterscheidet man →[Linearbeschleuniger](#) und →[Kreisbeschleuniger](#), von denen beide Arten unterschiedliche technische Realisierungen aufweisen.

Beschleuniger werden zu unterschiedlichen Zwecken eingesetzt. Dazu gehören

- die Grundlagenforschung in der Kern- und Elementarteilchenphysik,
- die industrielle Materialbestrahlung (z.B. zur Härtung von Lacken, Vernetzung von Polyethylenfolien, Dotierung von Halbleitern etc.),
- zerstörungsfreie Materialanalysen und –prüfungen,
- die Herstellung von Radionukliden für technische und medizinische Anwendungen,
- die Entkeimung von Hygieneartikeln und Lebensmittelverpackungen,
- die Sterilisation von Medizinprodukten und
- die therapeutische Bestrahlung in der Medizin.

Der praktische Strahlenschutz beim Betrieb von Beschleunigern bezieht sich im Allgemeinen nicht auf den Schutz vor den primär beschleunigten Teilchen. Die Schutzmaßnahmen zielen eher auf die Sekundärstrahlung, die beim Auftreffen des Teilchenstroms auf Materie erzeugt werden: das sind insbesondere Neutronenstrahlung und →[Bremsstrahlung](#) (Die Winkelabhängigkeit der Bremsstrahlung beim Elektronenbeschleuniger zeigt ein deutliches Maximum in Richtung der beschleunigten Elektronen). Außerdem ist die Aktivierung von Beschleunigerkomponenten (z.B. Blendensysteme, Tartget, Strahlfänger) sowie des umgebenden Materials (Abschirmungen) und der Raumluft zu beachten.

Die Abschirmmaßnahmen müssen alle vorkommenden Strahlenarten berücksichtigen. Bei Strahlenarten, die unterschiedliche Abschirmmaterialien erfordern (z.B. Gammastrahlung und Neutronen), können Abschirmungen aus kombinierten Materialien effektiv sein. Zur Abschirmung an Beschleunigeranlagen gibt es normative Vorgaben (DIN 6847, Teil 2), Berichte der IAEA zu Elektronenbeschleunigern (IAE-AR188) und Protonenbeschleunigern (IAEAR283) sowie spezielle Fachliteratur (z.B. EWE85).

Da die Aktivierung häufig in großem Umfang kurzlebige Radionuklide erzeugt, ist das Abklingenlassen nach Abschalten des Beschleunigers eine wirksame Strahlenschutzmaßnahme. Kontaminationen der Raumluft (typische Nuklide: N-13, O-15, N-16, Ar-41) werden durch Lüftungstechnische Maßnahmen beseitigt. Ein erhöhter Luftwechsel nach Abschalten des Beschleunigers verkürzt hierbei die Wartezeiten.

Generell wird der Strahlenschutz an Beschleunigern am wirksamsten durch ein System von Sicherungseinrichtungen optimiert. Dazu gehörten automatisch wirkende Verriegelungen zwischen Beschleunigungsspannung und Kontakten der Türen zum

Beschleunigerraum sowie akustische und optische Signalisierungen. Bei unklaren Verhältnissen sollten Räume nur mit eingeschaltetem Messgerät betreten werden.

Die Errichtung und der Betrieb von Beschleunigern ist nach § 11 StrlSchV grundsätzlich genehmigungspflichtig; Ausnahmen sind in § 12 StrlSchV geregelt. Hinsichtlich der Auslegung und der Prüfung von Beschleunigeranlagen gibt es verschiedene Vorgaben des BMU (BMU02, BMU03b).

Lit.: VOG04, EWE85, DIN6847, IAEAR188, IAEAR283

## **Besonders zugelassene Strahlenexposition**

Unter außergewöhnlichen, im Einzelfall zu beurteilenden Umständen kann die zuständige Behörde zur Durchführung notwendiger Arbeitsvorgänge höhere Strahlenexpositionen zulassen als durch die sonstigen Grenzwertvorgaben der Strahlenschutzverordnung bestimmt ([→Dosisgrenzwert](#)). Dies betrifft im voraus planbare besondere Arbeiten oder die Beseitigung von Störfall- und Unfallfolgen ohne Beseitigung einer akuten Gefährdung für Personen. Für diese besonders zugelassenen Strahlenexpositionen beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis 100 mSv, der Grenzwert für die Organdosis der Augenlinse 300 mSv und der Grenzwert für die Organdosis von Haut, Händen, Unterarmen, Füßen und Knöchel 1 Sv. Diese Werte gelten für das gesamte Berufsleben (§ 58 StrlSchV).

Besonders zugelassenen Strahlenexpositionen dürfen nur Freiwillige ausgesetzt werden, die beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A sind. Schwangere Frauen sind ausgenommen, stillende Frauen dann, wenn eine Kontaminationsmöglichkeit besteht.

Besonders zugelassene Strahlenexpositionen sind im Voraus zu rechtfertigen. Die betroffenen Personen sind über das mit der Strahlenexposition verbundene Risiko aufzuklären. Ein ärztlicher Rat ist einzuholen.

Für die Rettung von Menschenleben ist kein Dosisgrenzwert festgelegt. Hierfür nennt die Strahlenschutzverordnung (§ 59) Richtwerte: eine effektive Dosis von mehr als 100 mSv soll nur einmal im Kalenderjahr und von mehr als 250 mSv nur einmal im Leben auftreten.

## **Bestimmungsgemäßer Betrieb**

Von der zuständigen Behörde genehmigter Betrieb einer Anlage gemäß ihrer Auslegung. Zum bestimmungsgemäßen Betrieb gehören:

- Normalbetrieb: Betriebsvorgänge, für die die Anlage bei funktionsfähigem Zustand der Systeme bestimmt und geeignet ist.
- Anomaler Betrieb: Betriebsvorgänge, die bei Fehlfunktion von Anlagenteilen oder Systemen ablaufen, soweit hierbei sicherheitstechnische Gründe einer Fortführung des Betriebes nicht entgegenstehen.
- Instandhaltungsvorgänge.

## Bestrahlungsraum

In der Strahlentherapie ein Raum, in dem eine therapeutische Anwendung ionisierender Strahlung durchgeführt wird, und der Strahlenschutzbedingungen erfüllt (Def. DIN 6814-5, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)).

## Bestrahlungsvorrichtung

Gerät mit →[Abschirmung](#), das umschlossene radioaktive Stoffe enthält oder Bestandteil von Anlagen zur Spaltung von →[Kernbrennstoffen](#) ist und das zeitweise durch Öffnen der Abschirmung oder Ausfahren dieser radioaktiven Stoffe →[ionisierende Strahlung](#) aussendet,

- a. die im Zusammenhang mit der Anwendung am Menschen oder am Tier in der Tierheilkunde verwendet wird oder
- b. mit der zu anderen Zwecken eine Wirkung in den zu bestrahlenden Objekten hervorgerufen werden soll und bei dem die Aktivität  $2 \times 10^{13}$  Becquerel überschreitet

(Def. § 3 Abs.2 Nr. 6 StrlSchV)

Bestrahlungsvorrichtungen enthalten in der Regel gammastrahlende Nuklide hoher Aktivität und werden z.B. in der Medizin zur Krebstherapie, bei der Materialprüfung oder zur Sterilisation von Materialien und Nahrungsmitteln eingesetzt( s. auch →[Umschlossene radioaktive Stoffe](#), →[Zerstörungsfreie Prüfung](#)).

Die Strahlenschutzgehäuse oder Arbeitsbehälter werden in drei Klassen und in drei Kategorien eingeteilt:

Klasse P: Tragbar bis 50 kg

Klasse M: mit Vorrichtung bewegbar

Klasse F: normalerweise fest installiert

Kategorie 1: Strahler bleibt bei der Anwendung im Behälter

Kategorie 2: Strahler wird fernbedient in einer Strahlerführung in die Arbeitsposition gefahren

Kategorie 3: Strahler ist manuell in Arbeitsposition zu bringen

Lit.: DIN 54115 (→[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Beta-Brille

Strahlenschutzbrille zum Schutz der Augen gegen Beta-Strahlung und niederenergetische Röntgenstrahlung; die Schutzwirkung wird in Bleigleichwerten angegeben (z.B. 0,75 mm Blei, d.h. die Abschirmwirkung entspricht der von 0,75 mm Blei).



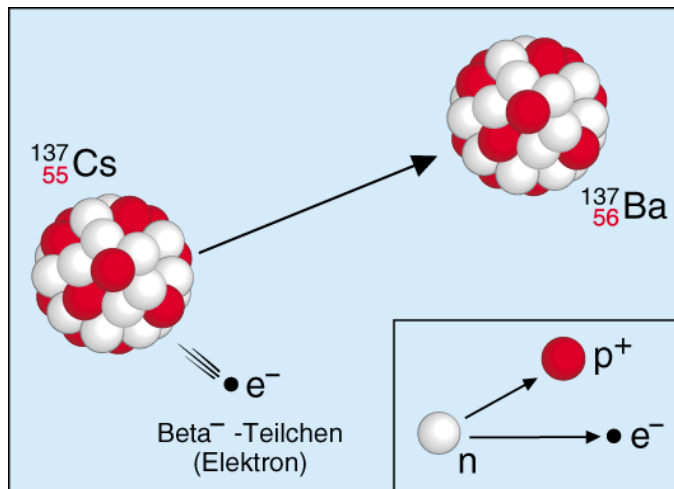
Beispiel für Schutzbrille; Quelle: wiroma AG;  
[www.wiroma.ch/de/products/index.html?cid=35](http://www.wiroma.ch/de/products/index.html?cid=35)

## Beta-Minus-Zerfall

Beim Beta-Minus-Zerfall ( $\beta^-$ -Zerfall) wandelt sich ein Neutron im Kern um in ein Proton  $p^+$  und ein Elektron  $e^-$ . Außerdem entsteht ein Antineutrino, welches aber wegen seiner extrem geringen Wechselwirkung mit Materie für den Strahlenschutz keine Rolle spielt. Der  $\beta^-$ -Zerfall tritt bei Kernen mit hohem Neutronenüberschuss auf, bei denen die Umwandlung eines Neutrons in einen energetisch tiefer liegenden Zustand führt.

Beim  $\beta^-$ -Zerfall bleibt die Massenzahl gleich, aber die Ordnungszahl nimmt um Eins zu:  $(A, Z) \rightarrow (A, Z+1)$

Beispiele: von P-32 in S-32 oder Cs-137 in Ba-137.



Beta-Minus-Zerfall: Zerfall von Cs-137 in Ba-137 unter Aussendung eines Elektrons ( $\beta^-$ -Teilchen); das ebenfalls entstehende Antineutrino ist nicht gezeichnet.

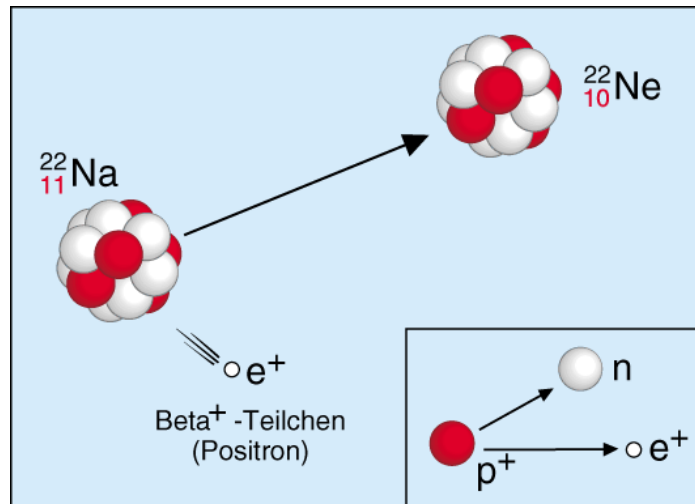
Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie

[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Beta-Plus-Zerfall

Beim Beta-Plus-Zerfall ( $\beta^+$ -Zerfall) wandelt sich ein Proton  $p^+$  im Kern um in ein Neutron  $n$  und ein Positron  $e^+$ . Außerdem entsteht ein Neutrino, welches aber wegen seiner extrem geringen Wechselwirkung mit Materie für den Strahlenschutz keine Rolle spielt. Der  $\beta^+$ -Zerfall tritt bei Kernen mit hoher Protonenzahl auf, bei denen die Umwandlung eines Protons in einen energetisch tiefer liegenden Zustand führt.

Beim  $\beta^+$ -Zerfall bleibt die Massenzahl  $A$  gleich und die Ordnungszahl nimmt um Eins ab:  $(A, Z) \rightarrow (A, Z-1)$



Beta-Plus-Zerfall: Na-22 zerfällt unter Aussendung eines Positrons in Ne-22.  
Das ebenfalls emittierte Neutrino ist nicht eingezeichnet.

Quelle: Informationskreis Kernenergie – Lexikon zur Kernenergie

[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Betastrahlung

Mit Betastrahlung bezeichnet man die Emission von Elektronen oder Positronen beim radioaktiven Zerfall ( $\rightarrow$  **Beta-Zerfall**). Betastrahlen werden bereits durch geringe Schichtdicken (z. B. 2 cm Kunststoff oder 1 cm Aluminium) absorbiert. Wegen ihrer geringen Masse werden die Elektronen oder Positronen häufig aus ihrer Flugrichtung abgelenkt, so dass sich eine ausgeprägte Zickzackbewegung ergibt. Dadurch und wegen der unterschiedlichen Betaenergien ( $\rightarrow$  **Beta-Zerfall**) ergeben sich sehr unterschiedliche Reichweiten der einzelnen Betateilchen.

Die Reichweite in Luft beträgt bei  $E=100$  keV etwa 10 cm und bei  $E=3$  MeV etwa 11 m. Für die Reichweite in Materie mit der Dichte  $\rho$  kann folgende Faustformel verwendet werden:

$$D \text{ (in cm)} = E_{\text{max}} \text{ (in MeV)} / 2 \rho \text{ (in g/cm}^3\text{)}$$

Am Ende ihrer Flugbahn lagern sich Elektronen in der Regel an ein Atom (oder Ion) der Materie an. Positronen reagieren mit einem Elektron der Materie und zerstrahlen dabei in zwei Photonen von  $E=511$  keV ( $\rightarrow$  **Vernichtungsstrahlung**)

## Betateilchen

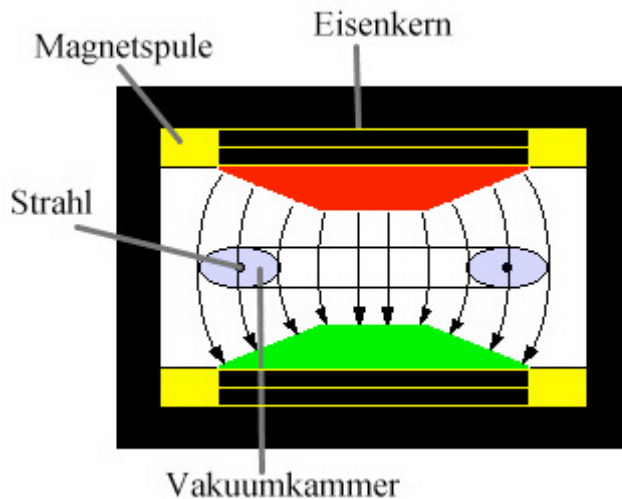
$\rightarrow$  **Positron** (Zeichen  $\beta^+$ ) mit positiver oder  $\rightarrow$  **Elektron** (Zeichen  $\beta^-$ ) mit negativer Ladung, das von einem Atomkern oder Elementarteilchen beim Betazerfall ausgesandt wird. Entsprechend der Ladung des emittierten Teilchens spricht man auch von Beta-Plus-Strahlung ( $\beta^+$ -Strahlung) und Beta-Minus-Strahlung ( $\beta^-$ -Strahlung).

## Betatron

Gerät zur Beschleunigung von Elektronen auf Energien bis zu einigen zehn MeV. Die Elektronen laufen in einer ringförmigen Vakuumröhre um und werden durch ein elektrisches Ringfeld beschleunigt. Das elektrische Ringfeld entsteht automatisch um ein



zeitlich zunehmendes Magnetfeld, welches die Elektronen auf ihrer Bahn hält, bis sie durch ein Austrittsfenster extrahiert werden. Das Magnetfeld ist geometrisch so geformt, dass die Elektronen während des gesamten Beschleunigungsprozesses innerhalb einer kreisförmigen Vakuumröhre laufen.



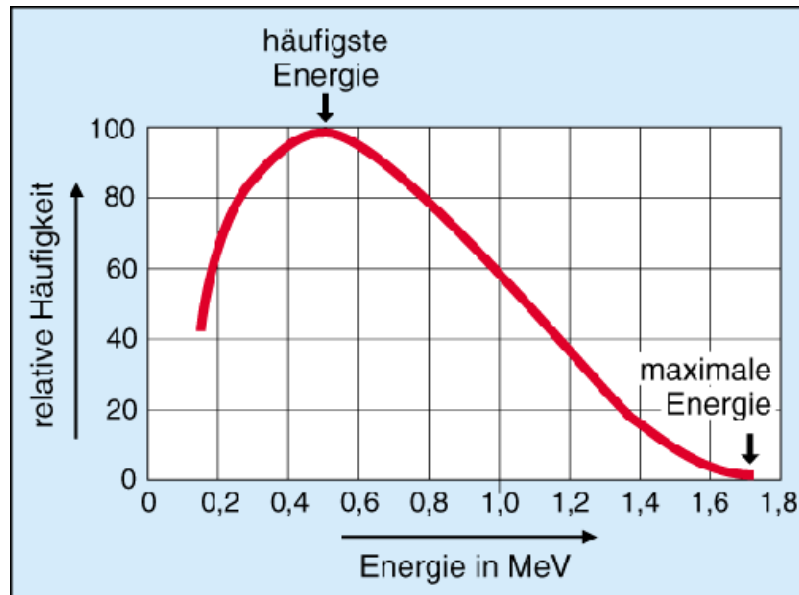
Prinzip des Betatrons (Querschnitt)  
 Quelle: Universität Erlangen;  
<http://www.didaktik.physik.uni-erlangen.de>

Lit.: VOG04

## Beta-Zerfall

Radioaktive Umwandlung unter Emission eines negativen Elektrons ( $\rightarrow$  **Beta-Minus-Zerfall**) oder eines positiven Positrons ( $\rightarrow$  **Beta-Plus-Zerfall**). Beim Zerfall entsteht neben dem Tochterkern und dem Beta-Teilchen noch ein Neutrino bzw. Antineutrino. Da die Neutrinos je nach Zerfallskinetik unterschiedliche Energien mitnehmen können, haben die  $\beta$ -Teilchen einer  $\beta$ -emittierenden Substanz keine einheitliche Energie. Ihre Energien zeigen, ausgehend von einer Maximalenergie  $E_{\max}$ , ein kontinuierliches Energiespektrum.  $E_{\max}$  wird als Kenngröße für den  $\beta$ -Zerfall angegeben.

Wenn der Zerfall in verschiedene Zustände des Tochternuklids erfolgen kann, ist das resultierende  $\beta$ -Spektrum eine Überlagerung der zugehörigen  $\beta$ -Spektren mit unterschiedlichen Maximalenergien.



Energieverteilung der beim Beta-Zerfall des P-32 emittierten Elektronen ( $\beta$ -Teilchen)

Quelle: W.Koelzer, Lexikon zur Kernenergie  
[http://iwwww1.fzk.de/kernenergielexikon/Lexikon\\_zur\\_Kernenergie\\_2008-11-2.pdf](http://iwwww1.fzk.de/kernenergielexikon/Lexikon_zur_Kernenergie_2008-11-2.pdf)

## Betrieb einer Röntgenanlage

Eigenverantwortliches Verwenden oder Bereithalten einer Anlage, die Röntgenstrahlung erzeugt. Zum Betrieb gehört nicht die Erzeugung von  $\rightarrow$ Röntgenstrahlung im Zusammenhang mit der geschäftsmäßigen Prüfung, Erprobung, Wartung oder Instandsetzung der Röntgeneinrichtung. Röntgeneinrichtungen werden ferner nicht betrieben, soweit sie im Bereich der Bundeswehr oder des Zivilschutzes ausschließlich für den Einsatzfall geprüft, erprobt, gewartet, instand gesetzt oder bereitgehalten werden. Dies gilt für Störstrahler entsprechend.

Def. § 2 Nr.2 RÖV

## Betriebsgelände

Im Sinne der Strahlenschutzverordnung gilt folgende Definition (§ 3 Abs.2 Nr.7): Grundstück, auf dem sich Anlagen oder Einrichtungen befinden und zu dem der Zugang oder auf dem die Aufenthaltsdauer von Personen durch den Strahlenschutzverantwortlichen beschränkt werden können.

## Betriebshandbuch

Alle zum Betrieb und zur Instandhaltung einer verfahrenstechnischen Anlage notwendigen Anweisungen werden in einem Betriebshandbuch erfasst. Es enthält Hinweise zur Organisation des Betriebes, zur Bedienung und Funktion verfahrenstechnischer Systeme sowie für das Verhalten des Anlagenpersonals bei Betriebsstörungen, Störfällen und anderen Vorkommnissen.

## Betriebsstörung

Störung des Normalbetriebes einer Anlage, die keine Schäden verursacht, die für die Sicherheit der Anlage von Bedeutung sind. Es wird keine über den Normalbetrieb hinausgehende Strahlenexposition in der Umgebung hervorgerufen. Für das Betriebspersonal in der Anlage können Betriebsstörungen allerdings zu erheblichen Strahlenexpositionen führen.

## Bevölkerungsgruppe, Alterseinteilung

Bevölkerungsgruppen werden durch eine Anzahl von Personen repräsentiert, die nach statistischen Gesichtspunkten im Hinblick auf bestimmte Merkmale ausgewählt wurden. Sofern das kennzeichnende Merkmal das Alter ist, gilt im Strahlenschutz folgende Einteilung:

- Frauen bis zum Ende des 3. Schwangerschaftsmonats
- Frauen im 4. bis 9. Schwangerschaftsmonat
- Neugeborene bis zum Alter von 10 Tagen
- Säuglinge von mehr als 10 Tagen bis zu 1 Jahr
- Kleinkinder von mehr als 1 Jahr bis 6 Jahre
- Kinder von über 6 Jahren bis 12 Jahre
- Jugendliche von über 12 Jahren bis 18 Jahre
- Personen von über 18 Jahren bis 45 Jahren (Erwachsene im Generationszyklus)
- Personen von über 45 Jahren (Erwachsene außerhalb des Generationszyklus)

(s. DIN 6814-5, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Bevölkerungsgruppe, spezielle

Nach DIN 6814-5 ist eine spezielle Bevölkerungsgruppe definiert als ein Teil der Gesamtbevölkerung, der alle Personen mit einem bestimmten Merkmal enthält. Merkmale können z.B. Alter, Geschlecht oder Beruf sein. (→[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Bewertungsskala

→[INES](#), →[Störfallkategorien](#)

## BfS

Abk. für →[Bundesamt für Strahlenschutz](#)

## Bilanzierung

Form der Überwachung des Zu- und Abgangs radioaktiver Stoffe; der Bestand an radioaktiven Stoffen kann rechnerisch bilanziert werden, indem z.B. dokumentierte Zugängen (erworbene Strahler etc.) und kontrollierte Abgaben registriert werden. Dabei wird der radioaktive Zerfall oder der Aufbau von radioaktiven Tochternukliden rechnerisch berücksichtigt.

Die Bilanzierung ist z.B. die wichtigste Methode der →[Kernmaterialüberwachung](#) einer kerntechnischen Anlage. Ziel der Bilanzierung (Buchführung) ist die quantitative

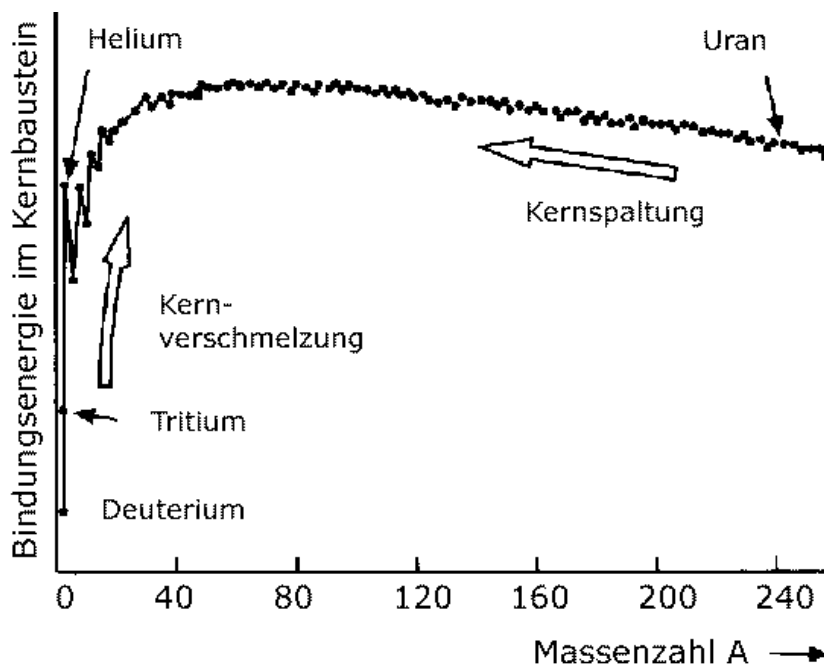
Bestimmung des Kernmaterials zur Aufdeckung von Fehlbeständen (unerlaubten Abzweigungen). Eine Bilanzierung bezieht sich auf einen definierten, begrenzten, umschlossenen Raum, dessen Inhalt sich aus der Differenz aller fortlaufend gemessenen Kernmaterialzu- und -abgänge ergibt. Am Ende eines Bilanzierungszeitraumes wird durch unabhängige direkte Messung das Anlageninventar ermittelt. →MUF.

## BImSchG

Abk. für Bundes-Immissionsschutz-Gesetz.

## Bindungsenergie

Erforderliche Energie, um aneinander gebundene Teilchen (unendlich weit) zu trennen; im Falle eines Atomkernes sind diese Teilchen Protonen und Neutronen, die infolge der Kernbindungsenergie zusammengehalten werden. Neutronen- und Protonenbindungsenergien sind die Energien, die erforderlich sind, um ein Neutron bzw. ein Proton aus einem Kern zu entfernen. Elektronenbindungsenergie ist die Energie, die benötigt wird, um ein Elektron vollständig aus einem Atom oder einem Molekül zu entfernen. Die Bindungsenergie der Nukleonen in einem Atomkern beträgt für die meisten Atomkerne rund 8 MeV je Nukleon. Bei den schwersten Atomkernen, wie z. B. Uran, ist die Bindungsenergie je Nukleon deutlich kleiner als bei Atomkernen mit mittleren Massenzahlen. Bei der Spaltung eines Uranatomkerns in zwei Atomkerne mit mittlerer Massenzahl wird daher die Bindungsenergie insgesamt größer, was zur Folge hat, dass Energie nach außen abgegeben wird (→Kernspaltung). Bei den leichten Atomkernen ist die Bindungsenergie der Atomkerne der Wasserstoffisotope Deuterium und Tritium deutlich geringer als die des Heliumkerns He-4. Die Verschmelzung von Deuterium und Tritium zu Helium ist daher ebenfalls mit einer Energiefreisetzung verbunden (→Fusion).



Abhängigkeit der Kernbindungsenergie pro Nukleon von der Massenzahl

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie

[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

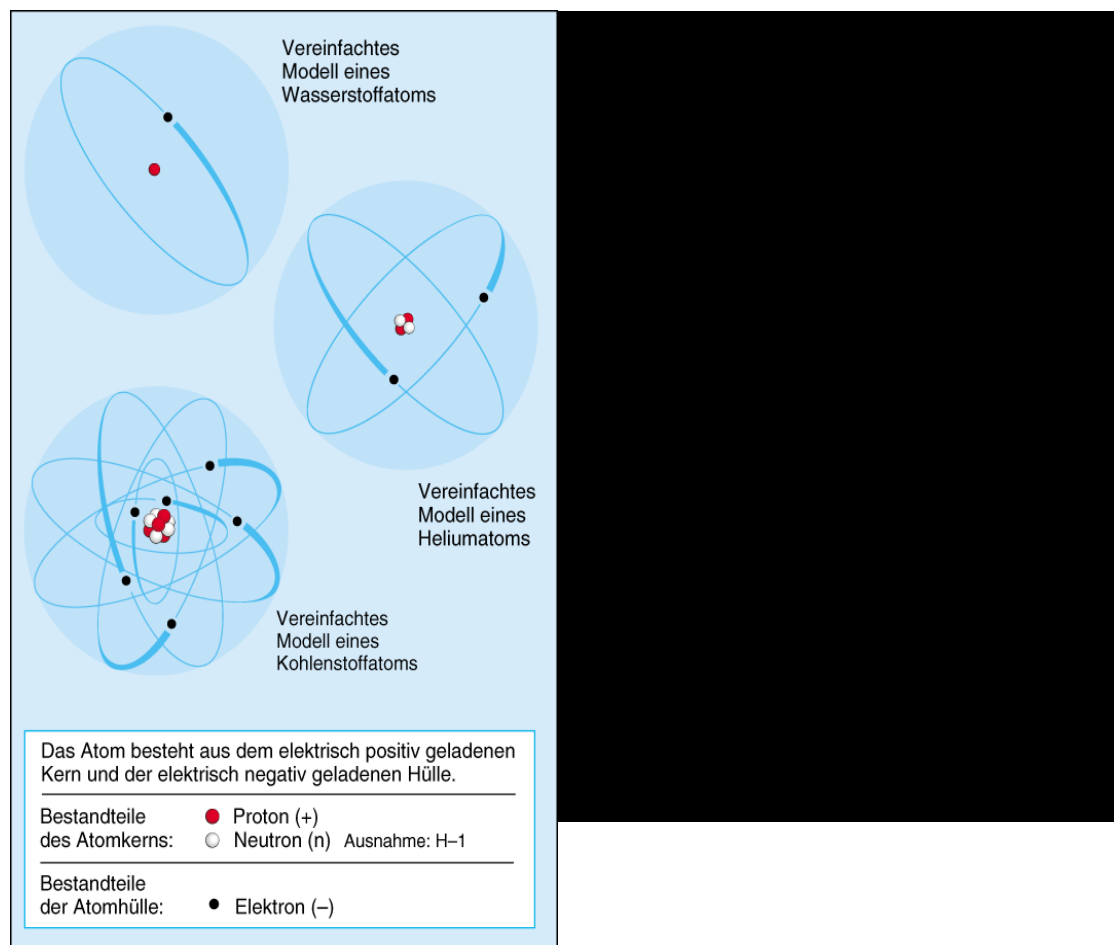
## Biokinetik

Zeitliches Verhalten von inkorporierten Stoffen innerhalb des Körpers oder innerhalb von Organen und Geweben

### Biokinetisches Modell

Mathematisches Modell zur Beschreibung des biokinetischen Verhaltens von radioaktiven Stoffen im menschlichen Körper; einzelne Organe, Teilorgane oder Transfermedien (z.B. Blut) werden durch sogen. Kompartimente beschrieben. In einem Kompartiment herrschen gleiche biokinetische Bedingungen. Der Austausch der radioaktiven Stoffe zwischen den einzelnen Kompartimenten wird durch Transferfaktoren beschrieben. Anhand des biokinetischen Modells werden die Verteilung und die Verweilzeit radioaktiver Stoffe im menschlichen Körper berechnet. Dies ist die Basis für die Berechnung von Organdosen und der effektiven Dosis. (→[Folgedosis](#))

Ein Beispiel für den Aufbau eines biokinetischen Modells zeigt folgende Abbildung (aus ICRP78):



## Biosphäre

Lebensbereich aller Organismen der Erde; sie ist in der festen Erde mit Ausnahme für Bakterien wenige Meter tief, in der Luft mehrere Kilometer hoch und im Wasser bis zur größten Tiefe reichend.

## Blasenkammer

Vorrichtung zum Nachweis und zur Messung von Kernstrahlung; in einer überhitzten Flüssigkeit (meist flüssigem Wasserstoff) erzeugen geladene Teilchen längs ihrer Bahn eine Spur winziger Dampfblasen, die fotografiert und dann ausgewertet werden kann. Nach ähnlichem Prinzip arbeiten auch die →[Nebelkammer](#) und die →[Funkenkammer](#).

## Blei

Metallisches Element, das wegen seiner hohen Dichte ( $11,35 \text{ g/cm}^3$ ) häufig als Abschirmmaterial gegen Gamma- und Röntgenstrahlung eingesetzt wird; chem. Zeichen: Pb. Die stabilen Bleisotope in ihrer natürlichen Isotopenzusammensetzung sind Pb-204 (1,4%), Pb-206 (24,1%), Pb-207 (22,1%) und Pb-208 (52,4%). In den natürlichen Zerfallsreihen kommen die radioaktiven Bleisotope Pb-210, Pb-211, Pb-212 und Pb-214 vor. (→[Zerfallreihen, natürliche](#))

## Bleiglas

Glassorte besonders hoher Dichte; bei der Herstellung von Bleiglas werden die sonst üblichen Erdalkalien wie Kalziumoxid durch **Bleioxid** ersetzt. Bleigläser werden im Strahlenschutz z.B. zur Abschirmung an Arbeitsplätzen oder in Schutzbrillen (→[Beta-Brille](#)) eingesetzt. (DIN6841, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Bleigleichwert

Kenngroße für Abschirmmaterial; der Bleigleichwert wird für Photonenstrahlung definiert und in einer Längeneinheit angegeben (z.B. in mm oder cm). Er sagt aus, dass das bezeichnete Abschirmmaterial dieselbe Abschirmwirkung (→[Schwächungsfaktor](#)) hat wie eine Bleiabschirmung in der Dicke des Bleigleichwertes. Der Bleigleichwert ist abhängig von der Photonenenergie und in der Fachliteratur für diverse Anwendungsfälle tabelliert.

## Bleischürze

Schutzkleidung zur Strahlenabschirmung insbesondere der vorderen Körperhälfte; sie wird insbesondere im Röntgenbereich eingesetzt.



Beispiel einer Bleischürze

Quelle: Schenk Röntgenbedarf AG;  
[www.schenkroentgen.ch](http://www.schenkroentgen.ch)

## Blendendurchlassstrahlung

Durchlassstrahlung, die die schwächenden Teile einer Blende oder eines Blendensystems, welches teilweise oder ganz geschlossen ist, innerhalb des größten einblendbaren Strahlenfeldes durchdringt (Def. DIN 6814-2, → [DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)); die Blendendurchlassstrahlung vergrößert somit unerwünscht das Nutzstrahlenfeld, das durch die Blende begrenzt werden soll.

## BMBF

Abk. für Bundesministerium für Bildung und Forschung.

## BMU

Abk. für Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

## BNFL

Abk. für British Nuclear Fuels plc.; britische Gesellschaft zur Herstellung von Brennelementen, Risley, Warrington, England.

## Bodenstrahlung

→ [Terrestrische Strahlung](#); daneben auch die Gammastrahlung, die von Ablagerungen radioaktiver Stoffe auf dem Erdboden infolge der Ableitung mit der Abluft aus Anlagen ausgeht.

Die Ortsdosisleistung  $\dot{H}_B$  oberhalb einer großen kontaminierten Fläche mit der flächenbezogenen Aktivität  $a_F$  kann mit Hilfe des Dosisleistungskoeffizienten für Bodenstrahlung  $g_B$  ermittelt werden:



$$\dot{H}_B = g_B \cdot a_F$$

Die Dosisleistungskoeffizienten für die Bodenstrahlung einer unendlich ausgedehnten Fläche sind in der Fachliteratur tabelliert. Einige Beispiele sind in der nachfolgenden Tabelle angegeben.

Nuklid	Dosisleistungskoeffizient für eine unendlich ausgedehnte Fläche in Sv h <sup>-1</sup> / Bq m <sup>-2</sup>	
	Effektive Dosis	Hautdosis
Co-60	8,46 10 <sup>-12</sup>	9,94 10 <sup>-12</sup>
Sr-90+	2,02 10 <sup>-14</sup>	3,83 10 <sup>-11</sup>
Ag-110m	9,94 10 <sup>-12</sup>	1,16 10 <sup>-11</sup>
I-131	1,35 10 <sup>-12</sup>	2,31 10 <sup>-12</sup>
Cs-137+	2,0 10 <sup>-12</sup>	6,61 10 <sup>-12</sup>

Die Werte der Tabelle beziehen sich noch auf die effektive Äquivalentdosis aus ICRP26; die Person wird als auf der Fläche stehend angenommen  
Quelle: VOG04

## Bodenwanne

Auffangwannen, in denen flüssigkeitsführende Apparate und Behälter stehen, zur gezielten Aufnahme eventuell auslaufender Prozessflüssigkeiten zur Verhinderung der Ausbreitung dieser Flüssigkeiten in der Anlage. Für Behälter mit radioaktiven Flüssigkeiten wird die Bodenwanne so ausgelegt, dass der Inhalt des größten, in der Wanne stehenden Behälters aufgenommen werden kann.

## Body Burden

→Körperbelastung

## Body Counter

Ein Body Counter (Ganzkörperzähler) dient zur in vivo Bestimmung der Aktivität inkorporierter, gammastrahlender Radionuklide (z.B. <sup>60</sup>Co, <sup>137</sup>Cs, <sup>131</sup>I) sowie zu deren Identifizierung im Körper von Personen durch Messungen der von den inkorporierten Radionukliden ausgehenden Gammastrahlung. Er enthält i.A. mehrere bewegliche Gammadetektoren. →Ganzkörperzähler.

## Bohr

Niels Henrik David Bohr, dänischer Physiker, \* 7.10.1885 Kopenhagen † 18.11.1962 Kopenhagen; Bohr entwickelte auf der Grundlage der Planck'schen Quantenhypothese und des Rutherford'schen Atommodells das →Bohr'sche Atommodell, das noch heute in den meisten Fällen ausreicht, um radioaktive Erscheinungen zu erklären. Bohr war u.a. maßgeblich an der Entwicklung der Quantentheorie beteiligt und konnte 1921 das Periodensystem der chemischen Elemente theoretisch erklären. Er erhielt 1922 den Nobelpreis für Physik.



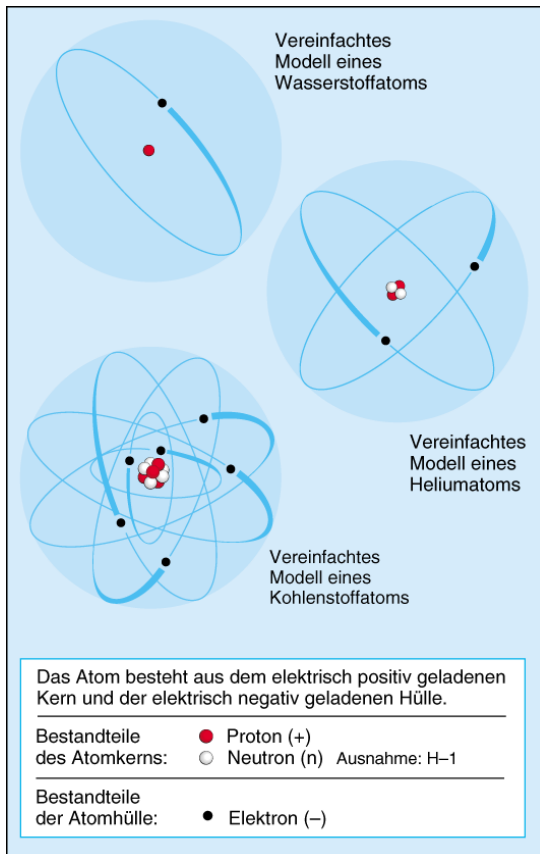
Niels Bohr 1922;  
Quelle: Nils Bohr Archiv, Kopenhagen

## Bohr'sches Atommodell

Nach dem Bohr'schen Atommodell besteht das Atom aus einem Atomkern und einer Atomhülle. Der Atomkern setzt sich zusammen aus →Protonen und →Neutronen, den →Nukleonen. Die Protonen sind elektrisch positiv geladen, die Neutronen sind elektrisch neutral. Um den Atomkern bewegen sich so viele negativ geladene →Elektronen wie Protonen im Kern sind. Dadurch ist das Atom nach außen hin elektrisch neutral. Protonen und Neutronen haben etwa die gleiche Masse, die Masse der Protonen ist jedoch etwa 1836 mal so groß wie die der Elektronen. Damit ist die Hauptmasse des Atoms im Kern konzentriert. Man misst sie häufig in →atomaren Masseneinheiten  $m_u$ .

Der Durchmesser eines Atoms beträgt ungefähr ein zehnmilliardstel Meter ( $10^{-10}$  m). Er wird durch die Elektronenbahnen um den Kern, d.h. die Atomhülle bestimmt. Der Durchmesser des Kerns beträgt dagegen nur etwa ein hunderttausendstel des Hüllendurchmessers, das sind ca.  $10^{-15}$  m. Das Volumen des Atoms wird daher durch die Atomhülle bestimmt. Wegen des sehr großen Unterschiedes zwischen den Abmessungen des Atomkerns und der Atomhülle sind Atompackungen in fester Materie für andere Atome zwar undurchlässig, für schnell fliegende →Elementarteilchen dagegen weitgehend durchlässig.

Die Elektronen bewegen sich entgegen den Gesetzen der klassischen Physik strahlungsfrei auf ihren Bahnen um den Atomkern. Die Bahnen haben diskrete Abstände. Elektronen auf kernferneren Bahnen haben einen höheren Energieinhalt als auf kernnäheren Bahnen. Um Elektronen auf eine kernfernere Bahn anzuheben, muss Energie zugeführt werden, die einem Vielfachen des Planck'schen Wirkungsquantums  $h$  entspricht. Man spricht dann von einem angeregten Atom. Entsprechend wird beim Rücksprung die gleiche Energie (Anregungsenergie) in Form von elektromagnetischer Strahlung wieder frei. Die Energie, die aufgewendet werden muss, um ein Elektron ganz aus dem Anziehungsbereich des Kerns zu entfernen, ist die Ionisierungsenergie oder →Bindungsenergie des Elektrons.



### Bohr'sches Atommodell

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

Für den Atomkern kann man ein ähnliches Modell der Anregung aufstellen, das zu Atomkernen im **→angeregten Zustand** führt.

### Bonnerkugel-System

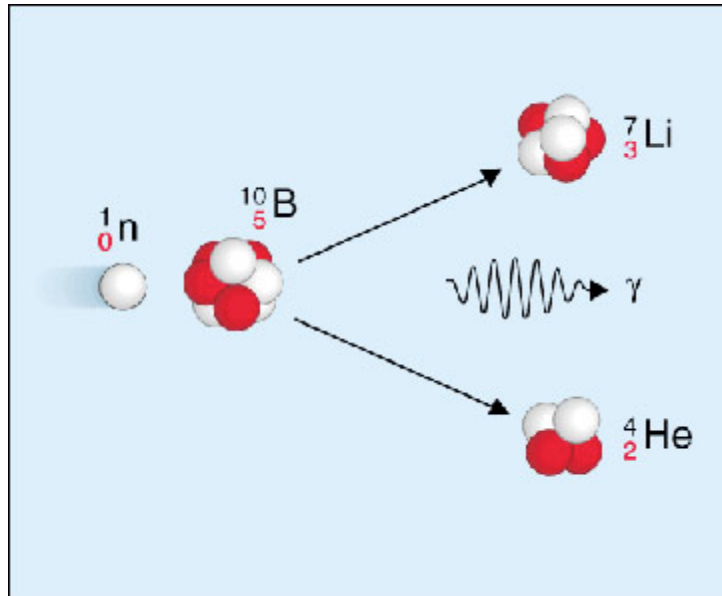
Detektorsystem zur Untersuchung der Energieverteilung in einem Neutronen-Strahlungsfeld; das System besteht aus mehreren Detektoren für thermische Neutronen (z.B. mit  $^{10}\text{BF}_3$  oder Tritium gefüllte Proportionalzählrohre), die innerhalb von Moderator-kugeln mit unterschiedlichem Durchmesser angeordnet sind. Da die Moderator-kugeln somit unterschiedliche Thermalisierungseigenschaften in Abhängigkeit von der Neutronenenergie haben, kann bei bekannten Eigenschaften der einzelnen Detektoren aus der Kombination der Anzeigen der einzelnen Detektoren auf die Energieverteilung der Neutronen im Strahlungsfeld geschlossen werden. Ein Beispiel ist das Bonnerkugel-System Nemus, das aus 12 Detektoren besteht. Es dient als Referenzsystem für die Neutronenspektrometrie in unbekanntem Neutronenfeldern im Energiebereich von thermischen Energien bis ca. 400 MeV.  
 (WIE02, VOG04)

### Borosilikatglas

Glassorte mit hoher Auslaugbeständigkeit; geeignet zur Verfestigung des flüssigen hochradioaktiven Abfalls aus der Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen. **→Ver-glasung**

## Borzähler

Detektor, z. B. ein Proportionalzählrohr, der gasförmiges  $\text{BF}_3$  enthält zum Nachweis langsamer Neutronen. Dabei dient das bei der Kernreaktion des Neutrons mit B-10 entstehende  $\rightarrow$ Alphateilchen (= He-Kern) zum Neutronennachweis.



Zum Nachweis von Neutronen dient das bei der Kernreaktion an B-10 entstehende Alphateilchen

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Boson

Sammelname für alle Teilchen, die der Bose-Einstein-Statistik gehorchen. Bosonen haben einen ganzzahligen Spin. Bosonen sind z.B.  $\rightarrow$ Photonen,  $\rightarrow$ Pionen und die meisten schweren  $\rightarrow$ Mesonen. Das Gegenteil der Bosonen sind die Fermionen, die einen halbzahligen Spin besitzen.

## Bothe

Walter Bothe, \* 8.1.1891 in Oranienburg, † 8.2.1957 in Heidelberg; Physiker, Professor für Physik in Gießen und Heidelberg, ab 1934 Leiter am Institut für Physik des Kaiser-Wilhelm-Instituts in Heidelberg (später Max-Planck-Institut). Bothe entwickelte zusammen mit W.Kohlhäuser die Methode der Koinzidenzmessung und wies damit den Teilchencharakter der kosmischen Strahlung nach (1929). W. Bothe erhielt 1954 zusammen mit Max Born den Nobelpreis für Physik.



Walter Bothe

Quelle:

<http://www.nobelpreis.org/physik/bothe.htm>

## Bq

Kurzzeichen für →[Becquerel](#), den Namen für die Einheit der Aktivität.

## Brachytherapie

(von griech.: brachýs = kurz), eine Form der Krebstherapie durch Bestrahlung mit ionisierender Strahlung; hierbei wird die Strahlenquelle nahe an das zu bestrahlende Gewebe herangebracht. Dies kann durch Aufbringen einer Strahlenquelle auf die Haut (bei Hautkrebs) oder durch Einbringen in den Körper z.B. über Körperöffnungen (interkavitäre Brachytherapie) oder die Blutbahnen (intravaskuläre Brachytherapie). Als Strahlenquellen werden in der Regel Gammastrahler (Ir 192, Cs 137) oder Betastrahler (Sr 90, Y 90, Ru 106) eingesetzt.

## Bragg-Gray-Bedingung

Ist ein Hohlraum innerhalb eines Materials A mit einem Material B gefüllt, so besteht ein Strahlenfeld unter Bragg-Gray-Bedingungen, wenn

- a) die Flussdichte der Elektronen der ersten Generation sowie ihre Energie- und Richtungsverteilung durch den mit dem Material B gefüllten Hohlraum nicht verändert werden,
- b) die Energie, die von den im Material B durch Photonen ausgelösten Sekundärelektronen auf dieses Material übertragen wird, vernachlässigbar ist gegenüber der insgesamt auf das Material B übertragenen Energie und
- c) die spektrale Flussdichteverteilung der Elektronen aller Generationen innerhalb des Materials B ortsunabhängig ist.

Diese Bedingungen bedeuten, dass die am interessierenden Punkt im Material B erzeugte Energiedosis allein durch die Energiebilanz der in das Material B ein- und austretenden Elektronenstrahlung der ersten Generation bestimmt wird. Die Bragg-Gray-Bedingung ist unabhängig von der einfallenden Strahlenart definiert. Bei Photonenstrahlung sind dies die Photoelektronen, Comptonelektronen und Elektron-Positron-Paare. Die von ihnen durch Elektron-Elektron-Streuung erzeugten Sekundär-

elektronen werden als Elektronen der zweiten Generation bezeichnet. (siehe auch DIN 6814 Teil 3)

## Brandbekämpfung in Strahlenschutzbereichen

Zur Vorbereitung einer Brandbekämpfung in Strahlenschutzbereichen sind die betroffenen Bereiche nach der Strahlenschutzverordnung einer Gefahrengruppe zuzuordnen und am Zugang entsprechend zu kennzeichnen. Es gibt drei Gefahrengruppen:

- I Die Feuerwehr kann ohne besonderen Schutz vor den Gefahren radioaktiver Stoffe tätig werden.
- II Die Feuerwehr kann nur mit Sonderausrüstung tätig werden.
- III Die Feuerwehr kann nur mit Sonderausrüstung und unter Hinzuziehung eines Sachverständigen tätig werden, der die anzuwendenden Schutzmaßnahmen beurteilen kann.

## Breites Strahlenfeld

Breite Strahlenfelder werden zur Messung der Schwächung eines Strahlenfeldes beim Durchgang durch Materie verwendet, wobei die geschwächte Größe sich auf alle Strahlenteilchen, unabhängig von ihrer Richtung bezieht. Ein Strahlenbündel mit großem Durchmesser fällt dabei auf eine Materieschicht und wird beim Austritt von einem Detektor erfasst, der alle Teilchen (z.B. auch die gestreuten Photonen) erfasst. Eine Anwendung ist die Ermittlung des Schwächungsfaktors, der die Verringerung der Ortsdosisleistung durch eine Abschirmwand beschreibt.

## Breitstrahlgeometrie

Begriff im Zusammenhang mit der Abschirmung von Photonenstrahlung; im Gegensatz zur →[Schmalstrahlgeometrie](#) wird bei der Breitstrahlgeometrie ein breites Strahlenfeld betrachtet, in dem auch die im Abschirmmaterial gestreute Strahlung zur Dosisleistung beiträgt. Die Breitstrahlgeometrie herrscht in den meisten praktischen Strahlenschutzsituationen vor. Bei Abschirmrechnungen ist hierbei die Streustrahlung durch den →[Dosisaufbaufaktor](#) zu berücksichtigen.

## Bremsstrahlung

Bei der Abbremsung von Elektronen in Materie, d.h. im elektrischen Feld der Atome, wird elektromagnetische Strahlung frei: die Bremsstrahlung. Die Energie des „Bremsphotons“ hängt vom Energieverlust des Elektrons im Feld ab und kann dementsprechend variieren. Bei der Abbremsung von Elektronen in Materie entsteht daher im Allgemeinen ein kontinuierliches Photonenspektrum mit einer Grenzenergie  $E_{\max}$ , die der ursprünglichen kinetischen Energie der Elektronen entspricht. →[Röntgenstrahlung](#)

## Bremsstrahlungs-Ausbeutefaktor

Der Bremsstrahlungs-Ausbeutefaktor  $g$  für eine Materialart gibt an, wie viel der Strahlungsenergie über die Energie der Sekundärelektronen in Bremsstrahlung transferiert wird. (s. DIN 6814-2, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Bremsvermögen, atomares

Das atomare Bremsvermögen ist der Quotient aus dem →[linearen Bremsvermögen](#) und der Anzahldichte der Atome in dem abbremsenden Medium (Def. DIN 25401 Teil 1, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Brennelement

Ein Brennelement ist bei Leichtwasserreaktoren eine aus einer Vielzahl von →[Brennstäben](#) montierte Anordnung, in der der Kernbrennstoff in den Kernreaktor eingesetzt wird. Ein Brennelement eines Druckwasserreaktors enthält rund 530 kg, das eines Siedewasserreaktors rund 190 kg Uran. Im Druckwasserreaktor des Kernkraftwerks Emsland sind 193, im Siedewasserreaktor des Kernkraftwerks Krümmel 840 Brennelemente eingesetzt.

Bei einem Hochtemperaturreaktor sind die Brennelemente kugelförmig und etwa so groß wie Tennisbälle. Der Brennstoff ist fein verteilt in eine Graphitmatrix eingebettet, und jedes Brennstoffpartikel ist zusätzlich von einer Schutzhülle umgeben. →[Beschichtete Partikel](#)

Die in einem Kernkraftwerk vorhandene Radioaktivität ist zum überwiegenden Teil in den zur Energieerzeugung eingesetzten Brennelementen konzentriert.

## Brennelement-Zwischenlager

Lagergebäude zur zeitlich begrenzten Lagerung ausgedienter Brennelemente für den Zeitraum zwischen Entladung aus dem Kernkraftwerk und der Wiederaufarbeitung oder der direkten Endlagerung; die Lagerung erfolgt in speziellen für Transport und Lagerung entwickelten Gusseisen-Behältern, insbesondere in sogenannten →[Castor®-Behältern](#), die alle Sicherheitsfunktionen wie Strahlenabschirmung, Rückhaltung radioaktiver Stoffe, mechanische Integrität auch bei Erdbeben und Flugzeugabsturz erfüllen. Die Lagerung dieser Behälter erfolgt in Lagerhallen konventioneller Bauweise. Die Kühlung der Behälter im Zwischenlager geschieht durch vorbei streichende Luft in Naturkonvektion. In Deutschland bestehen solche Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente in Ahaus (Nordrhein-Westfalen) mit einer Kapazität von 3960 t abgebrannten Kernbrennstoffs und in Gorleben (Niedersachsen) mit einer Lagerkapazität von 3800 t. Ein weiteres, modifiziertes Zwischenlager wurde in Lubmin (Mecklenburg-Vorpommern) u.a. für die Lagerung von Brennelementen der Reaktorblöcke des ehemaligen Kernkraftwerks Greifswald errichtet. Weitere Zwischenlager werden bzw. wurden jeweils an den Standorten der Kernkraftwerke errichtet und in Betrieb genommen.

## Brennelemente, abgebrannte

Brennelemente nach ihrem Einsatz im Reaktor; auch ausgediente oder bestrahlte Brennelemente genannt.

## Brennelemente, ausgediente

→[Brennelemente, abgebrannte](#)

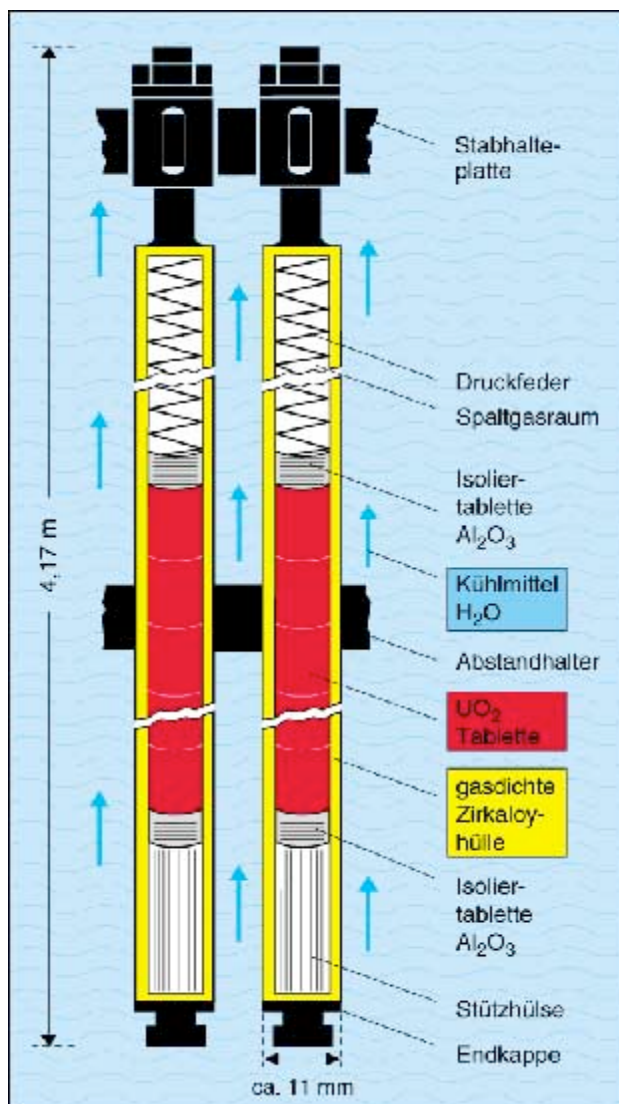


## Brennelemente, bestrahlte

→ Brennelemente, abgebrannte

## Brennstab

Geometrische Form, in der → Kernbrennstoff in Form von → Pellets (Brennstofftabletten) und ummantelt mit Hüllmaterial in einen Reaktor eingesetzt wird; meistens werden mehrere Brennstäbe zu einem Brennelement zusammengefasst. Beim Kernkraftwerk Krümmel mit einem Siedewasserreaktor bilden 72 Brennstäbe ein Brennelement, beim Druckwasserreaktor des Kernkraftwerks Emsland sind 300 Brennstäbe zu einem Brennelement zusammengefasst.



Brennstab

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Brennstoff

→ Kernbrennstoff

## **Brennstoff, keramischer**

Hochtemperaturbeständiger Kernbrennstoff in keramischer Form, z. B. Oxide, Karbide, Nitride.

## **Brennstoffhülle**

Den Kernbrennstoff unmittelbar umschließende dichte Umhüllung, die diesen gegen eine chemisch aktive Umgebung (Kühlwasser) schützt und den Austritt von Spaltprodukten in das Kühlwasser verhindert.

## **Brennstoffkreislauf**

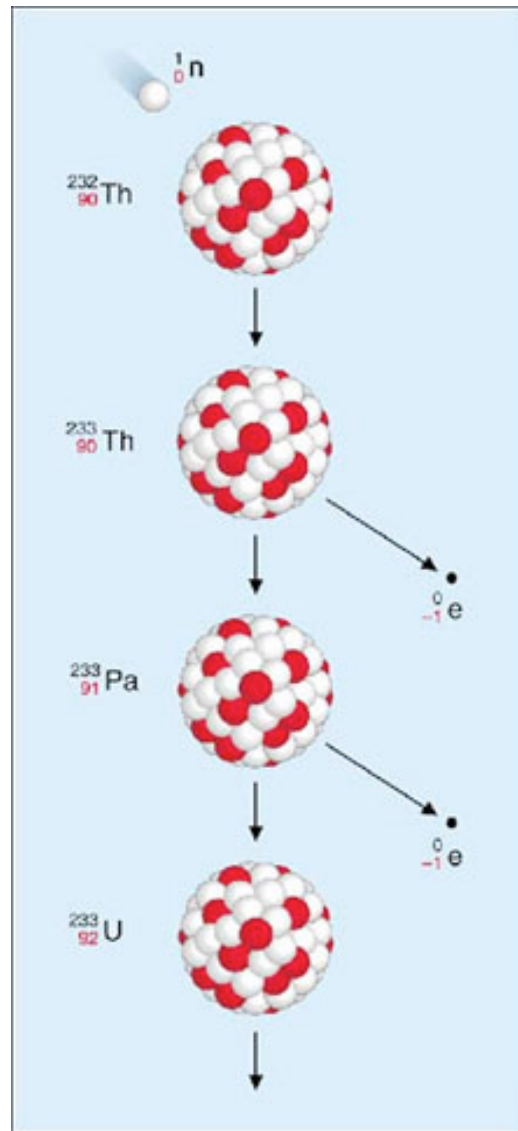
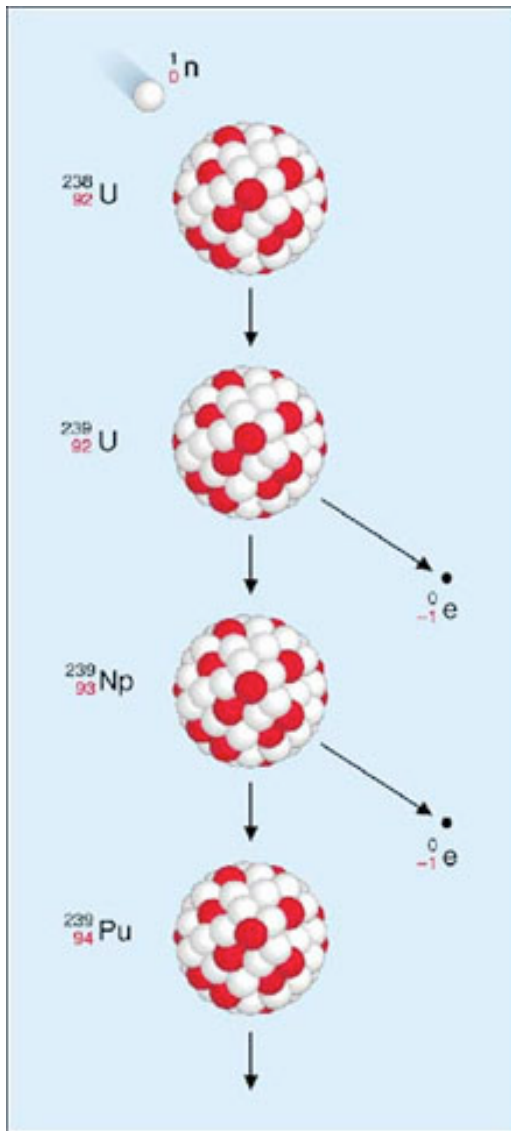
→[Kernbrennstoffkreislauf](#)

## **Brennstoffwiederaufarbeitung**

Die chemische Behandlung von Kernbrennstoff nach seinem Einsatz im Reaktor zur Entfernung der →[Spaltprodukte](#) und zur Rückgewinnung des unverbrauchten Urans und des bei der Spaltung entstandenen neuen Spaltstoffes Plutonium. →[Wiederaufarbeitung](#)

## **Brüten**

Umwandlung von nicht spaltbarem in spaltbares Material, z. B. Uran-238 in Plutonium-239; durch Neutronenbestrahlung in einem Reaktor entsteht aus U-238 das Nuklid U-239, das sich über zwei aufeinander folgende Betazerfälle in Pu-239 umwandelt.



Brutprozesse:

Entstehen von Pu-239 aus U-238

Entstehen von U-233 aus Th-232

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Brutprozess

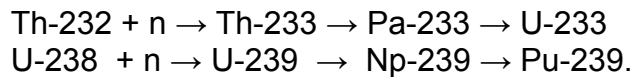
Der Vorgang zur Umwandlung von nicht spaltbarem Material in spaltbares Material.  
 → Brutstoff

## Brutreaktor

Ein Reaktor, der mehr Spaltstoff erzeugt als er verbraucht. → Konverterreaktor,  
 → Schneller Brutreaktor

## Brutstoff

Nicht spaltbarer Stoff, aus dem durch Neutronenabsorption und nachfolgende Kernumwandlungen spaltbares Material entsteht. Brutstoffe sind Thorium-232, das in spaltbares Uran-233, und Uran-238, das in spaltbares Plutonium-239 umgewandelt wird.



## Bundesamt für Strahlenschutz

Das Bundesamt für Strahlenschutz ist eine selbständige Bundesbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Das Bundesamt für Strahlenschutz erledigt Verwaltungsaufgaben des Bundes auf den Gebieten des Strahlenschutzes einschließlich der Strahlenschutzvorsorge sowie der kerntechnischen Sicherheit, der Beförderung radioaktiver Stoffe und der Entsorgung radioaktiver Abfälle einschließlich der Errichtung und des Betriebs von Anlagen des Bundes zur Sicherstellung und zur Endlagerung radioaktiver Abfälle. Das Bundesamt für Strahlenschutz unterstützt den Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit fachlich und wissenschaftlich auf den genannten Gebieten, insbesondere bei der Wahrnehmung der Bundesaufsicht, der Erarbeitung von Rechts- und Verwaltungsvorschriften sowie bei der zwischenstaatlichen Zusammenarbeit. Das Bundesamt für Strahlenschutz betreibt zur Erfüllung seiner Aufgaben wissenschaftliche Forschung.

## BWR

Abk. für **B**oiling **W**ater **R**eactor; → [Siedewasserreaktor](#)

## Bystander-Effekt

Strahleninduzierte Effekte in unbestrahlten Zellen in der Nachbarschaft von bestrahlten Zellen werden als Bystandereffekte bezeichnet. Diese Effekte beinhalten Chromosomenveränderungen (Schwester-Chromatid-Austausche, Chromosomenaberrationen), die Induktion von Genmutationen, die genomische Instabilität, die Mikrokernbildung, veränderte Zellzyklusregulationen und den Zelltod. Obwohl die Regulationsmechanismen von strahleninduzierten Bystandereffekten noch nicht erklärt werden können, gibt es Hinweise, dass sie interzellulär durch lösliche extrazelluläre Faktoren (z. B. Cytokine) oder über direkte Zell-Zell-Kommunikation vermittelt werden. (BEC05)

## C

### C-14

Radioaktives Isotop des Kohlenstoffs; →[Kohlenstoff-14](#)

### Cadmiumverhältnis

Verhältnis der bei einer bestimmten Neutronenflussdichte induzierten Sättigungsaktivität einer Stoffprobe zur entsprechenden Sättigungsaktivität der mit Cadmium hinreichend abgedeckten Probe. (Def. DIN 25401 Teil 1, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

### CANDU

Kanadischer Schwerwasser-moderierter Druckröhren-Natururanreaktor (→[Druckröhrenreaktor](#)); der Name setzt sich zusammen aus: 'CAN' aus Canada, 'D' aus dem fachsprachlichen Namen Deuteriumoxid für Schwerwasser und 'U' aus dem Brennstoff Uran.

### CANUPIS-Studie

Nationale Kohortenstudie in der Schweiz (**C**hildhood **C**ancer and **N**uclear **P**ower **P**lants in **S**witzerland) über Leukämie und andere Krebserkrankungen bei Kindern bis zu 15 Jahren, die in der Umgebung von Kernkraftwerken wohnen. Die Studie basiert auf Daten aus dem Zeitraum 1985-2009 und umfasst insgesamt 21 Mio. Lebensjahre. Untersucht wurden Zonen 0-5 km, 5-10 km und 10-15 km im Umkreis von Schweizer Kernanlagen. Das Ergebnis der 2011 veröffentlichten Studie ist: Krebserkrankungen bei Kindern in der nahen Umgebung von Kernkraftwerken sind nicht signifikant häufiger als bei weiter entfernt wohnenden Kindern.

### Castor

Abk. für **C**ask for **s**torage and **t**ransport of **r**adioactive material; Behältertyp für den Transport und die Zwischenlagerung von abgebrannten Brennelementen und verglasten hochaktiven Abfällen. Für alle CASTOR®-Typen gilt dieselbe Grundkonzeption. Der Transportbehälter ist ein dickwandiger (ca. 450 mm) Körper aus Gusseisen mit Kugelgraphit. Dieses Material zeichnet sich durch besonders hohe Festigkeit und Zähigkeit aus. In der Wandung des Gusskörpers befinden sich durchgehende axiale Bohrungen, die mit Kunststoffstäben gefüllt sind. Diese Kunststoffeinlagen dienen der Neutronenabschirmung. Auch im Boden- und Deckelbereich befinden sich solche Einlagen. Die Brennelemente stehen in einem Gestell aus Borstahl, einem Neutronen absorbierenden Material. Der Behälter ist durch ein Mehrfachdeckelsystem verschlossen. Es besteht aus einem etwa 340 mm starken Primärdeckel sowie einem etwa 130 mm starken Sekundärdeckel aus Edelstahl. Die beiden übereinander liegenden Deckel sind mit dem Behälterkörper fest verschraubt. Die Dichtwirkung der Deckel wird durch den Einsatz besonderer Metalldichtungen gewährleistet. Eine über dem Deckelsystem aufgeschraubte Schutzplatte aus Stahl schützt das Deckelsystem

vor mechanischen Einwirkungen und Feuchtigkeit. Am Kopf- und Fußende des Behälters sind Tragzapfen angebracht. Die Sicherheit der Brennelementbehälter vom Typ CASTOR wurde durch folgende Prüfungen nachgewiesen:

- Fall aus 9 m Höhe auf ein praktisch unnachgiebiges Fundament (Betonsockel von 1.000 t, abgedeckt mit einer 35 t schweren Stahlplatte. Diese Fallversuche wurden teilweise mit auf minus 40 °C abgekühlten Behältern durchgeführt. Bei dieser niedrigen Temperatur ist das Material weniger widerstandsfähig. Bei Fallversuchen aus 9 m Höhe auf das genannte praktisch unnachgiebige Beton-Stahl-Fundament werden die Behälter Belastungen ausgesetzt, die in der Praxis bei Transportunfällen denkbar, jedoch äußerst unwahrscheinlich sind. Damit sind die Tests repräsentativ für einen Fall aus weit größerer Höhe auf einen realen Untergrund, z. B. auf Straße oder Erdreich, und für Belastungen bei schwersten Verkehrsunfällen),
- Feuertests bei einer Temperatur von mehr als 800 °C über die Zeit von einer halben Stunde,
- Simulation des Aufpralls eines Flugzeuges durch den Beschuss mit einem Flugkörper von ca. 1 t Gewicht mit nahezu Schallgeschwindigkeit.

## **CEA**

Abk. für **Commissariat à l'Energie Atomique**; französische Atomenergiebehörde.

## **CEN**

Abk. für →[Europäisches Komitee für Normung](#) (Comité Européen de Normalisation)

## **Cerenkov-Strahlung**

Licht mit Intensitätsmaximum im blauen Spektralbereich, das entsteht, wenn geladene Teilchen sich in einem lichtdurchlässigen Medium mit einer Geschwindigkeit  $v$  bewegen, die größer ist als die Lichtgeschwindigkeit in diesem Material ( $v > c_0/n$ ,  $c_0$  = Lichtgeschwindigkeit im Vakuum,  $n$  = Brechungsindex). Die Schwellenenergie für das Auftreten von Cerenkov-Strahlung beträgt bei Elektronenstrahlung in Wasser ( $n = 1,33$ ) 260 keV.

## **Charakteristische Röntgenstrahlung**

→[Röntgenstrahlung](#)

## **Chelatbildner**

Chelatbildner sind organische Verbindungen, die in der Lage sind, Metallionen so in das organische Molekül einzubauen, dass das Metallion die für sein biologisches Verhalten wesentlichen chemischen Eigenschaften verliert und beschleunigt aus dem Körper ausgeschieden werden kann. Chelatbildner wirken deshalb als Dekorporationsmittel. Beispiel: DPTA (Diäthylentriaminpentaacetat) steht als Ca-DPTA und Zn-DTPA zur Verfügung und wirkt speziell auch bei Plutonium-Inkorporationen.

## **Chop-Leach-Verfahren**

Verfahren in Wiederaufarbeitungsanlagen zum Aufschluss der Brennstäbe. Dabei werden die bestrahlten Brennstäbe mit einer mechanischen Vorrichtung in einige Zentimeter große Stücke zerschnitten, und in einem Lösekessel werden der Kernbrennstoff und die Spaltprodukte mit konzentrierter Salpetersäure aus den Brennstoffhüllrohren herausgelöst.

## **Chromatographie**

Verfahren zur Abtrennung von Substanzen aus Substanzgemischen, bei der die zwischen einer stationären Phase und einer mobilen Phase (Laufmittel) auftretenden Verteilungsvorgänge trennend wirken. Je nach Anordnung der stationären Phase unterscheidet man Säulen-, Papier- und Dünnschichtchromatographie.

## **Chromosomen**

Bestandteile des Zellkerns; die Chromosomen sind Organisationsstrukturen, die eine große Menge an DNS und damit eine große Anzahl von Genen tragen. Der Mensch besitzt in seinen Körperzellen 46 Chromosomen, die paarweise angeordnet sind. Die Keimzellen enthalten nur einen einfachen Satz von 23 Chromosomen. Die jeweilige Anzahl von Chromosomen ist für die verschiedenen Lebewesen charakteristisch. Alle Eigenschaften, Funktionsweisen und Ausstattungsmerkmale eines Organismus, auch krankhafte, sind in diesen 46 Chromosomen und den darauf sitzenden Genen als Daten speichernde Einheiten enthalten. Durch diese werden z.B. die Augenfarbe, das Aussehen eines Menschen oder Beginn und Ende des Wachstums von Zellen bestimmt. Veränderungen an Chromosomen, z.B. durch ionisierende Strahlen, können schwere Schäden erzeugen. Eine spezielle Art der Chromosomen sind die Geschlechtschromosomen. Die Chromosomen liegen nicht willkürlich im Zellkern. Sie sind an vielen Punkten an die Kernmembran angeheftet und hängen an dieser wie Girlanden in die Kernlymphe (Kernflüssigkeit) hinein.

## **Chromosomenaberration**

Abweichung von der normalen Zahl oder der normalen Gestalt der Chromosomen; die Untersuchung von Chromosomenaberrationen erfolgt in der Regel an Lymphozyten, die durch Blutentnahme gewonnen werden. Lymphozyten haben eine lange Verweildauer im Organismus und teilen sich nach ihrer Entstehung nicht mehr. Blutuntersuchungen an Atombombengeschädigten haben Chromosomenschäden in den Lymphozyten ergeben, die auf die Strahlenwirkung zurückgeführt werden.

## **Chromradiometer**

Messgerät zur Ermittlung der Dosis, wobei die Farbumschlag einer chemischen Substanz durch Einwirkung ionisierender Strahlung genutzt wird; dieser Messgerätyp war der erste im praktischen Strahlenschutz des Patienten bei der Anwendung von Röntgenstrahlen.

Zu den ersten Messeinrichtungen gehörte das 1902 von →[Holzknecht](#) entwickelte Messgerät zur Ermittlung der Dosis durch Röntgenstrahlen, das eine beschichtete Scheibe enthielt, dessen Farbänderung beobachtet wurde. Als Maßeinheit wurde 1



Holzknicht (1H) eingeführt. Als Schadensbezug wurde definiert, dass bei 3 H eine milde Hautreaktion auftritt.

Die 1904 von R. Sabouraud und N. Noiré vorgestellte Messeinrichtung enthielt Pastillen aus Barium-Platinocyanid, deren Farbe bei Bestrahlung von hellgrün nach dunkel Gelb-orange wechselte. Dieses Dosimeter wurde auf halber Strecke zwischen Röntgenröhre und Patient platziert. Zu einer gewünschten Dosis gehörte eine vorgegebene Farbänderung. War diese erreicht, konnte die Bestrahlung beendet werden. Diese Dosismessungen waren noch ziemlich ungenau, da die Farbänderungen neben der Dosis von weiteren Parametern abhängig waren, z.B. von der Temperatur und der Feuchte. (s. auch FRA05)

## Ci

Einheitenkurzzeichen für →[Curie](#)

## Coated Particles

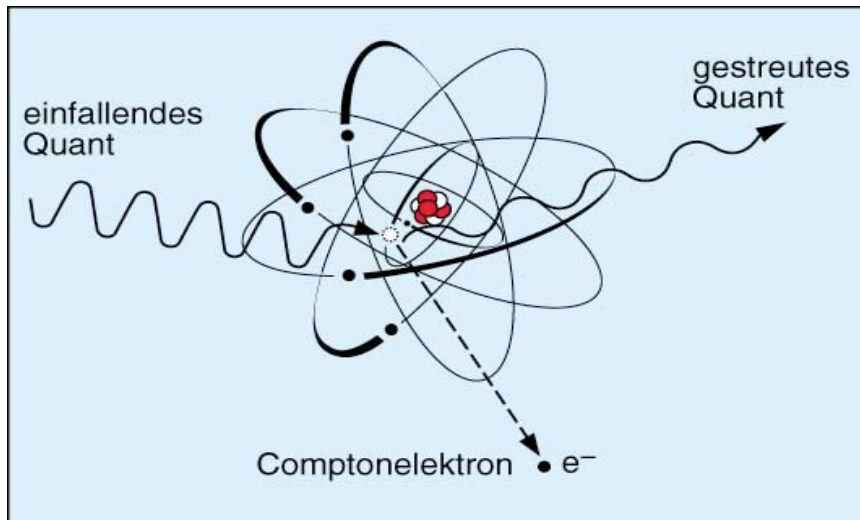
Engl. Ausdruck für →[beschichtete Partikel](#)

## COGEMA

Abk. für **C**ompagnie **G**énérale des **M**atières Nucléaires, französische Unternehmensgruppe für den Kernbrennstoffkreislauf (jetzt AREVA); betreibt u. a. die Wiederaufarbeitungsanlage La Hague.

## Compton-Effekt

Wechselwirkungseffekt von Röntgen- und Gammastrahlung mit Materie. Der Compton-Effekt ist die elastische Streuung eines →[Photons](#) an einem freien oder quasi-freien Elektron aus der Elektronenhülle eines Atoms. Ein Teil der Energie und des Impulses des Photons wird auf das Elektron übertragen, der Rest bleibt bei dem gestreuten Photon. Die Energie des gestreuten Photons und damit seine Frequenz ist geringer als vor der Streuung. Der Compton-Effekt ist für Gammastrahlung mittlerer Energie (100 keV – 2 MeV) der für den Energieverlust bestimmende Wechselwirkungseffekt.



Compton-Effekt, Wechselwirkung eines Gammaquants mit einem Hüllelektron

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Compton-Kante

Begriff aus der Photonenspektrometrie; die Compton-Kante ist das hochenergetische Ende des Untergrundes im Spektrum, der durch die Compton-Streuung im Detektor hervorgerufen wird. Sie ist durch die Photonen bedingt, die bei einem Compton-Streuprozess die maximale Energie auf ein Elektron übertragen (Rückstreuung unter  $180^\circ$ ) und danach den Detektor ohne weitere Energieabgabe verlassen. Die maximal auf das Elektron übertragene Energie und damit die Lage der Compton-Kante  $E_c$  hängt von der Ausgangsenergie  $E_\gamma$  des Photons ab. Sie kann näherungsweise durch folgende Zahlenwertgleichung berechnet werden:

$$E_c \approx E_\gamma^2 \frac{1}{E_\gamma + 0,256} \quad (\text{Energien in MeV})$$

## Compton-Streuung

Inelastische Streuung eines Photons an einem Elektron. Die Compton-Streuung wird auch inkohärente Streuung genannt. → [Compton-Effekt](#)

## Containment

→ [Sicherheitsbehälter](#) eines Reaktors.

## CORD/UV®-Verfahren

Chemisches Dekontaminationsverfahren, das von Firma Siemens/KWU (heute Areva) entwickelt wurde; CORD steht für **C**hemische **O**xidation **R**eduktion **D**ekontamination. Das CORD/UV®-Verfahren ist ein mehrstufiges Verfahren, bestehend aus

- Voroxidation mit einer verdünnten, permangansauren Lösung ( $\text{HMnO}_4$ ),

- Reduktion mit Oxalsäure,
- Dekontamination durch Lösen der Oxidschichten, Einbinden der Metallionen in Komplexbildner und Abscheidung auf Ionentauscherharzen
- Zersetzen der eingesetzten Chemikalien durch photokatalytische Nassoxidation

Die Vorteile des Verfahrens liegen in der ständigen Regeneration der Dekontamination, die damit immer frisch an die zu dekontaminierenden Flächen geführt wird, sowie in dem geringen Abfallaufkommen infolge der Zersetzung der eingesetzten Chemikalien.

Bezüglich praktischer Erfahrungen s. z.B.:

<http://www.ubka.uni-karlsruhe.de/cgi-bin/psview?document=/fzk/6510&search=/fzk/6510>

## Core

Reaktorkern; Spaltzone eines Kernreaktors.

## Corecatcher

Kernschmelzrückhalteeinrichtung, →[Kernschmelzen](#)

## CP-1

Chicago Pile No. 1, erster künstlicher Kernreaktor (s. auch →[Oklo](#)); die erste sich selbst erhaltende Kettenreaktion gelang einer Wissenschaftlergruppe unter Leitung von Enrico →[Fermi](#) am 2. Dezember 1942 in Chicago, IL, USA. Als Brennstoff diente Natururan, als Moderator Graphit. Eine besondere Kühlung war wegen der geringen Leistung des Reaktors nicht erforderlich.



CP-1 während des kritischen Experiments zur ersten sich selbst erhaltenden Kettenreaktion am 2.12.1942 auf einem Squash Court der Universität Chicago; Gemälde von John Cadel

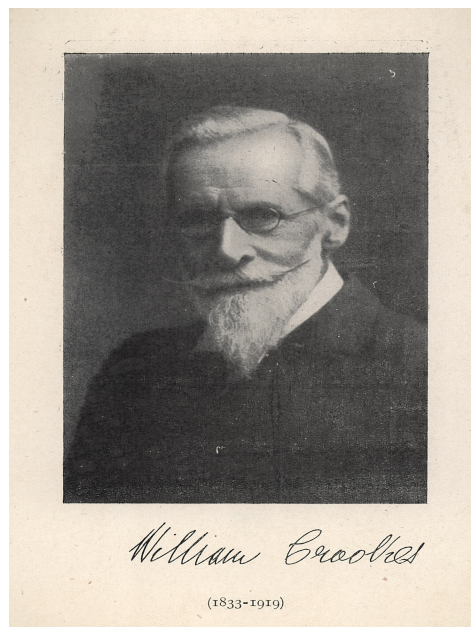
Quelle: [http://www.atomicarchive.com/History/firstpile/p8\\_image.shtml](http://www.atomicarchive.com/History/firstpile/p8_image.shtml)

## CR-39

Detektormaterial aus Polycarbonat für den Nachweis schwerer Teilchen im Ätzspurverfahren; CR-39 wird zum Nachweis von Neutronen und Alphateilchen in passiven Dosimetern eingesetzt. Das Material hat eine Dichte von  $1,32 \text{ g/cm}^3$  und wird von verschiedenen Herstellern angeboten. →[Kernspurdetektor](#)

## Crookes

William Crookes, \* London 17.6.1832 † London 4.4.1919, vielseitig arbeitender brit. Physiker und Chemiker; entdeckte u.a. bei spektroskopischen Versuchen 1861 das chemische Element Thallium, untersuchte die Kathodenstrahlen, entdeckte 1900 das Thoriumisotop Th-234 und entwickelte 1903 das →[Spinthariskop](#) zum Nachweis von Alphastrahlen. Er wurde 1863 Mitglied der Royal Society und wurde 1897 geadelt (Sir).



Sir William Crookes

Quelle: Wikipedia

## Crud

In der Wiederaufarbeitung Begriff für Niederschläge, die aus Spaltprodukten, hauptsächlich Zirkon zusammen mit Radiolyseprodukten des Lösungsmittels entstehen; diese Niederschläge sammeln sich vornehmlich an den Phasengrenzflächen zwischen Kernbrennstofflösung und Extraktionsmittel und stören die quantitative Extraktion.

In Kernkraftwerken werden mit Crud auch aktivierte Korrosionsprodukte bezeichnet, die von Oberflächen abgeplatzt sind und sich in strömungsarmen Zonen des Kühlkreislaufes oder in Transportbehältern abgelagert haben. Diese Ablagerungen können sehr hohe Ortsdosisleistungen aufweisen.

## Curie

1. Marie, geb. Sklodowska, franz. Chemikerin polnischer Herkunft; \* Warschau 17.11.1867 † Sancellemoz (Dep. Hauté Savoie) 4.7.1934 an Leukämie; entdeckte 1898 gemeinsam mit ihrem Mann Pierre die radioaktiven Elemente Polonium und Radium; erhielt dafür 1911 den Nobelpreis für Chemie. 1903 erhielt sie zusammen mit ihrem Mann und Henri Becquerel den Nobelpreis für Physik (für ihre Untersuchungen zur Radioaktivität); ab 1906 Nachfolgerin ihres Mannes als Professorin für Physik an der Sorbonne in Paris und war damit die erste Frau, die an der Sorbonne lehrte. Sie übernahm 1914 die Leitung des Institut du radium in Paris.



Marie Curie 1911

Quelle:

[http://de.wikipedia.org/wiki/Marie\\_Curie](http://de.wikipedia.org/wiki/Marie_Curie)

2. Pierre, franz. Physiker, \* Paris 15.5.1859 † Paris 19.4.1906 (Unfall); verh. mit 1.; erhielt 1903 zusammen mit seiner Frau und H. Becquerel den Nobelpreis für Physik; ab 1904 Professor an der Sorbonne in Paris



Pierre Curie

Quelle:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Curie-pierre.jpg>

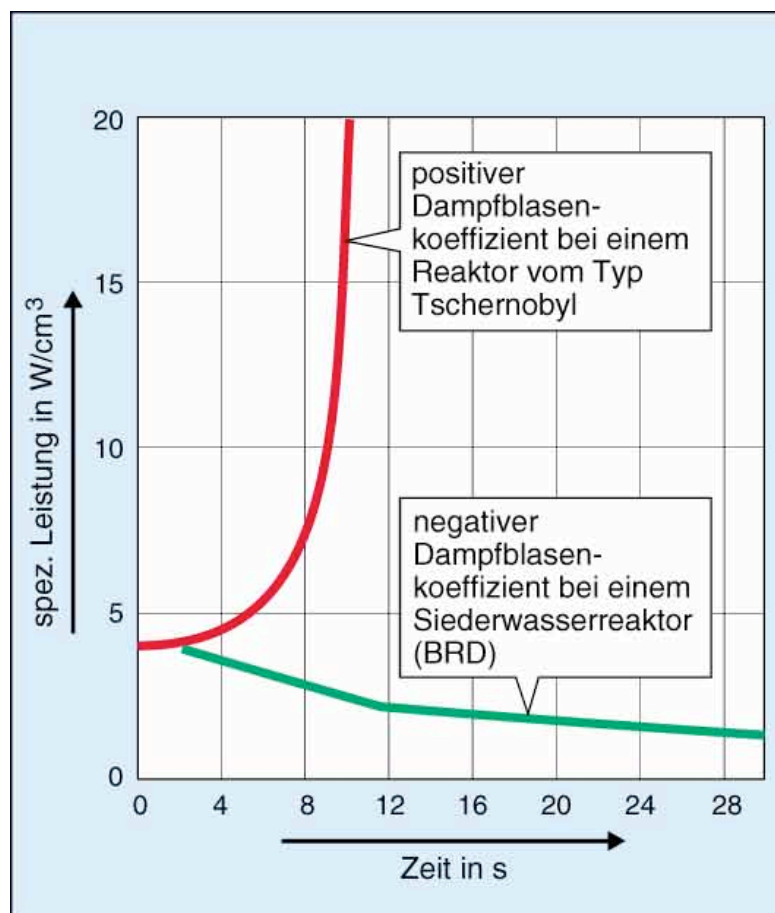
3. Veralteter Name für die Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Curie, Einheitenkurzzeichen Ci, liegt vor, wenn von einem Radionuklid im Mittel  $3,7 \cdot 10^{10}$  (37 Milliarden) Atome je Sekunde zerfallen. Die Aktivitätseinheit Curie wurde ersetzt durch die Einheit →Becquerel. 1 Curie =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Becquerel. 1 Ci entspricht etwa der Aktivität von 1 g Radium. Radium wurde früher als Vergleichsmaßstab herangezogen, weil historisch bedingt die ersten stärkeren, stabilen Quellen Radiumpräparate waren.



# D

## Dampfblasenkoeffizient

Die  $\rightarrow$ Reaktivität eines Reaktors - ein Maß für das Abweichen der Kettenreaktionsrate vom stabilen Gleichgewichtszustand - ist von einer Reihe von Betriebsparametern abhängig, in einem Siedewasserreaktor u. a. vom Dampfblasenanteil im Kühlmittel in der Kernzone. Ein negativer Dampfblasenkoeffizient bewirkt, dass bei einem Ansteigen der Kettenreaktionsrate und dem damit verbundenen Leistungs- und Temperaturanstieg die Leistung durch den sich vergrößernden Dampfblasenanteil automatisch begrenzt wird und wieder zurückgeht. Im deutschen Genehmigungs-Verfahren muss nachgewiesen werden, dass der Dampfblasenkoeffizient immer negativ ist. Beim russischen  $\rightarrow$ RBMK-Reaktortyp ist der Dampfblasenkoeffizient positiv; eine Leistungs- und Temperatursteigerung bewirkt eine immer schneller zunehmende Kettenreaktionsrate, die weitere Leistungs- und Temperaturerhöhungen zur Folge hat, wenn sie nicht durch andere Maßnahmen begrenzt werden kann. Dieser Effekt war eine der physikalischen Ursachen für den Reaktorunfall in Tschernobyl.



Verlauf der Reaktorleistung unter bestimmten Umständen bei positivem und negativem Dampfblasenkoeffizienten

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie

[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## **DAtF**

Abk. für →[Deutsches Atomforum e. V.](#)

## **Datierung, radioaktive**

Verfahren zur Messung des Alters eines Gegenstandes durch Bestimmung des Verhältnisses verschiedener darin enthaltener Radionuklide zu stabilen Nukliden. So kann man z. B. aus dem Verhältnis von Kohlenstoff-14 (C-14) zu Kohlenstoff-12 (C-12) das Alter von Knochen, Holz und anderen archäologischen Proben ermitteln. Basis dieser Ermittlung ist die Tatsache, dass das Verhältnis C-12/C-14 in lebenden Organismen, die Kohlenstoff aus der Umgebung aufnehmen (z.B. über CO<sub>2</sub>), konstant und gleich dem Verhältnis in der natürlichen Atmosphäre ist. Nach dem Absterben wird dieses Verhältnis durch die Abnahme von C 14 durch den radioaktiven Zerfall zugunsten des C-12 verändert. Damit ist das Verhältnis ein Maß für die seit dem Absterben verstrichene Zeit.

## **Dauereinrichtung**

Unter Dauereinrichtung versteht man eine Strahlenschutzeinrichtung, die durch ihr bloßes Vorhandensein auf Dauer wirkt, z.B. eine Abschirmwand, eine Strahlenfalle oder ein Bleiglasfenster. Dauereinrichtungen wurden in der früheren Fassung der Strahlenschutzverordnung in § 54 zum Schutz von Arbeitsplätzen gefordert und bezogen sich vorwiegend auf den Schutz vor externer Bestrahlung. Die Neufassung der Strahlenschutzverordnung von 2001 verwendet den Begriff der Dauereinrichtung nicht mehr, sondern den weiter gefassten Begriff der Schutzvorkehrungen gegen äußere und innere Strahlenexposition. →[Schutzvorkehrungen am Arbeitsplatz](#)

## **DBE**

Abk. für **D**eutsche Gesellschaft zum **B**au und **B**etrieb von **E**ndlagerern für Abfallstoffe mbH, Peine.

## **Deckungsvorsorge**

Die Verwaltungsbehörde hat für Anlagen und Tätigkeiten, bei denen eine atomrechtliche Haftung nach internationalen Verpflichtungen oder nach dem Atomgesetz in Betracht kommt, die Höhe der Vorsorge - Deckungsvorsorge - für die Erfüllung gesetzlicher Schadensersatzverpflichtungen festzulegen, die der Antragsteller zu treffen hat. Die Deckungsvorsorge kann durch eine Versicherung oder durch eine Freistellungs- oder Gewährleistungsverpflichtung eines Dritten erbracht werden. Die Regeldeckungssumme beträgt z.B. bei Reaktoren mit einer elektrischen Leistung von 1.300 MW 2,5 Milliarden Euro. Bei Umgangsgenehmigungen nach § 7 StrISchV kann von der Pflicht zur Deckungsvorsorge befreit werden, wenn die genehmigte Gesamtaktivität vorgegebene Höchstgrenzen nicht überschreitet.

Unbeschadet der Festsetzung dieser Deckungsvorsorge haftet der Inhaber der Anlage aber unbegrenzt. Einzelheiten regelt die Atomrechtliche Deckungsvorsorge-Verordnung.



## Dekontamination

Beseitigung oder Verringerung einer radioaktiven →[Kontamination](#) mittels chemischer oder physikalischer Verfahren, z. B. durch Abwaschen oder Reinigung mit Chemikalien. Die Dekontamination von Luft und Wasser erfolgt durch Filtern bzw. Verdampfen und Ausfällen. Bei der Dekontamination von Personen sind besondere Schutzvorschriften zu beachten (→[Dekontamination von Personen](#)). Die Pflicht zur Dekontamination ist in § 44 StrlSchV geregelt.

## Dekontamination von Personen

Unter Personendekontamination wird im üblichen Strahlenschutz-Sprachgebrauch die Entfernung von radioaktiven Verunreinigungen von der Körperoberfläche verstanden, das sind Haut, Haare, Augen, ggf. noch die Naseninnenfläche. Im weiteren Sinne, aber häufig mit dieser Bezeichnung nicht belegt, gehört dazu noch die beschleunigte Ausscheidung inkorporierter radioaktiver Stoffe (→[Dekorporation](#)). Die Verpflichtung zur Personendekontamination ergibt sich aus der Forderung der Strahlenschutzverordnung nach Vermeidung unnötiger Strahlenexpositionen (§ 6) und aus den konkreten Forderungen aus § 44 Abs. 1 StrlSchV. Bei der Personendekontamination sind hautschonende Verfahren anzuwenden, um zu vermeiden, dass aus der Kontamination eine Inkorporation wird. Die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) hat dazu eine Empfehlung herausgegeben, in der auch angegeben wird, unter welchen Randbedingungen eine Hautkontamination ohne weitere Dekontamination belassen werden kann. Der Richtwert liegt für kleinflächige  $\beta$ -/ $\gamma$ -Kontaminationen bei 10 Bq/cm<sup>2</sup>. In den Veröffentlichungen der SSK sind auch Dekontaminationsmittel für die Hautdekontamination genannt. Beispiele sind

- Physiologische Kochsalzlösung (Augen)
- Mild reibende Dekontaminationspaste (Hände)
- Komplexierlösung
- Dusche mit lauwarmen Wasser (Ganzkörper)
- Niedrigprozentige Säuren

Lit.: OHL89, SSK18

## Dekontaminationsfaktor

Verhältnis der Aktivität, der flächenbezogenen Aktivität, der Aktivitätskonzentration oder der spezifischen Aktivität vor und nach der →[Dekontamination](#) von radioaktiv verunreinigten Gegenständen, Abwässern, Luft usw. Der Dekontaminationsfaktor hängt u.a. von der Art der Kontamination, der Beschaffenheit des kontaminierten Gegenstandes oder Stoffes und dem Dekontaminationsverfahren ab. Um einen hohen Dekontaminationsfaktor zu erreichen, werden in kontaminationsgefährdeten Bereichen besondere Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit von Gegenständen, d.h. an deren →[Dekontaminierbarkeit](#), gestellt.

## Dekontaminationsverfahren

Zur Beseitigung einer Kontamination werden in Abhängigkeit vom zu dekontaminierenden Gegenstand und der Art der Kontamination unterschiedliche Verfahren angewandt. Bei lose haftender Kontamination reichen häufig mechanische Verfahren wie Abwischen, Abbürsten oder Abwaschen aus. Bei fest haftenden Kontaminationen kann der Einsatz von Chemikalien wie Säuren (z.B. Oxalsäure, Permangansäure)

oder Komplexbildner (z.B. →EDTA, →NTA) zum Erfolg führen. Bei tief ins Material eingedrungener Kontamination müssen häufig die oberen Materialschichten abgetragen werden. Dies kann mechanisch (Schleifen, Fräsen etc.) oder chemisch, z.B. durch Beizen, erfolgen.

Bei der Dekontamination der menschlichen Haut sind besonders schonende Verfahren anzuwenden. →Dekontamination von Personen  
Hinweise zu geeigneten Dekontaminationsverfahren sind der Fachliteratur vielfältig enthalten (z.B. FS99a, IAEAS48, SSK11)

## Dekontaminierbarkeit

Die Dekontaminierbarkeit bewertet eine Oberfläche im Hinblick auf die Möglichkeit, diese von vorhandener Kontamination zu reinigen. Es gibt quantitative und qualitative Bezeichnungen.

Die quantitative Angabe (sehr gut, gut etc.) bezieht sich auf ein Prüfverfahren, in dem ein Probekörper mit den zu untersuchenden Oberflächeneigenschaften nach einem fest vorgegebenen Verfahren kontaminiert und anschließend dekontaminiert wird. Das Verhältnis der Oberflächenkontaminationen vor und nach der Dekontamination ist ein Maß für die Einstufung der Dekontaminierbarkeit. Das Prüfverfahren ist in der DIN 25415 (→DIN-Normen zum Strahlenschutz) festgelegt.

Die qualitative Angabe (z.B. leicht) wird häufig in Regelwerken als Anforderung an die Auslegung von Komponenten verwendet. Damit wird lediglich verlangt, dass die Oberfläche unter den vorgegebenen Randbedingungen möglichst günstig im Hinblick auf ihre Dekontaminierbarkeit gestaltet werden soll.

## Dekontbeschichtung

→Beschichtung, dekontaminierbare

## Dekorporation

Entfernen inkorporierter, offener radioaktiver Stoffe durch therapeutische Maßnahmen, z.B. eine Intensivierung der Ausscheidung mit Hilfe von Komplexbildnern  
→Chelatbildner (DIN 6814-5, →DIN-Normen zum Strahlenschutz).

## Delta-Strahlen

Delta-Strahlen sind Elektronen, die durch direkt ionisierende Korpuskularstrahlen aus Atomen heraus gestoßen werden und weitere Ionisationen hervorrufen können (Def. DIN 6814-2, →DIN-Normen zum Strahlenschutz). Im Gegensatz dazu werden ionisierungsfähige Elektronen, die durch Photonenstrahlung erzeugt wurden, →Sekundärelektronen genannt.

Die Obergrenze des Deltastrahlenspektrums  $E_{\max}$  wird durch die Kinematik des Stoßprozesses bestimmt. Ist das Primärteilchen ein Elektron mit der Energie  $E$ , so ist  $E_{\max} \leq E/2$ .

## De-minimis-Konzept

Der Begriff entspringt dem Rechtsgrundsatz: Um Kleinigkeiten kümmert sich das Gesetz nicht (lat.: de minimis non curat lex). Im Strahlenschutz werden unter das de-mi-

nimis-Prinzip Dosiswerte gefasst, die so gering sind, dass sie nicht weiter beachtet werden müssen. Insbesondere ist im Bereich so geringer Dosen keine Optimierung der Strahlenschutzmaßnahmen mehr erforderlich.

International besteht weitgehend Konsens darüber, dass Strahlenexpositionen von einigen 10  $\mu\text{Sv}$  im Jahr in diesem Sinne außer Acht gelassen werden dürfen. Insbesondere im Hinblick auf die Freigabe geringfügig kontaminierter oder aktivierter Stoffe wird eine Dosis in diesem Bereich als Grundlage für die Ermittlung der zulässigen Restaktivitäten im freizugebenden Stoff herangezogen. Da in der Regel mehrere Freigabepfade vorkommen und die zu vernachlässigende Dosis für die Gesamtheit der Freigaben gelten soll, wird häufig für jeden einzelnen Freigabepfad verlangt, dass er bei keiner Person der Bevölkerung zu einer höheren Strahlenexposition als 10  $\mu\text{Sv}$  im Jahr führen darf. In der deutschen Strahlenschutzverordnung wird dies im § 29 umgesetzt, der die Strahlenexposition Einzelner auf Werte im Bereich von 10  $\mu\text{Sv}$  im Jahr beschränkt. (SSV01, )

## **Depositionsgeschwindigkeit**

→[Ablagerungsgeschwindigkeit](#)

## **Desoxyribonukleinsäure**

→[DNS](#)

## **DESY**

Abk. für →[Deutsches Elektronen-Synchrotron](#), Hamburg

## **Deterministische Strahlenwirkung**

Wirkung ionisierender Strahlung, die zu einem Funktionsverlust oder einer Funktionsbeeinträchtigung des bestrahlten Organs oder Gewebes führt, wenn durch die Strahlung genügend Zellen getötet oder an der Vermehrung und der normalen Zellfunktion gehindert werden. Die Funktionsbeeinträchtigung wird um so schwerwiegender, je größer die Anzahl der betroffenen Zellen ist. Da viele Organe und Gewebe bei einer geringen Verminderung der Zahl der funktionsfähigen Zellen in ihrer Funktion nicht beeinträchtigt werden, besteht für deterministische Strahlenwirkungen eine Schwellendosis, die überschritten sein muss, damit eine Wirkung eintritt. Bei Strahlendosen oberhalb dieser Schwelle steigt der Schweregrad der Erkrankung steil an. Zu den deterministischen Wirkungen ionisierender Strahlung gehören z. B. Hautrötung (Dosischwelle 3 bis 5 Gray), Trübungen der Augenlinse (Dosischwelle 2 bis 10 Gray), bleibende Sterilität (Dosischwelle 2,5 bis 6 Gray).

## **Detriment**

Das Detriment wird bei stochastischen Strahlenwirkungen als Maß für den durch die Strahlung verursachten Gesamtschaden verwendet. Es bezieht sich in der Regel auf eine Einzelperson, kann aber als kollektives Detriment auch auf eine Personengruppe angewandt werden. Mit Hilfe des Detriments können die Folgen unterschiedlicher Strahlenexpositionen zu unterschiedlichen Zeiten miteinander verglichen werden. Solange die Strahlenexpositionen weit unter dem Schwellenwert für deterministische Wirkungen bleiben, werden die Beiträge zum Detriment aufgrund der Strahlenexposi-

tion einzelner Organe als additiv angesehen (s. auch DIN 6814-5, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

Das Detriment setzt sich aus unterschiedlichen Komponenten zusammen:

- Sterbewahrscheinlichkeit aufgrund von strahleninduziertem Krebs
- Gewichtete Wahrscheinlichkeit für Krebs ohne Todesfolge (Berücksichtigung der Lebensbeeinträchtigung)
- Gewichtete Vererbungswahrscheinlichkeit für schwere Krankheiten
- Relative Lebenszeitverkürzung

## Deuterium

Wasserstoffisotop, dessen Kern ein Neutron und ein Proton enthält und deshalb etwa doppelt so schwer ist wie der Kern des normalen Wasserstoffes, der nur ein Proton enthält. Man bezeichnet es daher auch als 'schweren' Wasserstoff. Deuterium kommt in der Natur zu 0,015 % im normalen Wasserstoffgemisch vor, d.h. auf ca. 6 500 'normale' Wasserstoffatome entfällt ein Deuteriumatom. →[Schweres Wasser](#)

## Deuteron

Kern des →[Deuteriums](#); er besteht aus einem Proton und einem Neutron.

## Deuteronenbeschleuniger

Beschleunigungseinrichtung für Deuteronen; für den Strahlenschutz an diesem Beschleuniger ist insbesondere die Erzeugung von Neutronen von Bedeutung. Diese ist bei der Auslegung der Abschirmung und im Hinblick auf die Aktivierung der Strukturmaterialien zu berücksichtigen. (→[Beschleuniger](#), →[Aktivierung](#))

Typische Aktivierungsnuklide sind z.B. Zn-65, Cu-64, Cu-66, Mn-52, Mn-56.

## Deutsches Atomforum

Das Deutsche Atomforum e. V. ist eine private, gemeinnützige Vereinigung, in der Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Wissenschaft vertreten sind. Das Deutsche Atomforum e. V. fördert in Deutschland auf der Basis freiwilliger Zusammenarbeit die Entwicklung und friedliche Nutzung der Kernenergie. Einer der Schwerpunkte der Tätigkeit des Deutschen Atomforums ist die Unterrichtung der Öffentlichkeit über die friedliche Nutzung der Kernenergie. Die Geschäftsstelle des Deutschen Atomforums e. V., Robert-Koch-Platz 4, 10115 Berlin, beantwortet Fragen und steht für Auskünfte über die friedliche Nutzung der Kernenergie zur Verfügung.

## Deutsches Elektronen-Synchrotron

Das Deutsche Elektronen-Synchrotron (DESY) in Hamburg ist ein Zentrum zur Erforschung der Struktur der Materie. Für die Elementarteilchenforschung bietet DESY einen leistungsfähigen Hochenergie-Beschleuniger, die Hadron-Elektron-Ring-Anlage HERA. Der unterirdische HERA-Tunnel mißt 6.336 Meter im Umfang und beherbergt zwei übereinander liegende Speicherringe, in denen Elektronen und Protonen gegensinnig kreisen. An zwei Stellen werden die auf hohe Energien beschleunigten Teilchen aufeinandergelenkt. Bei diesen Kollisionen entstehen neue Teilchen, die es

erlauben, Aussagen über den Aufbau der Materie zu treffen. Den Speicherring DO-RIS (Doppel-Ring-Speicher) und den Beschleuniger PETRA (Positron-Elektron-Tandem-Ring-Anlage) betreibt DESY als intensive Synchrotronstrahlungsquellen (→[Synchrotronstrahlung](#)) für ein breites Spektrum an Untersuchungen mit elektromagnetischer Strahlung. Die Experimente werden vom Hamburger Synchrotronstrahlungslabor HASYLAB koordiniert, vorbereitet und durchgeführt. In internationaler Zusammenarbeit plant DESY das Zukunftsprojekt TESLA, einen 33 Kilometer langen supraleitenden Elektron-Positron-Linearcollider. An den DESY-Experimenten sind 3.400 Wissenschaftler aus 35 Nationen beteiligt.

## **Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)**

Das Institut erarbeitet in seinen Normenausschüssen DIN-Normen, die Regelungen für die verschiedensten technischen Bereiche enthalten. Mit Strahlenschutzfragen befasst sich der Normenausschuss für Radiologie. Die einschlägigen DIN-Normen erfassen weite Bereiche des Strahlenschutzes. Es gibt z.B. Normen zu Begriffsdefinitionen, zur Messtechnik und zur Klassifizierung von Räumen des Kontrollbereichs. (→[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

Der DIN vertritt Deutschland in der internationalen Normenorganisation ISO.

## **Deutsches Krebsforschungszentrum**

Das Deutsche Krebsforschungszentrum (DKFZ) wurde 1964 mit Sitz in Heidelberg gegründet. Die wissenschaftlichen Arbeiten des Deutschen Krebsforschungszentrums haben zum Ziel, die Ursachen und den Entwicklungsprozess von Krebserkrankungen aufzuklären.

## **Dewar**

Kurzbezeichnung für ein isolierendes Aufbewahrungsgefäß für Medien mit tiefen Temperaturen (z.B. flüssigen Stickstoff für Kühlzwecke in der Spektrometrie). Die Bezeichnung leitet sich von dem britischen Physiker und Chemiker James Dewar ab, der das bis dahin gebräuchliche Vakuummantelgefäß durch Verspiegelung der Wände optimierte.

## **Diagnostischer Referenzwert**

→[Referenzwert, diagnostischer](#)

## **Dicht ionisierende Strahlung**

Strahlung mit einem hohen, mittleren Energieverlust pro Weglänge (→[lineares Energieübertragungsvermögen](#), LET); zu dicht ionisierender Strahlung gehört Teilchenstrahlung mit Teilchenmassen, die viel größer sind als die Elektronenmasse, z.B. Protonen (LET in Gewebe bis max. 100 keV/μm) oder Alphateilchen (LET in Gewebe > 200 keV/μm). Im Gegensatz dazu haben Elektronen mit Energien > 10 keV ein LET von < 3 keV/μm.

## Dichtemessung, radiometrisch

Die radiometrische Dichtemessung basiert auf der dichteabhängigen Schwächung von Strahlung beim Durchgang durch Materie. Der Gegenstand, dessen Dichte gemessen werden soll, wird zwischen einer radioaktiven Quelle und dem Detektor platziert. Das Detektorsignal ist dann, bei gleich bleibender Geometrie, abhängig von der Dichte des Gegenstandes. Dieses sehr schnelle Messverfahren ist besonders dann von Vorteil, wenn das zu messende Material durch die Detektor-Quellen-Kombination hindurchbewegt wird. Es wird deshalb häufig in Produktionsstraßen zur Qualitätskontrolle eingesetzt. Beispiel: Füllgradkontrolle bei der Zigarettenherstellung.

Als Quellen werden häufig Beta-Strahler eingesetzt (z.B. Sr-90), die so abgeschirmt angeordnet sind, dass im Normalbetrieb in der Umgebung des Strahlers kein Strahlenschutzbereich eingerichtet werden muss.

## DIDO

Schwerwassermoderierter und -gekühlter Forschungsreaktor. Der Name DIDO ist von  $D_2O$ , der chemischen Formel für schweres Wasser, abgeleitet. Ein Reaktor vom Typ DIDO ist unter der Bezeichnung FRJ-2 im Forschungszentrum Jülich in Betrieb.

## Differentieller Wirkungsquerschnitt

Auf einen Raumwinkel bezogener →[Wirkungsquerschnitt](#); der differentielle Wirkungsquerschnitt ist i.a. winkelabhängig.

## Diffusionskategorie der Atmosphäre

Kenngröße für die Turbulenz; →[Stabilitätsklasse der Atmosphäre](#)

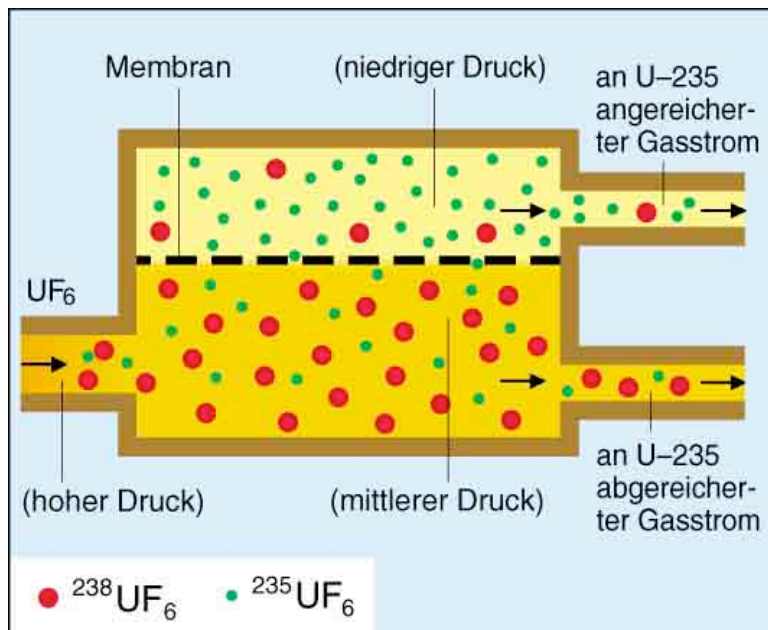
## Diffusionsmembrane

Eine Diffusionsmembrane ist ein poröses Gefüge, das infolge seiner kleinen Poren kein normales Strömen eines Gases, wohl aber eine Diffusion zulässt. Die unterschiedliche Diffusionsgeschwindigkeit von Teilchen unterschiedlicher Masse kann zur Isotopentrennung ausgenutzt werden, z.B. bei der Urananreicherung . →[Diffusionstrennverfahren](#)

## Diffusionstrennverfahren

Isotopentrennverfahren, das die unterschiedliche Diffusionsgeschwindigkeit verschieden schwerer Atome bzw. Moleküle durch eine poröse Wand zur Trennung nutzt. Der →[Anreicherungsgrad](#) der leichteren Komponente nach Durchströmen der Trennwand wird bestimmt durch die Wurzel aus dem Massenverhältnis der Teilchen. Das Diffusionstrennverfahren wird großtechnisch zur Uranisotopentrennung genutzt. Als Prozessmedium wird  $UF_6$  benutzt. Der →[Trennfaktor](#) pro Stufe beträgt nur etwa 1,002. Durch Hintereinanderschalten in Form einer Kaskade lässt sich der Trenneffekt vervielfachen. Eine Anlage zur Uranisotopentrennung nach diesem Verfahren wird in Pierrelatte, nördlich von Avignon, betrieben.





Prinzip des Diffusionstrennverfahrens

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie

[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## DIN

Abk. für →[Deutsches Institut für Normung e.V.](#)

### DIN-Normen zum Strahlenschutz

Zum Strahlenschutz sind eine Reihe von DIN-Normen veröffentlicht worden, die den medizinischen Bereich, den „konventionellen“ industriellen Bereich, die Forschung und Lehre sowie die Kerntechnik abdecken. Das vollständige Angebot ist im Internet unter [www.din.de](http://www.din.de) einsehbar. Einige Normen wurden von der internationalen Organisation für Normung →[ISO](#), vom →[Europäischen Komitee für Normung](#) und von der →[Internationalen elektrotechnischen Kommission](#) übernommen und als DIN ISO-Norm, DIN EN-Norm bzw. DIN ICE-Norm herausgegeben. Im Folgenden ist ein Überblick über die DIN-Normen zum Strahlenschutz gegeben:

#### Allgemeines, Übergeordnetes

DIN 6814	Begriffe der radiologischen Technik
DIN 25400	Zeichen für ionisierende Strahlung
DIN 25401-8	Begriffe der Kerntechnik - Strahlenschutz
DIN 25430	Sicherheitskennzeichnung im Strahlenschutz

#### Normen zur Strahlungsmessung

DIN 6800	Dosismessverfahren in der radiologischen Technik
DIN 6802	Neutronendosimetrie
DIN 6816	Filmdosimetrie nach dem filteranalytischen Verfahren



DIN 6818	Strahlenschutzdosimeter
DIN 25423	Probenahme bei der Radioaktivitätsüberwachung der Luft
DIN 25456	Neutronenflussmessung
DIN 25457	Aktivitätsmessverfahren für die Freigabe
DIN 25462	In-situ-Gammaspektrometrie zur nuklidspezifischen Umweltkontaminationsmessung
DIN 25465	Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser
DIN 25482	Nachweisgrenze und Erkennungsgrenzen bei Kernstrahlungsmessungen
DIN 25483	Verfahren zur Umgebungsüberwachung mit integrierenden Festkörperdosimetern
DIN 25700	Oberflächenkontaminationsmessungen an Fahrzeugen und deren Ladungen in strahlenschutzrelevanten Ausnahmesituationen
DIN 25706	Passive Radonmessungen
DIN 38404	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Physikalische und physikalisch-chemische Kenngrößen (Gruppe C)
DIN 38414	Bestimmung der spezifischen Rest-Beta-Aktivität in Schlamm, Sediment und Schwebstoffen
DIN 44801	Oberflächenkontaminationsmessgeräte und -monitoren
DIN 44806	Flaschenabmessungen für Flüssigszintillationszählung
DIN 44807	Abmessungen von Prüfröhrchen aus Glas und Plastik für Radioaktivitätsmessungen
DIN 44809	Strahlenschutzeinrichtungen zur Messung und Überwachung von Tritium in Luft
DIN 13005 V	Leitfaden zur Angabe der Messunsicherheit beim Messen (Vornorm)
DIN ISO 7503	Bestimmung der Oberflächenkontamination
DIN EN ISO/IEC 17125	Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien

### **Strahlenschutz in der Medizin**

DIN 6809	Klinische Dosimetrie
DIN 6812	Medizinische Röntgenanlagen bis 300 kV, baulicher Strahlenschutz
DIN 6815	Medizinische Röntgenanlagen bis 300 kV, Prüfung des Strahlenschutzes
DIN 6826	Röntgen-Streustrahlenraster
DIN 6827	Protokollierung bei der medizinischen Anwendung ionisierender Strahlung
DIN 6831	Filme und Verstärkungsfolien für medizinische Röntgenaufnahmen
DIN 6832	Kassetten für medizinische Röntgenaufnahmen
DIN 6843	Strahlenschutzregeln für den Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen in der Medizin
DIN 6844	Nuklearmedizinische Betriebe
DIN 6846	Medizinische Gammabestrahlungsanlagen
DIN 6847	Medizinische Elektronenbeschleunigeranlagen

DIN 6848	Kennzeichnung von Untersuchungsergebnissen in der Radiologie
DIN 6850	Strahlenschutzbehälter, Strahlenschutztische und Strahlenschutztresore zur Verwendung in nuklearmedizinischen Betrieben
DIN 6853	Medizinische ferngesteuerte, automatisch betriebene Afterloading-Anlagen
DIN 6854	Technetium-Generatoren
DIN 6855	Qualitätsprüfung nuklearmedizinischer Messsysteme
DIN 6856	Radiologische Betrachtungsgeräte und –bedingungen
DIN 6857E	Strahlenschutzzubehör bei medizinischer Anwendung von Röntgenstrahlen (Entwurf)
DIN 6860	Filmverarbeitung in der Radiologie
DIN 6862	Identifizierung und Kennzeichnung von Bildaufzeichnungen in der medizinischen Diagnostik
DIN 6867	Sensitometrie an Film-Folien-Systemen für die medizinische Radiographie
DIN 6868	Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben
DIN 6870E	Qualitätsmanagement in der medizinischen Radiologie (Entwurf)
DIN 6871	Zyklotron-Anlagen für die Positron-Emissions-Tomographie
DIN 6873	Bestrahlungsplanungssysteme
DIN 6874	Therapiesimulatoren
DIN 6875	Spezielle Bestrahlungseinrichtungen
DIN 6878	Digitale Archivierung von Bildern in der medizinischen Radiologie
DIN 13273-7	Bestimmung der Röntgenstrahlenschwächung von Kathetern
DIN EN 60336	Kennwerte von Brennflecken von Röntgenstrahlern für medizinische Diagnostik
DIN EN 60580	Medizinische elektrische Geräte – Dosisflächenprodukt-Messgeräte
DIN EN 60627	Bildgebende Geräte für die Röntgendiagnostik
DIN EN 60731	Medizinische elektrische Geräte – Dosimeter mit Ionisationskammern zur Anwendung in der Strahlentherapie
DIN EN 60789	Medizinische elektrische Geräte; Merkmale und Prüfbedingungen für bildgebende Systeme in der Nuklearmedizin
DIN EN 60806	Bestimmung des maximalen symmetrischen Strahlungsfeldes von einer Drehanoden-Röntgenröhre für medizinische Diagnostik
DIN EN 60976	Medizinische elektrische Geräte; medizinische Elektronenbeschleuniger-Anlagen
DIN EN 61118	Strahlentherapie-Simulatoren
DIN EN 61217	Strahlentherapie-Einrichtungen
DIN EN 61223	Bewertung und routinemäßige Prüfung in Abteilungen für medizinische Bildgebung
DIN EN 61262	Medizinische elektrische Geräte; Merkmale von elektronenoptischen Röntgenbildverstärkern
DIN EN 61267	Medizinische diagnostische Röntgeneinrichtungen; Bestrahlungsbedingungen zur Bestimmung von Kennmerkmalen
DIN EN 61303E	Medizinische elektrische Geräte; Aktivimeter; spezielle Verfahren zur Bestimmung der Leistungsparameter
DIN EN 61331	Strahlenschutz in der medizinischen Röntgendiagnostik

DIN EN 61674	Medizinische elektrische Geräte; Dosimeter mit Ionisationskammern und/oder Halbleiterdetektoren für den Einsatz an diagnostischen Röntgeneinrichtungen
DIN EN 61675	Bildgebende Systeme in der Nuklearmedizin; Merkmale und Prüfbedingungen
DIN EN 61676	Medizinische elektrische Geräte – Geräte für die nicht invasive Messung der Röntgenröhrenspannung in der diagnostischen Radiologie
DIN EN 62220	Medizinische elektrische Geräte; Merkmale digitaler Röntgenbildgeräte
DIN EN 62274	Medizinische elektrische Geräte; Sicherheit von Aufzeichnungs- und Verifikationssystemen für die Strahlentherapie
DIN EN ISO 4090	Fotografie; System von Kassetten/Verstärkungsfolien/Filmen und Aufzeichnungsfilmen für die medizinische Radiologie
DIN EN ISO 9236	Fotografie – Sensitometrie an Film-Folien-Systemen für die medizinische Radiographie

### **Baulicher Strahlenschutz**

DIN 6834	Strahlenschutztüren für medizinisch genutzte Räume
DIN 25407	Abschirmwände gegen ionisierende Strahlung
DIN 25413	Klassifizierung von Abschirmbetonen nach Elementanteilen
DIN 25415-1	Dekontamination von radioaktiv kontaminierten Oberflächen; Verfahren zur Prüfung und Bewertung der Dekontaminierbarkeit
DIN 25420	Errichtung von heißen Zellen aus Beton
DIN 25422	Aufbewahrung radioaktiver Stoffe – Anforderungen an die Aufbewahrungseinrichtungen und deren Aufstellungsräume
DIN 25425	Radionuklidlaboratorien
DIN 25427-1	Auslegung von zweifach geknickten gasgefüllten Kanälen in Abschirmwänden aus Beton gegen Gammastrahlung; Begriffe und Voraussetzungen
DIN 25429	Prüfprogramm für Abschirmungen von Heißen Zellen
DIN 53233	Prüfung von Beschichtungsstoffen; Bestimmung des Abriebverhaltens von dekontaminierbaren Beschichtungen
DIN 53781	Prüfung von Beschichtungsstoffen; Verfahren zur Prüfung der Beständigkeit gegen ionisierende Strahlung

### **Spezielle Normen zum Strahlenschutz in Kernkraftwerken**

DIN 25416	Anlagen zur Behandlung von radioaktiv kontaminiertem Wasser in Kernkraftwerken
DIN 25440	Klassifikation der Räume des Kontrollbereichs von Kernkraftwerken nach Ortsdosisleistungen
DIN 25441-1	Überwachung der Radioaktivität in der Raumluft von Kernkraftwerken; Kernkraftwerke mit Leichtwasserreaktoren; identisch mit KTA 1502.1 (6/86)
DIN 25453	Prüfprogramm für Abschirmungen in Kernkraftwerken
DIN 25455	Behandlung radioaktiv kontaminierter Gase in Kernkraftwerken
DIN 25458	Ortsfestes System zur Überwachung der Ortsdosisleistungen innerhalb von Kernkraftwerken
DIN 25473	Anlagenentwässerungssysteme in Kernkraftwerken mit

DIN 25476 Leichtwasserreaktoren  
Primärkühlmittel-Reinigungsanlagen in Kernkraftwerken mit  
Leichtwasserreaktoren

### **Sonstige Normen zum Strahlenschutz**

DIN 5043-2 Radioaktive Leuchtpigmente und Leuchtfarben;  
Messbedingungen für die Leuchtdichte und Bezeichnungen der  
Leuchtfarben

DIN 14800 Feuerwehrtechnische Ausrüstung für Feuerwehrfahrzeuge

DIN 25409 Fernbedienungsgeräte zum Arbeiten hinter Schutzwänden

DIN 25412 Laboreinrichtungen, Handschuhkästen

DIN 25422 Aufbewahrung radioaktiver Stoffe

DIN 25426 Umschlossene radioaktive Stoffe

DIN 25454 Fernbediente Beseitigung radioaktiver Komponenten bei der  
Stilllegung von kerntechnischen Anlagen und  
Teilchenbeschleunigern

DIN 25466 Radionuklidabzüge

DIN 25480 Bauelemente für Kontaminations-Schutzkästen, Stutzen, Ringe  
für Ferngreifer, Fenster und Schleusen

DIN 25488 Komponenten für Heiße Zellen

DIN 25702 Abschirmung von Detektoren für nuklidspezifische  
Aktivitätsmessungen

DIN 44427 Prüfstrahler mit Aufbewahrungsbehälter

DIN 51003 Totalreflexions-Röntgenfluoreszenz-Analyse (TXRF)

DIN 51418 Röntgenspektralanalyse: Röntgenemissions- und  
Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA)

DIN 54113 Zerstörungsfreie Prüfung: Strahlenschutzregeln für die  
technische Anwendung von Röntgeneinrichtungen bis 500 kV

DIN 54115 Zerstörungsfreie Prüfung: Strahlenschutzregeln für die  
technische Anwendung umschlossener radioaktiver Stoffe

DIN 58955 Dekontaminationsanlagen im Bereich der Medizin

DIN EN 421 Schutzhandschuhe gegen ionisierende Strahlen und radioaktive  
Kontamination

DIN EN 1073 Schutzkleidung gegen radioaktive Kontamination

DIN EN 12544 Zerstörungsfreie Prüfung – Messung und Auswertung der  
Röntgenröhrenspannung

DIN EN 12679 Zerstörungsfreie Prüfung – Bestimmung der Strahlergrößen von  
industriell genutzten Radio-Nukliden – Durchstrahlungsverfahren

DIN EN 13068 Zerstörungsfreie Prüfung – Radioskopische Prüfung

DIN EN 14096 Zerstörungsfreie Prüfung – Qualifizierung von Röntgenfilm-  
Digitalisierungssystemen

DIN EN 14784 Zerstörungsfreie Prüfung - Industrielle Computer-Radiographie  
mit Speicherfolien

DIN EN 18589 Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt

DIN EN 25580 Zerstörungsfreie Prüfung – Betrachtungsgeräte für die  
industrielle Radiographie

DIN EN 60522 Ermittlung der Eigenfilterung von Röntgenstrahlern

DIN EN 60544 Elektroisierstoffe - Bestimmung der Wirkung ionisierender  
Strahlung

DIN ISO 9271 Dekontamination von radioaktiv kontaminierten Oberflächen -

DIN ISO 22188	Prüfung von Dekontaminationswaschmitteln für Textilien Überwachung des unbeabsichtigten Umgangs un unerlaubten Handels mit radioaktiven Stoffen
DIN EN ISO 11137	Sterilisation von Produkten für die Gesundheitsfürsorge

### Vom →IEC übernommene Normen

DIN IEC 60248	Maße für Probenschälchen für Kernstrahlungsmeßgeräte;
DIN IEC 60325	Strahlenschutz - Tragbare und transportable Oberflächen- Kontaminationsmeßgeräte und -monitoren für Alpha- und/oder Betastrahlung Achtung: Vorgesehen als Ersatz für DIN 44801-1 (1984-10), DIN 44801-3 (1987-10).
DIN IEC 60333	Nukleare Meßgeräte - Halbleiterdetektoren für geladene Teilchen Prüfverfahren
DIN IEC 60405 E	Nukleare Messgeräte - Messgeräte und -systeme, die mit ionisierender Strahlung arbeiten - Konstruktionsanforderungen und Kennzeichnungssystem zum Schutz vor ionisierender Strahlung Achtung: Vorgesehen als Ersatz für DIN VDE 0412-1 (1998-09).
DIN IEC 60412 E	Nukleare Instrumentierung - Szintillationsdetektoren
DIN IEC 60476	Nukleare Meßgeräte - Elektrische Meßsysteme und -geräte, die mit ionisierender Strahlung arbeiten - Allgemeine Gesichtspunkte
DIN IEC 60562	Messung der Röntgenstörstrahlung von Elektronenröhren
DIN IEC 60692	Nukleare Messgeräte - Mit ionisierender Strahlung arbeitende Dichtemesseinrichtungen - Begriffe und Prüfverfahren
DIN IEC 60761	Umwelt- und Strahlenschutz-Messgeräte
DIN IEC 60846	Strahlenschutz - Umgebungs-Äquivalentdosis(leistungs)- Messgeräte und/oder Monitore für Beta-, Röntgen- und Gammastrahlung
DIN IEC 60861	Einrichtung zur Überwachung von Alpha-, Beta- oder Gammastrahlung emittierenden Radionukliden in flüssigen Ableitungen und Oberflächengewässern
DIN IEC 60973	Prüfverfahren für Germanium-Gammastrahlungsdetektoren;
DIN IEC 61005	Strahlenschutz - Umgebungs-Äquivalentdosis(leistungs)- Messgeräte für Neutronenstrahlung
DIN IEC 61066	Strahlenschutzdosimeter - Thermolumineszenz- Dosimetriesysteme zur Personen- und Umweltüberwachung Achtung: Vorgesehen als Ersatz für DIN 6818-6 (1988-12).
DIN IEC 61098	Strahlenschutz - Fest eingebaute Personenkontaminationsmonitoren (IEC 45B/281/CD:2000) Achtung: Vorgesehen als Ersatz für DIN V 44801-10 (1998-02).
DIN IEC 61304	Nukleare Meßgeräte - Flüssigszintillations-Meßsysteme - Prüfverfahren
DIN IEC 61336	Nukleare Meßgeräte - Mit ionisierender Strahlung arbeitende Systeme zur Dickenmessung - Begriffe und Prüfverfahren
DIN IEC 61342	Nukleare Meßgeräte - Vielkanal-Impulsamplitudenanalysatoren -

DIN IEC 61453	Kennwerte, technische Anforderungen und Prüfverfahren Nukleare Instrumentierung - Systeme mit thalliumaktivierten Natriumiodid-Detektoren zur Messung von Radionukliden - Kalibrierung und Anwendung
DIN IEC 61526	Strahlenschutzdosimeter - Messung der Tiefen- und Oberflächen-Personendosis Hp(10) und Hp(0, 07) für Röntgen-, Gamma-, Neutronen- und Betastrahlung - Direkt ablesbare Personendosimeter und -monitore
DIN IEC 61577	Umwelt- und Strahlenschutz-Messgeräte - Messgeräte für Radon und Radon-Folgeprodukte
DIN IEC 61582	Strahlenschutz - Einrichtungen für die in-vivo-Überwachung (Ganz- und Teilkörperzähler)
DIN IEC 61676	Medizinische Geräte für die nicht-invasive Messung der Rönt- genröhrenspannung in der diagnostischen Radiologie
DIN IEC 61976	Kernstrahlungsmessgeräte - Spektrometrie - Charakterisierung des Untergrunds in Spektren von hochreinen Germaniumdetektoren
DIN IEC 62022	Strahlenschutz - Fest installierte Monitore für die Überwachung und den Nachweis der Radioaktivität von Gammastrahlen- Emittlern in wiederverwertbaren oder nicht wiederverwertbaren Materialien
DIN IEC 62088	Strahlungsmessgeräte - Photodioden für Szintillationsdetektoren -Prüfverfahren
DIN IEC 62089	Nukleare Instrumentierung - Kalibrierung und Verwendung von gasgefüllten Alpha/Beta-Proportionalzählern
DIN IEC 62244	Umwelt- und Strahlenschutz-Messgeräte - Fest installierte Strahlungsmonitore für den Nachweis von radioaktiven Stoffen und Kernmaterial an Staatsgrenzen
DIN IEC 62302	Umwelt- und Strahlenschutz-Messgeräte - Einrichtungen zur kontinuierlichen Überwachung radioaktiver Edelgase am Arbeitsplatz, in Ableitungen und der Umwelt
DIN IEC 62303 E	Umwelt- und Strahlenschutz-Messgeräte - Einrichtungen zur Probenahme und Überwachung von Tritium in Luft am Arbeitsplatz, in Ableitungen und der Umwelt Achtung: Vorgesehen als Ersatz für DIN 44809 (1985-07).
DIN IEC 62327	Umwelt- und Strahlenschutz-Messgeräte - Handgeräte für den Nachweis und die Identifizierung von Radionukliden und für die Messung der Dosisleistung
DIN IEC 62363	Strahlenschutz-Messgeräte - Tragbare Oberflächen- Kontaminationsmessgeräte und -monitore für Photonenstrahlung
DIN IEC 62387-1	Strahlenschutz-Messgeräte - Passive, integrierende Dosimetrie- systeme zur Umwelt- und Personenüberwachung - Teil 1: Allge- meine Eigenschaften und Leistungsanforderungen

## Direkte Endlagerung

Endlagerung bestrahlter Brennelemente als radioaktiver Abfall nach entsprechender  
Konditionierung ohne vorherige Wiederaufarbeitung.

## Direkt ionisierende Strahlung

Strahlung aus geladenen Teilchen (z.B. Elektronen, Protonen, Alphateilchen...), die ein permanentes Gas unmittelbar durch Wechselwirkung ionisieren können; sie geben ihre Energie im Wesentlichen durch zahlreiche Wechselwirkungsprozesse entlang ihrer Flugbahn ab. Die Ionisierungsdichte nimmt im Laufe der Flugbahn zu, weil die Teilchengeschwindigkeit mit der Flugbahn abnimmt. Kurz vor Ende der Flugbahn wird sie maximal.

Bei gleicher kinetischer Energie ist die Geschwindigkeit schwerer Teilchen (z.B. Alphateilchen) geringer als die leichter Teilchen (z.B. Elektronen). Die Ionisierungsdichte für Alphateilchen ist daher größer.

Im Gegensatz zu direkt ionisierender Strahlung steht die →[indirekt ionisierende Strahlung](#) (z.B. Neutronen), bei der infolge der Primärwechselwirkung geladene Teilchen entstehen, die direkt ionisierend wirken.

## Direktstrahlung

Anteil der aus einer Strahlenquelle emittierten Strahlung, die auf dem kürzesten Wege, u. U. durch vorliegende Abschirmwände geschwächt, zum betrachteten Aufpunkt gelangt. Die Direktstrahlung wird unterschieden von der Streustrahlung, die infolge Streuung an anderen Medien indirekt zum Aufpunkt gelangen kann.

## Dirty Bomb

→[Radiologische Waffe](#)

## DIS-Detektor

Detektor zur Dosismessung (DIS = **D**irect **I**on **S**torage), basierend auf einem speziellen →MOSFET, der in einer Messkammer positioniert wird; die elektrisch isolierte Steuerelektrode (Floating Gate) des MOSFET wird elektrisch aufgeladen und ihre Ladung wird durch die freien Ladungsträger, die durch die ionisierende Strahlung in der Messkammer erzeugt werden, verändert. Diese Ladungsänderung bewirkt eine Änderung der Steuerungseigenschaften des MOSFET und ist ein Maß für die Dosis.

In der Strahlenschutzpraxis sind DIS-Personendosimeter zum Nachweis von Gamma- und Beta-Dosen verfügbar. Es kann mit einem Dosimeter die Oberflächen-Personendosis  $H_p(0,07)$  und die Tiefen-Personendosis  $H_p(10)$  gemessen werden. Es kann für  $H_p(10)$  ein Messbereich von 1  $\mu\text{Sv}$  bis 30 Sv abgedeckt werden.

Lit.: VOG04, FIE01

## Dissolver

Behälter zur Auflösung des Kernbrennstoffes in Säure bei der Wiederaufarbeitung.

## Diversität

Auslegungsprinzip für Sicherheitssysteme z.B. in kerntechnischen Anlagen. Zur Erhöhung der Ausfallsicherheit werden Sicherheitseinrichtungen nicht nur mehrfach - d. h. redundant -, sondern auch nach physikalisch oder technisch verschiedenartigen Prinzipien - diversitär - ausgelegt. →[Redundanz](#)



## DKFZ

Abk. für →[Deutsches Krebsforschungszentrum](#), Heidelberg.

## DNA

Abk. der engl. Bezeichnung für → [DNS](#)

## DNS

Abk. für **D**esoxyribonukleinsäure; die DNS ist ein wesentlicher Datenträger im Zellkern. Die DNS besteht aus zwei spiralförmig aneinander gelagerten langen Molekülfäden, die ihrerseits aus Phosphorsäure, Zucker (Ribose) und organischen Basen zusammengesetzt sind. Die einander gegenüberstehenden Basen bilden ein Basenpaar. Die beiden Einzelstränge der DNS sind bezüglich der einzelnen Basen komplementär aufgebaut, da zur Bildung von Basenpaaren nur bestimmte Basen zusammenpassen. Aus der Basenfolge des einen Stranges ergibt sich somit zwangsläufig die komplementäre Folge des anderen Stranges. Beide bilden zusammen den DNS-Doppelstrang. Ein definierter Abschnitt der DNS, der ein bestimmtes Merkmal, einen Funktionsbaustein (z.B. ein Protein) oder eine Stoffwechsellleistung festlegt, wird als →[Gen](#) bezeichnet. Ionisierende Strahlung kann Veränderungen an der DNS hervorrufen. Dies kann zum Absterben der Zelle oder zu Fehlfunktionen führen. Eine Veränderung an der DNS, die zu einer Veränderung der genetischen Information führt, ist eine →[Mutation](#).

## Doppelsacktechnik

Spezielles Verfahren zum Wechseln kontaminierter Filter, bei dem Kontaminationsverschleppungen vermieden werden.

## Dosimeter

Ein Instrument zur Messung der Personen- oder Ortsdosis. Am gebräuchlichsten im praktischen Strahlenschutz ist die Bezeichnung für Personendosimeter. (→[Ionisationskammer](#), →[Filmdosimeter](#), →[Phosphatglasdosimeter](#), →[Thermolumineszenzdetektor](#)).

## Dosimetrie

Messverfahren zur Bestimmung der durch ionisierende Strahlung in Materie erzeugten Dosis.

## Dosis

Maß für eine näher anzugebende Strahlenwirkung. Die →[Energiedosis](#) gibt die gesamte absorbierte Strahlungsenergie in der bestrahlten Materie an; sie wird in der Einheit Gray (Gy) angegeben. Zentrale Dosisgrößen im Strahlenschutz sind die nicht direkt messbaren Dosen →[Organdosis](#) und die →[effektive Dosis](#). Als Sammelbegriff für Organdosis und effektive Dosis wird der Begriff →[Körperdosis](#) benutzt. Organdosis und effektive Dosis sind Schutzgrößen zur Verwendung im Strahlenschutz, einschließlich der Risikoabschätzung. Sie bilden für Energiedosen weit unterhalb der Schwellen für deterministische Strahlenschäden eine Grundlage zur Abschätzung

der Wahrscheinlichkeit stochastischer Strahlenwirkungen. Die Einheit dieser Dosisgrößen ist das Sievert, Kurzzeichen Sv. Die Strahlenschutzverordnung fordert zur Ermittlung der nicht direkt messbaren Körperdosis die Messung der →**Personendosis**. Die Personendosis ist die Äquivalentdosis, gemessen in den Messgrößen der →**Tiefen-Personendosis** und der →**Oberflächen-Personendosis** an einer für die Strahlenexposition repräsentativen Stelle der Körperoberfläche. Die Tiefen-Personendosis  $H_p(10)$  ist dabei bei einer Ganzkörperexposition mit durchdringender Strahlung ein Schätzwert für die effektive Dosis und die Organdosen tief liegender Organe und die Oberflächen-Personendosis  $H_p(0,07)$  ein Schätzwert für die Hautdosis.

### **Dosis, genetisch signifikante**

Die genetisch signifikante Dosis ist die Summe der Keimdrüsendosen (Gonadendosis) einer Bevölkerungsgruppe geteilt durch die Mitglieder der Gruppe und multipliziert mit einem genetischen Wichtungsfaktor. Im Wichtungsfaktor wird die mittlere Kinderwartung der exponierten Personen in Abhängigkeit von ihrem Alter berücksichtigt.

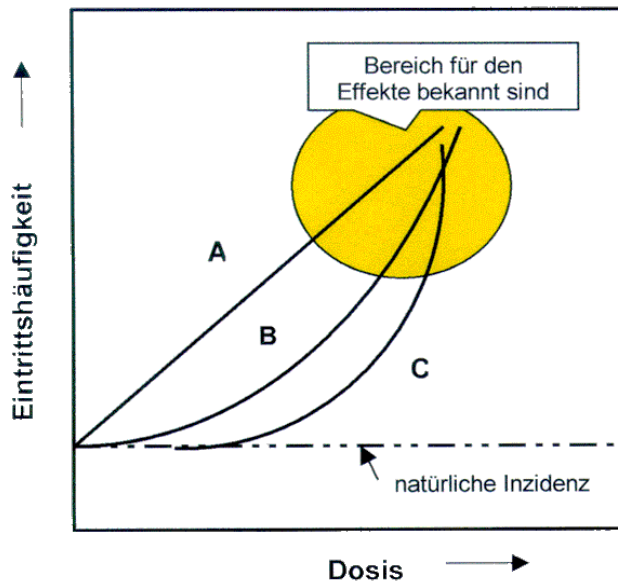
Die genetisch signifikante Dosis ist im Allgemeinen deutlich kleiner als die mittlere Gonadendosis. Ihre Angabe ist nur für hinreichend große Bevölkerungskollektive sinnvoll.

### **Dosis, mittlere**

Die mittlere Dosis einer Personengruppe ist die Summe aller Einzeldosen dieser Gruppe dividiert durch die Anzahl der Personen in der Gruppe.

### **Dosis-Wirkungs-Beziehung**

Beziehung zwischen der Dosis eines Organs, Körperteils oder des Gesamtkörpers und der daraus resultierenden biologischen Strahlenwirkung. Aus dem Bereich gesicherter Kenntnis bei hohen Dosen in den für Strahlenschutz zwecke interessanten Bereich von einigen Millisievert bis einigen 10 mSv sind verschiedene Extrapolationsmöglichkeiten denkbar. Die →**Internationale Strahlenschutzkommission** unterstellt für Zwecke des Strahlenschutzes eine lineare Beziehung zwischen der Höhe der effektiven Dosis und der Häufigkeit von Strahlenspätchäden. Aus den epidemiologischen Daten ist die Tendenz ableitbar, dass sich solide Tumore eher durch eine lineare Extrapolation beschreiben lassen, während für Leukämie ein linear-quadratischer Verlauf vorzuliegen scheint.



Dosis-Wirkungs-Beziehungen:

Verlauf der Extrapolationsmöglichkeiten

- A: linear
- B: linear-quadratisch
- C: quadratisch mit Schwellwert

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Dosis-Risiko-Beziehung

Dosis-Wirkungs-Beziehung für stochastische Strahlenschäden

## Dosisaufbaufaktor

Der Dosisaufbaufaktor berücksichtigt bei Abschirmberechnungen den Einfluss der Streustrahlung auf die Dosis. Der Dosisaufbaufaktor hängt von der Strahlungsenergie und dem Abschirmmaterial ab. Bei Abschirmrechnungen nach der Punkt-Kern-Methode wird der Aufbaufaktor häufig durch eine Funktion angenähert, die materialabhängige Parameter und die Energie als unabhängige Variable enthält.

(→[Schwächungsfaktor](#))

## Dosisbegrenzung

Die Dosisbegrenzung ist eine der drei Grundpflichten im Strahlenschutz – neben dem →[Rechtfertigungsgebot](#) und der Dosisreduzierung (→[Minimierungsgebot](#)) – und ist in § 5 StrlSchV und in § 2b RöV verankert. Mit den Dosisgrenzwerten für die effektive Dosis und die Organdosen sollen deterministische Schäden ausgeschlossen und stochastische Schäden auf ein tolerables Maß begrenzt werden. Dies wird im deutschen Strahlenschutzrecht erreicht, indem z.B. die effektive Dosis für beruflich strahlenexponierte Personen auf 20 Sv im Jahr (gemittelt über 5 a) und für die allgemeine Bevölkerung auf 1 mSv im Jahr begrenzt wird. →[Dosisgrenzwert](#)

## Dosiseffektkurve

Begriff aus der Strahlenbiologie. Bezeichnet den Zusammenhang zwischen dem prozentualen Auftreten einer untersuchten Wirkung in Abhängigkeit von der eingestrahlten Dosis. →[Dosis-Wirkungs-Beziehung](#)

## Dosisfaktor

Andere Bezeichnung für →[Dosiskoeffizient](#)

## Dosisflächenprodukt

Das Dosisflächenprodukt  $P_F$  dient in der Röntgendiagnostik zur Kontrolle der Strahlenexposition des Patienten. Sie ist definiert als das Flächenintegral der Luftkerma  $K_a$  (→[Kerma](#)) über eine Schnittebene E durch das Strahlenfeld (s. DIN 6814-3, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)):

$$P_F = \int_E K_a dA$$

Die Maßeinheit des Dosisflächenproduktes ist  $\text{Gy} \cdot \text{m}^2$ .

## Dosisgrenzwert

Wert der Dosis einer ionisierenden Strahlung, der auf der Basis von Empfehlungen wissenschaftlicher Gremien vom Gesetzgeber als das Maximum festgelegt wurde, dem eine Person ausgesetzt werden darf. Für verschiedene Personengruppen sind in Deutschland unterschiedliche Grenzwerte für die Dosis im Kalenderjahr festgesetzt (s. Tabelle). Für beruflich strahlenexponierte gebärfähige Frauen ist nach § 55 Abs.4 zusätzlich die über einen Monat kumulierte Dosis an der Gebärmutter auf 2 mSv begrenzt. Für berufstätige Schwangere gilt ab Mitteilung der Schwangerschaft ein Grenzwert von 1 mSv für die Zeit bis zum Ende der Schwangerschaft. Außerdem ist nach § 56 StrlSchV die im gesamten Berufsleben erhaltene effektive Dosis auf 400 mSv begrenzt (Berufslebensdosis).

Schutzziel der Grenzwertsetzung ist es, deterministische Schäden auszuschließen und stochastische Strahlenschäden auf ein tolerables Maß zu begrenzen.

Körperdosis	Dosis im Kalenderjahr / mSv							
	Beruflich strahlenexponierte Personen							Personen der Bevölkerung
	Tätigkeiten			Arbeiten				
	Kat. A	Kat. B	Ausb. 16-18 Jahre	Terrestrische Strahlung Erwachsene	Terrestrische Strahlung < 18a	Fliegendes Personal	Beseitigung und Verwertung von Rückständen	
Effektive Dosis	20	6	6	20	6	20	1	1
Augenlinse	150	45	45	150	50			15
Haut, Hände, Unterarme, Füße, Knöchel	500	150	150	500	150			50
Keimdrüsen, Gebärmutter, rotes Knochenmark	50							
Schilddrüse, Knochenoberfläche	300							
Dickdarm, Lunge, Magen, Blase, Brust, Leber,...	150							

Dosisgrenzwerte nach StrlSchV und RöV; die angegebenen Grenzwerte für Jugendliche zwischen 16 und 18 Jahren bedürfen der Festlegung durch die zuständige Behörde. Ohne diese Festlegung gelten die Grenzwerte für Personen der Bevölkerung

Bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abluft oder Abwasser sind die technische Auslegung und der Betrieb der Anlagen so zu planen, dass folgende Grenzwerte durch diese Ableitungen jeweils nicht überschritten werden (§47 StrlSchV):

- effektive Dosis sowie Dosis für Keimdrüsen, Gebärmutter, rotes Knochenmark: 0,3 mSv/Jahr
- Bauchspeicheldrüse, Blase, Brust, Dickdarm, Dünndarm, Gehirn, Leber, Lunge, Magen, Milz, Muskel, Niere, Nebennieren, Schilddrüse, Speiseröhre, Thymusdrüse: 0,9 mSv/Jahr
- Knochenoberfläche, Haut: 1,8 mSv/Jahr

Die Grenzwerte müssen an der ungünstigsten Einwirkungsstelle unter Berücksichtigung sämtlicher relevanter Belastungspfade, der Ernährungs- und Lebensgewohnheiten der Referenzperson und einer möglichen Vorbelastung durch andere Anlagen und Einrichtungen eingehalten werden.

## Dosiskoeffizient

Faktor zur Ermittlung der Strahlenexposition einzelner Organe und des gesamten Körpers durch inkorporierte radioaktive Stoffe; Dosiskoeffizienten sind abhängig vom Radionuklid, von der Inkorporationsart (Inhalation/Ingestion), von der chemischen Verbindung des Radionuklids sowie vom Alter der Person. Im Bundesanzeiger Nr. 160a und b vom 28. August 2001 sind umfassend Dosiskoeffizienten für Einzelpersonen der Bevölkerung und für beruflich strahlenexponierte Personen aufgeführt. Sie geben die Dosis in 25 Organen oder Geweben sowie die effektive Dosis für eine durch Inhalation oder Ingestion zugeführte Aktivität von 1 Becquerel an.

Die Dosiskoeffizienten können als pdf-file von folgender Adresse im Internet herunter geladen werden: <http://www.bfs.de/bfs/search?q=Dosiskoeffizienten>  
 Diese Datei enthält auf 1.871 Seiten (rund 700.000 Datenwerte) alle Daten. Die pdf-Datei ist ca. 9 MB groß.

Radionuklid	Organ	Dosiskoeffizient in Sv/Bq		
		< 1 Jahr	7 bis 12 Jahre	> 17 Jahre
H-3	effektive Dosis	$6,4 \cdot 10^{-11}$	$2,3 \cdot 10^{-11}$	$1,8 \cdot 10^{-11}$
C-14	effektive Dosis	$1,4 \cdot 10^{-9}$	$8,0 \cdot 10^{-10}$	$5,8 \cdot 10^{-10}$
Sr-90	Knochenoberfläche	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$4,1 \cdot 10^{-6}$	$4,1 \cdot 10^{-7}$
	effektive Dosis	$2,3 \cdot 10^{-7}$	$6,0 \cdot 10^{-8}$	$2,8 \cdot 10^{-8}$
I-131	Schilddrüse	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$4,3 \cdot 10^{-7}$
	effektive Dosis	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$5,2 \cdot 10^{-8}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$
Cs-137	effektive Dosis	$2,1 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$
Ra-226	Knochenoberfläche	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$
	effektive Dosis	$4,7 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$
Pu-239	Knochenoberfläche	$7,4 \cdot 10^{-5}$	$6,8 \cdot 10^{-6}$	$8,2 \cdot 10^{-6}$
	effektive Dosis	$4,2 \cdot 10^{-6}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-7}$

Beispiele für Dosiskoeffizienten für Einzelpersonen der Bevölkerung zur Berechnung der Organdosis oder der effektiven Dosis bei einer Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Nahrung (Ingestion)

## Dosiskoeffizient, natürliche radioaktive Stoffe

Für Arbeiten in Umfeldern, in denen die Inkorporation natürlicher, radioaktiver Stoffe zu beachten ist, hat der BMU spezielle Dosiskoeffizienten für die Inhalation veröffentlicht (BMU03):

Stoffe, mit denen umgegangen wird	Dosiskoeffizient Sv/Bq
Thorierte Schweißelektroden Thorierte Gasglühstrümpfe Produkte aus thorierten Legierungen Pyrochlorerze	$1,8 \cdot 10^{-5}$
Thorium (nat. Zusammensetzung)	$1,6 \cdot 10^{-5}$
Uran (nat. Zusammensetzung)	$5,6 \cdot 10^{-6}$
Schlacke aus der Verhüttung von Kupferschiefererzen	$5,6 \cdot 10^{-5}$

Dosiskoeffizienten für natürliche radioaktive Stoffe

## Dosislängenprodukt

Das Dosislängenprodukt  $P_L$  wird als Messgröße zur Ermittlung der Strahlenexposition des Patienten bei der Computer-Tomographie verwendet. Es ist definiert als das Linienintegral der Luftkerma  $K_a$  ( $\rightarrow$ Kerma) längs der Systemachse des Computertomographen (Z-Achse) für eine Tomographie-Schicht (Def. DIN 6814-3,  $\rightarrow$ DIN-Normen zum Strahlenschutz):

$$P_L = \int_Z K_a ds$$

Der Quotient aus dem Dosislängenprodukt einer Einzelschicht und der und der nominellen Schichtbreite ergibt bei einer Messung frei in Luft die mittlere Dosis in der Schicht, bei Messung im Phantom die maximale Dosis einer Schichtserie am Messort im Phantom. Die Maßeinheit des Dosislängenproduktes ist Gy  $\cdot$  m.

## Dosisleistung

Dosisleistung ist der Quotient aus der Dosis und der Zeit, in der diese Dosis erreicht wird; z. B. wird die Dosisleistung im Strahlenschutz häufig in Mikrosievert je Stunde ( $\mu$ Sv/h) angegeben.

## Dosisleistungsausbeute

Verhältnis aus der Dosisleistung eines Röntgenstrahlers bei bestimmten Betriebsbedingungen und dem Strom, der die Röntgenröhre durchfließt (Def. DIN 6814-5); die gebräuchlichste Maßeinheit der Dosisleistungsausbeute ist mSv/mA $\cdot$ min.

## Dosisleistungskonstante

Die Dosisleistungskonstante  $\Gamma$  verknüpft die Dosisleistung eines radioaktiven Stoffes mit seiner Aktivität. Sie ist für punktförmige Quellen definiert und berücksichtigt daher keine Absorption in der Quelle selbst und auch nicht zwischen Quelle und Aufpunkt. Sie kann daher für die Abschätzung der Ortsdosisleistung nur verwendet werden, wenn die betrachteten Abstände zur Quelle klein gegen die maximale Reichweite der Strahlung ist.

$$\dot{H} = \Gamma \cdot \frac{A}{r^2}$$

Die Dosisleistungskonstante ist üblicherweise auf der Basis der Umgebungsäquivalentdosisleistung für Photonenstrahlung definiert ( $\rightarrow$ Dosisleistungskonstante, Photonenstrahlung), kann aber auch allgemein für andere Strahlenarten angegeben werden. Sie ist in der Literatur tabelliert, z.B. in der Einheit [mSv m<sup>2</sup> / h GBq]. In dieser Einheit gibt ihr Zahlenwert die Ortsdosisleistung in mSv/h in 1 m Abstand von einer Punktquelle der Aktivität 1 GBq an.

Die Dosisleistungskonstante ist abhängig von der Art der emittierten Strahlung, deren Energie und der Emissionshäufigkeit je Zerfall  $p$  ( $\rightarrow$ Teilchenausbeute). Die Abhängigkeit von der Strahlenart und der Energie wird durch den  $\rightarrow$ Konversionsfaktor  $k$



beschrieben. Für monoenergetische Strahlung kann man  $\Gamma$  folgendermaßen berechnen:

$$\Gamma = k \cdot p / 4\pi$$

Treten Strahlungsteilchen unterschiedlicher Energien auf, muss bezüglich  $k$  und  $p$  über die einzelnen Energien oder Energiegruppen summiert werden:

$$\Gamma = \frac{1}{4\pi} \sum_i k_i \cdot p_i$$

Lit.: VOG04

## Dosisleistungskonstante, Betastrahlung

Die Dosisleistungskonstante für Betastrahlung  $\Gamma_\beta$  verknüpft die Richtungsäquivalentdosisleistung  $\dot{H}'(0,07)$  mit der Aktivität einer punktförmigen radioaktiven Quelle. Bei der Anwendung ist insbesondere darauf zu achten, dass die betrachteten Abstände von der Quelle deutlich kleiner sind als die maximale Reichweite der Betastrahlen ( $\rightarrow$  **Betastrahlung**). Da die angegebene Beziehung idealerweise nur für Punktquellen gilt, kann sie andererseits mit hinreichender Näherung nur verwendet werden, solange die Quellenabmessung kleiner als die Hälfte des Abstandes  $r$  zum Aufpunkt bleibt.

$$\dot{H}'(0,07) = \Gamma_\beta \cdot \frac{A}{r^2}$$

Für ausgedehnte Flächenquellen mit einer flächenbezogenen Aktivität  $a_F$  (in Bq/cm<sup>2</sup>) kann die Richtungsäquivalentdosis über eine Dosisleistungsfunktion  $f_\beta$  abgeschätzt werden.  $f_\beta$  gilt streng genommen für eine unendlich ausgedehnte Scheibenquelle.

$$\dot{H}'(0,07) = f_\beta \cdot a_F$$

Die Konstanten  $\Gamma_\beta$  und  $f_\beta$  sind energieabhängig und können der Fachliteratur entnommen werden (VOG04, SSK43)

## Dosisleistungskonstante, Photonenstrahlung

Man unterscheidet Dosisleistungskonstanten für den Strahlenschutz und für die Strahlentherapie.

Für Zwecke des *Strahlenschutzes* wird die Dosisleistungskonstante  $\Gamma_H$  eines Radionuklids, das Photonen emittiert, folgende Größe definiert:

$$\Gamma_{H^*} = \frac{dH^*(10)}{dt} \cdot \frac{r^2}{A}$$

$dH^*(10)/dt$  = Umgebungsäquivalentdosisleistung, die durch alle Photonen mit Energie  $E \geq 20$  keV im Abstand  $r$  von einer punktförmigen Strahlenquelle der Aktivität  $A$  erzeugt würde, wenn die Strahlung weder in der Quelle noch in einem anderen Material absorbiert oder gestreut wird.

Die Einheit von  $\Gamma_H$  ist Sv m<sup>2</sup> / Bq s; gebräuchlich ist oft eine Angabe in mSv m<sup>2</sup>/GBq h. Die Grenzenergie von 20 keV gilt einheitlich für alle Nuklide. Wenn es erforderlich ist, Photonenstrahlung mit Energien unter 20 keV zu berücksichtigen, so ist deren Beitrag zur Gammadosisleistungskonstanten gesondert zu ermitteln.

Früher war die Gammastrahlenkonstante  $\Gamma_H$  gebräuchlich, die sich auf die  $\rightarrow$ Photonen-Äquivalentdosisleistung  $H_x$  bezog.

Bei Radionukliden mit kurzlebigen Folgeprodukten wird die Dosisleistungskonstante für den Zustand des radioaktiven Gleichgewichts angegeben. Bezugsaktivität  $A$  ist die Aktivität des Mutternuklids.

Nuklid	$\Gamma_H$ in mSv/h $\cdot$ m <sup>2</sup> /GBq
Co-60	0,354
Ag-110m	0,416
Sb-124	0,267
I-131	0,066
Cs-137	0,093
Ra-226	0,298

Beispiele für Dosisleistungskonstanten  $\Gamma_H$

Für Zwecke der *Strahlentherapie* wird die Dosisleistungskonstante  $\Gamma_\delta$  eines Photonen emittierenden Nuklids wie folgt definiert:

$$\Gamma_\delta = \frac{dk_\delta}{dt} \cdot \frac{r^2}{A}$$

$dk_\delta/dt =$ : Luftkermaleistung, die für alle Photonen mit Energien  $\geq \delta$  im Abstand  $r$  von einer punktförmigen Strahlenquelle der Aktivität  $A$  erzeugt würde, wenn die Strahlung weder in der Quelle noch in einem anderen Material absorbiert oder gestreut wird. ( $\rightarrow$ Kerma)

Die Einheit der Dosisleistungskonstante ist Gy m<sup>2</sup> / Bq s ; gebräuchlich ist auch die Angabe in mGy m<sup>2</sup> / GBq h .

Die Wahl der Grenzenergie  $\delta$  hängt von der Anwendung ab. Ihr Zahlenwert wird in keV angegeben.  $\Gamma_{50}$  ist demnach die Dosisleistungskonstante eines Radionuklids, wenn alle Photonen mit  $E \geq 50$  keV berücksichtigt werden. Die Dosisleistungskonstante  $\Gamma_\delta$  enthält auch die Beiträge der Vernichtungsstrahlung bei  $\beta^+$  - Strahlern sowie der charakteristischen Röntgenstrahlung infolge von Elektroneneinfang und innerer Konversion bei Photonenenergien  $E \geq \delta$ .

Bei Radionukliden mit kurzlebigen Folgeprodukten wird die Dosisleistungskonstante für den Zustand des radioaktiven Gleichgewichts angegeben. Bezugsaktivität  $A$  ist die Aktivität des Mutternuklids.

Da die Dosisleistungskonstante den Einfluss der Absorption und Streuung der Strahlung im Strahler nicht wiedergibt, wird in der Brachytherapie weitgehend die  $\rightarrow$ Kenn-dosisleistung  $\dot{K}_{a,100}$  verwendet. (Lit.: DIN 6814-3, VOG04)

## Dosismessfilm

Filmträger mit einer Emulsionsschicht, die durch ionisierende Strahlung so verändert wird, dass nach der Entwicklung die bestrahlten Flächen geschwärzt sind; der Grad der Schwärzung ist ein Maß für die Dosis.  $\rightarrow$ Filmdosimeter

## Dosisrate

Anderer Ausdruck für  $\rightarrow$ Dosisleistung

## Dosisreduzierungsgebot

Andere Bezeichnung für →[Minimierungsgebot](#)

## Dosisschranke

Beschränkung der Strahlenexposition für eine Person (reale Person oder rechnerische Referenzperson) unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte; das Strahlenschutzmittel der Dosisschranke wurde den Empfehlungen der ICRP entlehnt (dose constraint) und soll mit Bezug auf eine definierte Strahlenquelle den Schutz von exponierten Personen optimieren. Im praktischen Strahlenschutz sind geeignete gesetzte Dosisschranken ein wichtiges Hilfsmittel.

Beispiel: Für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser werden in der Betriebsgenehmigung eines Kernkraftwerks Maximalwerte festgelegt, welche die Grenzwerte nach § 47 StrlSchV nicht ausschöpfen.

## Dosisschwelle

→[Schwellendosis](#)

## Dosisverteilung, physikalische

Die physikalische Dosisverteilung gibt die Verteilung einer physikalischen Dosisgröße im Strahlenfeld an. Eine physikalische Dosisgröße enthält keine klinisch-strahlenbiologischen oder andere im Strahlenschutz übliche Wichtungsfaktoren, d.h. physikalische Dosisverteilung ist beschränkt auf die Dosisgrößen →[Energiedosis](#), →[Ionendosis](#) und →[Kerma](#) sowie deren zeitliche Änderungen (Dosisleistungen).

Def. siehe auch DIN 6814-3 (→[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Dosiszuwachs faktor

Andere Bezeichnung für →[Dosisaufbaufaktor](#)

## Driftröhren-Beschleuniger

Linearbeschleuniger; die Beschleunigungsstrecke besteht aus hintereinander angeordneten Rohrstücken, die alternierend mit den Polen einer Wechselspannungsquelle verbunden sind. Rohrabstände und Rohrlängen sind so bemessen, dass die geladenen Teilchen in den Rohrzwischenräumen in Laufrichtung beschleunigt werden und beim Durchlauf durch die Rohrstücke gegen das dann entgegen gerichtete Feld abgeschirmt sind. Sie driften damit „feldfrei“ durch die Röhren. Die Rohrstücke müssen dabei so lang sein, dass die Zeit zum Durchdriften genau einer halben Wellenlänge des beschleunigenden Wechselfeldes entspricht. Wegen der zunehmenden Geschwindigkeit der Teilchen werden die Rohrstücke in Richtung der Beschleunigungsstrecke immer länger.

## Druckbehälter

Dickwandiger zylindrischer Stahlbehälter, der bei einem Kraftwerksreaktor den Reaktorkern umschließt. Er ist aus einem speziellen Feinkornstahl gefertigt, der sich gut

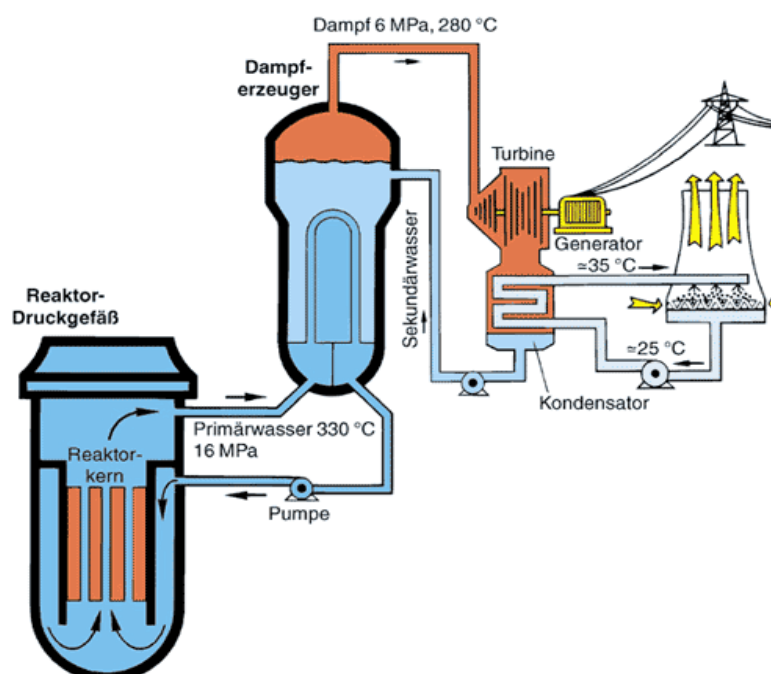
schweißen läßt und der eine hohe Zähigkeit bei geringer Versprödung unter Neutronenbestrahlung hat. Auf der Innenseite ist der Druckbehälter mit einer austenitischen Plattierung zum Schutz gegen Korrosion versehen. Bei einem 1.300-MWe-Druckwasserreaktor beträgt die Höhe des Druckbehälters etwa 12 m, der Innendurchmesser 5 m, die Wandstärke des Zylindermantels rund 250 mm und das Gesamtgewicht ohne Einbauten etwa 530 t. Er ist auf einen Druck von 17,5 MPa (175 bar) und eine Temperatur von 350 °C ausgelegt. Der Druckbehälter wird im Reaktorbetrieb aktiviert und an den Innenflächen stark kontaminiert. Er stellt auch dann für den Strahlenschutz eine relevante Strahlenquelle dar, wenn er keine Brennelemente enthält.

## Druckröhrenreaktor

Kernreaktor, bei dem sich die Brennelemente innerhalb zahlreicher Röhren befinden, in denen das Kühlmittel umläuft. Diese Röhrenanordnung ist vom Moderator umgeben. Beim kanadischen CANDU-Reaktortyp dient schweres Wasser ( $D_2O$ ) als Kühlmittel und Moderator; beim russischen →RBMK-Reaktortyp wird leichtes Wasser ( $H_2O$ ) als Kühlmittel und Graphit als Moderator benutzt.

## Druckwasserreaktor

Leistungsreaktor, bei dem die Wärme aus der Spaltzone durch Wasser abgeführt wird, das unter hohem Druck (etwa 160 bar) steht, damit ein Sieden in der Spaltzone vermieden wird. Das Kühlwasser gibt seine Wärme in einem Dampferzeuger an den Sekundärkreislauf ab. Beispiel: Kernkraftwerk Grohnde mit einer elektrischen Leistung von 1.430 MW.



Prinzipdarstellung eines Kernkraftwerks mit Druckwasserreaktor  
Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie

## DSP-Technologie

Begriff aus der spektrometrischen Messtechnik (DSP = Abk. für Digital Signal Processing); bei der DSP-Technologie wird die Digitalisierung der Detektorsignale unmittelbar hinter der Detektor-Vorverstärker-Einheit vorgenommen und nicht erst im ADC am Schluss der impulsverarbeitenden elektronischen Kette. Vorteile sind eine schnellere Signalverarbeitung und eine bessere Temperaturstabilität. (VOG04)

## DTPA

Diäthylentriaminpentaacetat; →[Chelatbildner](#)

## Düngemittel und Strahlenexposition

Phosphat-Düngemittel können erhebliche Aktivitäten natürlicher Radionuklide enthalten, im Wesentlichen Uran und Folgeprodukte sowie K-40. Spezifische Aktivitäten von mehreren 1000 Bq je kg Düngemittel sind möglich. Dadurch werden Strahlenexposition bei der Lagerhaltung und dem Verbringen in der Landwirtschaft verursacht. Schätzwerte von 2,3 mSv im Jahr für Lagerarbeiter und < 1mSv für das Ausbringen wurden veröffentlicht (VOG04).

## Durchdringende Strahlung

Strahlung, bei der die Überwachung der durch externe Strahlenexposition erzeugten Körperdosen unter Berücksichtigung der physikalischen Dosisverteilung auf die effektive Dosis erstreckt werden muss (Def. nach DIN 6814-3).

Diese Definition ist im medizinischen Bereich gebräuchlich. Photonenstrahlen mit mittleren Photonenenergien oberhalb 15 keV und Neutronenstrahlen sind dort als durchdringende Strahlung anzusehen. Bei ausschließlicher Bestrahlung der Extremitäten wird dort allerdings auch bei durchdringender Strahlung in der Regel nur die lokale Hautdosis überwacht (DIN 6814-3). (→[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Durchflusszähler

Messgerät zum Nachweis von Alphastrahlen oder energiearmen Betastrahlen; der Durchflusszähler ist ein →[Proportionalzähler](#), der entweder ein sehr dünnes Eintrittsfenster hat oder offen betrieben wird. Das Zählgas, z.B. Methan, wird in einem steten Strom durch das Zählvolumen geleitet und somit ständig erneuert. Damit werden konstante Messbedingungen erreicht.

## Durchführung, technische

Die technische Durchführung umfasst im Sinne der RöV das Einstellen der technischen Parameter an der Röntgeneinrichtung, das Lagern des Patienten oder des Tieres unter Beachtung der Einstelltechnik, das Zentrieren und Begrenzen des Nutzstrahls, das Durchführen von Strahlenschutzmaßnahmen und das Auslösen der Strahlung. (Def. § 2 Nr.7 RöV)

## Durchlassstrahlung

Eine Strahlenquelle, die aus Strahlenschutzgründen in einem abgeschirmten Gehäuse angeordnet ist, emittiert zu Anwendungszwecken ein Strahlenbündel, das z.B. über Blendenöffnungen begrenzt wird: die →[Nutzstrahlung](#). Der Strahlungsanteil, der außerdem das Schutzgehäuse durchdringt (oder auch die Blende bei geschlossenem Blendensystem), wird als Durchlassstrahlung bezeichnet. Die Durchlassstrahlung ist oft für den praktischen Strahlenschutz von primärer Bedeutung.

## DWR

Abk. für →[Druckwasserreaktor](#)

## DXA

Abk. für Dual X-Ray Absorptiometry (Doppelröntgenaabsorptiometrie)

Die DXA wird in der Medizin zur Messung der Knochendichte eingesetzt. Zwei Röntgenquellen mit unterschiedlichem Energiespektrum durchstrahlen ausgewählte Skelettbereiche. Die Unterschiede im Absorptionsverhalten werden zur Ermittlung der Knochendichte verwendet.

Die Strahlenexposition infolge dieser Untersuchung hängt von der Größe der untersuchten Skelettbereiche ab. Die Angaben in der Fachliteratur bewegen sich im Bereich 10 - 100  $\mu\text{Sv}$ .

## Dynamitron

Gleichspannungsfeld-Beschleuniger; die Hochspannung wird aus einem Hochfrequenzfeld gewonnen, indem längs der Beschleunigungsstrecke in ringförmigen Elektroden Hochfrequenzspannungen induziert werden, die durch spezielle Gleichrichtersysteme in Gleichspannungen umgewandelt werden. Es werden Spannungen von mehreren MV erreicht. Eine besondere Abart ist der Dynamitron-Tandem-Beschleuniger. Hier erfolgt die Beschleunigung in zwei Stufen: Das beschleunigende hohe Potential liegt auf halber Beschleunigungsstrecke, während Anfang und Ende auf Erdpotential liegen. Die geladenen Teilchen müssen daher in der Mitte des Beschleunigers umgeladen werden. Dies geschieht zum Beispiel bei negativen Ionen durch sogenannte Stripping-Folien. Eine technische Realisierung dieses Beschleunigertyps ist an der Ruhr-Universität Bochum in Betrieb.

# E

## EAN

Abk. für European ALARA Network; Europäisches Strahlenschutz-Netzwerk zur Verbesserung der Strahlenschutzkultur auf der Grundlage des [→ALARA](#)-Prinzips. Das EAN veranstaltet unter anderem ALARA-Workshops, auf denen Strahlenschutzfachleute ihre Erfahrungen austauschen, und gibt ALARA-Newsletter heraus.

$$E(t) = \sum_T w_T \cdot H_T(t) \quad \text{EDTA}$$

Abk. für **Ethylene-Diamine-Tetraacetic Acid** (Ethylendiamintetraessigsäure); Komplexbildner, der zur Dekontamination von Materialoberflächen eingesetzt wird.

## EDX-Analyse

Materialanalyse über die Auswertung der charakteristischen Röntgenstrahlung; Elektronen werden dazu beschleunigt und auf die Analysenprobe geschossen. Die in der Probe erzeugte Röntgenstrahlung wird mit Halbleiterdetektoren analysiert. EDX steht dabei als Abkürzung für den engl. Ausdruck „Energy Dispersive Xray“.

## EEC

Engl. Abk. für equilibrium equivalent concentration; der Ausdruck wird in der Radon-Messtechnik für die gleichgewichtsäquivalente Radonkonzentration benutzt.

[→Gleichgewichtsfaktor](#)

## Effektive Äquivalentdosis

Alte Bezeichnung für die [→effektive Dosis](#)

## Effektive Dosis

Die effektive Dosis ist die geeignete Größe zur Angabe eines einheitlichen Dosiswertes bei unterschiedlicher Exposition verschiedener Körperbereiche zur Bewertung des Risikos für Strahlenspät Schäden. Die effektive Dosis E ist die Summe der mit den Gewebe-Wichtungsfaktoren  $w_T$  multiplizierten mittleren [→Organdosen](#)  $H_T$  in den einzelnen Organen und Geweben des Körpers durch äußere oder innere Strahlenexposition.

$$E = \sum_T w_T H_T$$

Die effektive Dosis geht von dem Modell der Additivität der Schadensrisiken für die einzelnen Organe und von einem linearen Zusammenhang zwischen Dosis und Wirkung aus. Die effektive Dosis ist geeignet, das Schadensrisiko für stochastische Schäden abzuschätzen und über Grenzwertsetzung zu begrenzen. Die effektive Do-



sis sollte nicht zur Berechnung der Anzahl erwarteter Schadensfälle herangezogen werden. Lit.: VOG04

## Effektive Energie

Begriff aus der radiologischen Technik für die Photonenstrahlung; die effektive Energie ist diejenige Teilchenenergie monoenergetischer Photonenstrahlung, die, bezogen auf einen definierten physikalischen Effekt, die gleiche Auswirkung hat wie die betrachtete spektral verteilte Photonenstrahlung. Die effektive Energie hängt somit von der spektralen Verteilung der betrachteten Photonenstrahlung und von dem physikalischen Effekt ab. (s. auch DIN 6814.2, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Effektive Folgedosis

Effektive Dosis, die sich nach einer Inkorporation radioaktiver Stoffe innerhalb einer Zeit  $t$  ergibt; nach der Inkorporation ergibt sich die effektive Folgedosis  $E(t)$  nach einer Zeit  $t$  seit der Inkorporation aus der →[Organ-Folgedosis](#)  $H_T(t)$ :

;  $w_T$  = Gewebe-Wichtungsfaktor

## Effektiver Wirkungsquerschnitt

→ [Wirkungsquerschnitt, effektiver](#)

## Effizienz

Mit Effizienz (engl.: efficiency) bezeichnet man die Nachweisempfindlichkeit einer Messanordnung. Die Effizienz hängt u.a. von der Energie der nachzuweisenden Strahlung und der Detektor-Proben-Geometrie ab. So muss z.B. für die nuklidspezifische Analyse von Gammastrahlung mit einem Germanium-Detektor eine Effizienz-Kalibrierung der Messanordnung durchgeführt werden, was zu einer sogen. Effizienz-Kurve führt, welche die Nachweisempfindlichkeit in Abhängigkeit von der Gammaenergie zeigt. Diese besteht häufig aus zwei parabelförmigen Teilen. Einem ansteigenden Teil im Energiebereich bis ca. 200 keV und einem abfallenden Zweig für  $E > 200$  keV. Beide Zweige werden in einem Optimierungsverfahren aneinander angepasst. Da die Anzahl der Impulse des Detektors je Aktivitätseinheit in der Probe von der Art der Probe (Selbstabsorption) und von der geometrischen Anordnung der Probe zum Detektor (wirksamer Raumwinkel) abhängt, muss theoretisch für jede Probengeometrie und Probendichte eine eigene Kalibrierung der Detektoranordnung durchgeführt werden. In der Praxis ist es oft ausreichend, eine Reihe von Standard-Kalibrierungen mit den gebräuchlichen Messgeometrien durchzuführen. Schwankungen in der Dichte des Probenmaterials können auch rechnerisch berücksichtigt werden.

## Eichordnung

Die Eichordnung, erlassen auf der Grundlage des Eichgesetzes (EICHG), enthält Vorgaben zur Eichpflicht von Strahlenschutzmessgeräten (EIO88).

## Eichung von Strahlenschutzmessgeräten

Nach dem Eichgesetz (§ 2 EichG) müssen Messgeräte im Strahlenschutz grundsätzlich geeicht sein. Die Eichordnung (EIO88) legt die Anwendungsbereiche fest, für die im Strahlenschutz geeichte Messgeräte eingesetzt werden müssen. Dies sind Messgeräte zur Ermittlung der Photonenstrahlung für folgende Zwecke:

- Messungen zur physikalischen Strahlenschutzkontrolle (Personendosis, Ortsdosis, Ortsdosisleistung)
- Abgrenzung von Strahlenschutzbereichen
- Abschätzung der zulässigen Aufenthaltszeit in Strahlenschutzbereichen
- Qualitätssicherung medizinischer Röntgendiagnostikeinrichtungen
- Amtliche Messaufgaben

Die Eichung erfolgt beim Eichamt. Messgeräte für andere Strahlenarten (z.B. Beta- oder Neutronenstrahlung) sind nicht eichpflichtig, müssen aber gemäß § 67 StrlSchV geeignet sein.

Der Energienengebrauchsbereich für die eichpflichtigen Photonenmessgeräte liegt ganz oder teilweise zwischen 5 keV und 7 MeV.

Im Einzelnen sind folgende Messgeräte eichpflichtig:

- Personendosimeter im Messbereich zwischen 10  $\mu\text{Sv}$  und 10 Sv
- Ortsveränderliche Dosimeter zur Messung der Ortsdosisleistung im Messbereich zwischen 0,1  $\mu\text{Sv/h}$  und 10 Sv/h sowie der Ortsdosis im Messbereich zwischen 0,1  $\mu\text{Sv}$  und 10 Sv
- Ortsfeste Dosimeter zur Messung der Ortsdosisleistung im Messbereich zwischen 0,1  $\mu\text{Sv/h}$  und 100 Sv/h sowie der Ortsdosis im Messbereich zwischen 0,1  $\mu\text{Sv}$  und 10 Sv
- Diagnostikdosimeter zur Messung der Luftkermaleistung ( $\rightarrow$ Kerma) im Messbereich zwischen 0,1  $\mu\text{Gy/h}$  und 10 mGy/h sowie der Luftkerma im Messbereich zwischen 1  $\mu\text{Gy}$  und 0,3 Gy oder des Luftkerma-Längenproduktes oberhalb von 5  $\mu\text{Gy m}$ .

Die Gültigkeit der Eichung beträgt bei ortsfesten Dosimetern 1 Jahr, ansonsten 2 Jahre. Alternativ zur Nacheichung kann der Nutzer Kontrollmessungen mit einer von der PTB zugelassenen Kontrollvorrichtung durchführen. Geschieht dies nicht über den gesamten Nenngebrauchsbereich der Messeinrichtung, so verlängert dies die Eichfrist lediglich bis zu sechs Jahren.

(s. auch VOG04)

## Eigenkontrolle

Gesamtheit aller Maßnahmen, die eine Messstelle mit eigenen Mitteln zur internen Qualitätssicherung ihres Messverfahrens und damit zur Sicherstellung ihrer Zuverlässigkeit durchführt (Def. aus der [Richtlinie zur physikalischen Strahlenschutzkontrolle](#))

## Einfang-Gammastrahlung

Gammastrahlung, die nach Absorption eines Neutrons von dem angeregten Atomkern emittiert wird (→[Neutronenstrahlung](#))

## Einheitenverordnung – EinhV

Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Messwesen; die Verordnung legt die gesetzlichen Einheiten und Einheitenzeichen auf Basis des Gesetzes über die Einheiten im Messwesen (GEIN85) fest. Sie enthält in diesem Zusammenhang auch die im Strahlenschutz gebräuchlichen Einheiten →[Becquerel](#), →[Gray](#) und →[Sievert](#).

## Einkanal-Analysator

Gerät in einer spektrometrischen Messkette, das aus dem Spektrum der vorhandenen Detektorsignale einen durch die Kanalbreite definierten Impulshöhenbereich (und damit Energiebereich) selektiert; →[Kanal](#)

## Einrichtung

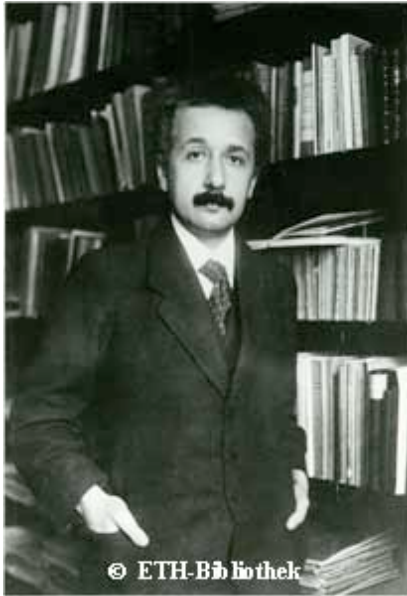
Einrichtungen in der Definition der Strahlenschutzverordnung sind Gebäude, Gebäudeteile oder einzelne Räume, in denen nach den §§ 5, 6 oder 9 des Atomgesetzes oder nach § 7 StrlSchV mit radioaktiven Stoffen umgegangen oder nach § 11 Abs. 2 StrlSchV eine Anlage zur Erzeugung ionisierender Strahlung betrieben wird. (Def. § 3 Abs.2 Nr.10 StrlSchV)

## Einstein

Albert Einstein, Physiker, \* 14.3.1879 Ulm, † 18.4.1955 Princeton (USA); entwickelte die spezielle (1905) und die allgemeine Relativitätstheorie (1915); erklärte 1905 den äußeren Photoeffekt, wofür er 1921 den Nobelpreis für Physik erhielt. Seine Erkenntnisse haben u.a. für das Verständnis atomarer Vorgänge sowie die Entstehung und Wechselwirkung ionisierender Strahlung grundlegende Bedeutung. Bahnbrechend ist in diesem Zusammenhang die von ihm postulierte Äquivalenz von Masse  $m$  und Energie  $E$ , die sich in der Beziehung

$$E = m \cdot c^2$$

ausdrückt ( $c$  = Lichtgeschwindigkeit im Vakuum).



Albert Einstein 1916



um 1950 (in Princeton)

Quelle: [http://www.einstein-website.de/wl\\_inhaltbiographie.html](http://www.einstein-website.de/wl_inhaltbiographie.html)

## **Einwirkung von außen (EVA)**

Im Rahmen von atomrechtlichen Genehmigungsverfahren für kerntechnische Anlagen muss nachgewiesen werden, dass die Anlage Belastungen durch Einwirkung von außen standhält. Zu diesen EVA-Belastungen können z.B. Erdbeben, Flugzeugabsturz oder Explosionsdruckwellen gehören.

## **Einwirkungsstelle, ungünstigste**

Stelle in der Umgebung einer Anlage oder Einrichtung, bei der aufgrund der Verteilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umwelt unter Berücksichtigung realer Nutzungsmöglichkeiten durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchste Strahlenexposition der →Referenzperson zu erwarten ist. (Def. § 3 Abs.2 Nr.11 StrlSchV)

## **Einzelfehler**

Ein Fehler, der durch ein einzelnes Ereignis hervorgerufen wird, einschließlich der durch diesen Fehler entstehenden Folgefehler.

## **Einzelpersonen der Bevölkerung**

Im Sinne der Strahlenschutzverordnung sind dies Mitglieder der allgemeinen Bevölkerung, die weder beruflich strahlenexponierte Personen sind noch medizinisch oder als helfende Person exponiert sind. (Def. § 3 Abs.2 Nr.12 StrlSchV)

Folgende Dosisgrenzwerte bedingt durch Strahlenexpositionen aus Tätigkeiten gelten für Einzelpersonen der Bevölkerung im Kalenderjahr:

Effektive Dosis: 1 mSv

Organdosis Augenlinse: 15 mSv

Organdosis Haut: 50 mSv

## Elastische Streuung

Richtungsänderung von Teilchen bei einem elastischen Stoß mit einem anderen Teilchen; bei der elastischen Streuung ist die Summe der kinetischen Energien der Stoßpartner vor dem Stoß gleich der nach dem Stoß. Im Gegensatz dazu wird z.B. bei der inelastischen Streuung ein Teil der Energie beim Stoß zur Anregung eines Stoßpartners verwendet, so dass die Summe der kinetischen Energien nach dem Stoß kleiner ist. Reaktionssymbol (für Neutronen):  $(n, n)$

## Elektret-Dosimeter

Passives Dosimeter mit der Entladung eines Elektreten als Messprinzip zur Ermittlung der luftgetragenen Aktivität; Elektrete sind Materialien, häufig Polymere, welche orientierte elektrische Dipole oder elektrische Überschussladungen über längere Zeit speichern können. Sie sind gewissermaßen das elektrische Gegenstück zu einem Permanentmagneten. Im Elektret-Dosimeter wird ein Elektret in einer Messkammer positioniert und mit dem elektrisch leitenden Messkammergehäuse (in der Regel aus leitendem Kunststoff) verbunden. Die in der Luft enthaltenen Radionuklide zerfallen und ionisieren dabei die Luft des Messkammervolumens. Die negativen Ladungsträger wandern unter dem Einfluss des elektrischen Feldes zum Elektret und kompensieren einen Teil seiner Ladung. Bei geeigneter Kalibrierung ist die Ladungsdifferenz am Elektreten vor und nach der Exposition ein Maß für die Aktivitätskonzentration in der Raumluft.

In der Praxis werden Elektret-Dosimeter häufig zur Messung der Radon-Konzentration in der Raumluft eingesetzt. Der Messkammereingang wird dabei durch ein Filter abgedeckt, durch welches das Radongas in die Messkammer diffundiert und das die in der Luft enthaltenen Aerosole zurückhält. Da Elektret-Dosimeter auch eine (geringere) Empfindlichkeit gegenüber Gammastrahlung besitzen, muss der jeweils vorhandene Gammauntergrund bei der Auswertung berücksichtigt werden.

Quellen: [www.geotest.ch/File/download/berichte118.pdf](http://www.geotest.ch/File/download/berichte118.pdf)  
<http://opus.kobv.de/ubp/volltexte/2005/568/>

## Elektromagnetische Isotopentrennung

Trennung verschiedener Isotope durch elektrische und magnetische Felder.

## Elektromagnetische Strahlung

Strahlung aus elektrischen und magnetischen Wellen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit fortbewegen. Beispiele: Licht, Radiowellen, →Röntgenstrahlen, →Gammastrahlen. Die elektromagnetische Strahlung pflanzt sich auch im Vakuum fort, ihre Geschwindigkeit  $c$  (Lichtgeschwindigkeit) im Vakuum beträgt etwa  $c = 299\,792\text{ km/s}$ .

Bei der ionisierenden elektromagnetischen Strahlung unterscheidet man, je nach ihrer Herkunft, Röntgenstrahlung ( $X$ ) und Gammastrahlung ( $\gamma$ ). Sie zeichnet sich durch sehr kurze Wellenlängen  $\lambda$  und entsprechend hohe Frequenzen oder Schwingungszahlen  $\nu$  aus:  $\lambda < 10^{-9}\text{ m}$ ,  $\nu > 10^{17}\text{ s}^{-1}$ . Zwischen Geschwindigkeit, Wellenlänge und

Frequenz besteht die Beziehung  $c = \lambda \cdot \nu$ . Die Energie elektromagnetischer Strahlung ist über das →Planck'sche Wirkungsquantum  $h$  mit der Frequenz verknüpft:  $E = h \cdot \nu$ . Gemessen wird die Energie in der Regel in →Elektronvolt (eV).

Zwischen der Frequenz  $\nu$  (in 1/s) bzw. der Wellenlänge  $\lambda$  (in nm) und der Energie  $E$  (in keV) gelten im Vakuum folgende zahlenmäßigen Beziehungen:

$$\nu = 2,418 \cdot 10^{17} E \qquad \lambda = 1,24 / E$$

Die Wechselwirkung elektromagnetischer Strahlung mit Materie kann gut im „Teilchenbild“ verstanden werden, bei dem das Strahlenfeld aus Wellenpaketen oder Photonen („Strahlungsteilchen“) besteht. Für den Strahlenschutz sind die wichtigsten Wechselwirkungen von Gamma- oder Röntgenstrahlung in Materie der →Photoeffekt, der →Compton-Effekt und die →Paarbildung.

Bei niedrigen Energien überwiegt der Photoeffekt, der zu höheren Energien abnimmt. Im Energiebereich um 1 MeV dominiert der Compton-Effekt. Die Paarbildung ist erst bei Energien  $> 1,022$  MeV möglich, wird jedoch erst bei Energien  $> 3$  MeV relevant. Die Häufigkeit der Wechselwirkung steigt mit der →Kernladungszahl  $Z$  und damit mit der Elektronenzahl in der Hülle. Zur Abschirmung von Röntgen- oder Gammastrahlung sind deshalb besonders schwere Materialien mit hoher →Ordnungszahl (Kernladungszahl) geeignet.

## Elektron

Elementarteilchen mit einer negativen elektrischen Elementarladung und einer Ruhemasse von  $9,1094 \cdot 10^{-31}$  kg (entspricht einer Ruheenergie von 511 keV). Das ist ca. 1/1836 der Protonenmasse. Elektronen umgeben den positiv geladenen Atomkern und bestimmen das chemische Verhalten des Atoms. Gelegentlich wird das negative Elektron auch als Negatron bezeichnet und der Name Elektron als Oberbegriff für Negatron und →Positron benutzt.

## Elektronenbeschleuniger

Spez. Typ eines Beschleunigers, bei dem Elektronen in einem elektrischen oder elektromagnetischen Feld beschleunigt werden; dabei wird entweder der Elektronenstrahl direkt genutzt oder die beim Abbremsen der Elektronen erzeugte →Bremsstrahlung. Einsatzgebiete sind Forschung, Industrie und Medizin (→Beschleuniger).

Elektronenbeschleuniger zur Erzeugung von Elektronen mit Energien bis 1 MeV fallen in den Geltungsbereich der Röntgenverordnung, bei Energien  $> 1$  MeV ist eine Genehmigung nach Strahlenschutzverordnung erforderlich.

Neben geeigneten Abschirmmaßnahmen ist die Berücksichtigung von Aktivierungen eine wichtige Randbedingung für den Strahlenschutz an Elektronenbeschleunigern. Eine Aktivierung durch Bremsstrahlung ist bei hohen Photonenenergien ( $E > 8$  MeV) relevant (→Aktivierung). Typische Aktivierungsnuklide sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Nuklid	Halbwertszeit	Materialart
Be-7	53,29 d	Kunststoff
C-11	20,38 m	Kunststoff
F-18	109,7 m	Aluminiumlegierung
Na-22	2,6 a	Aluminiumlegierung
Mn-54	312,2 d	Stahl
Co-58	70,78 d	Stahl
O-15	2,03 m	Beton
Si-27	4,16 s	Beton
Cu-62	9,74 m	Kupfer
Cu-64	12,7 h	Kupfer

Beispiele für Aktivierungsnuklide in Materialien an Elektronenbeschleunigern (VOG04)

Für den Strahlenschutz an Elektronenbeschleunigern ist die messtechnische Abschirmung von Ortsdosisleistungsberechnungen von besonderer Bedeutung, weil die Abschirmung der entstehenden Röntgenstrahlung im Bereich von Fugen oder Stoßkanten schwer vorzuberechnen ist.

Literatur: IAEA188, VOG04,

## Elektroneneinfang

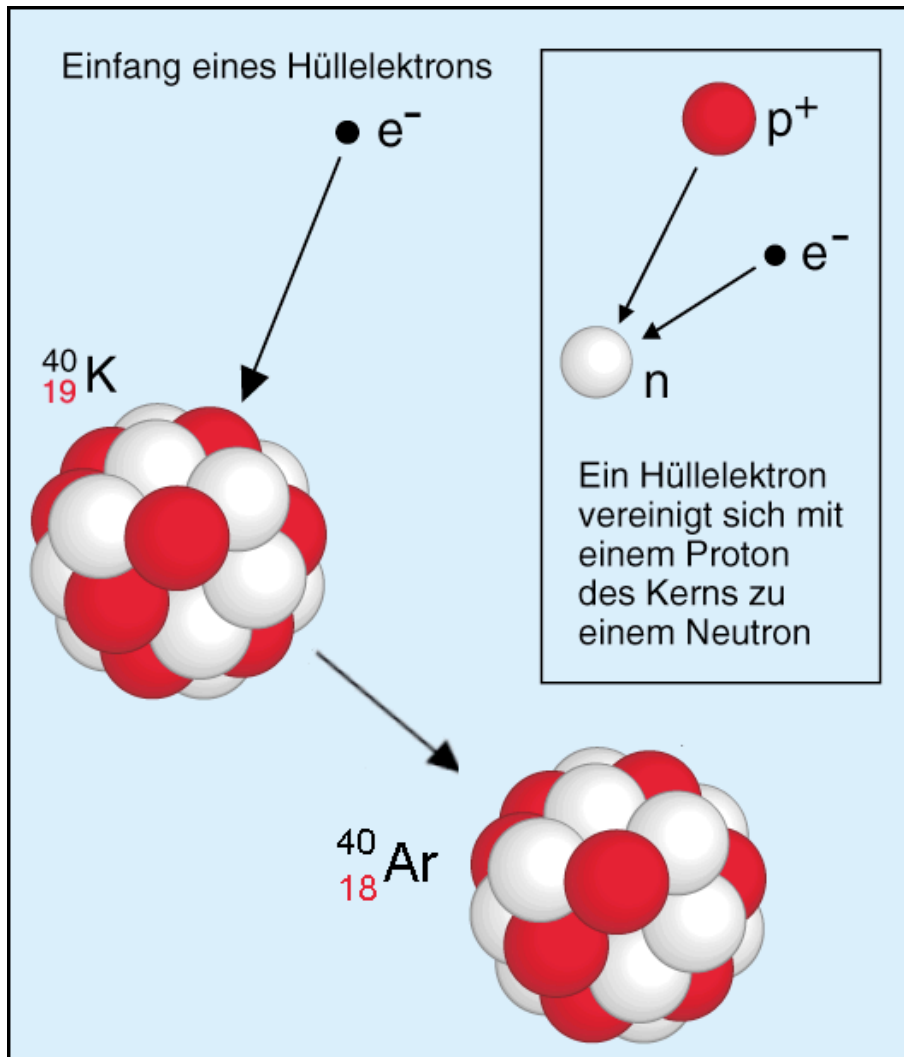
Beim Elektroneneinfang (Zeichen:  $\epsilon$ ) wird vom Atomkern ein Elektron  $e^-$  der Atomhülle eingefangen, welches im Kern die Umwandlung eines Protons  $p^+$  in ein Neutron  $n$  ermöglicht. Das entstehende Nuklid hat eine um eine Einheit kleinere Ordnungszahl  $Z$ , die Massenzahl  $A$  bleibt gleich:  $(A, Z) \rightarrow (A, Z-1)$ .

Der Elektroneneinfang ist ein Konkurrenzprozess zum  $\rightarrow$ Beta-Plus-Zerfall. In Abhängigkeit von der  $\rightarrow$ Elektronenschale, aus der das Elektron eingefangen wurde, spricht man vom K-Einfang, L-Einfang, etc. Der freie Platz in der Elektronenschale wird durch Elektronenübergänge aus kernferneren Schalen aufgefüllt. Die dabei frei werdende elektromagnetische Strahlung ist die charakteristische  $\rightarrow$ Röntgenstrahlung des Tochternuklids. Wenn der Tochterkern im angeregten Zustand gebildet wird, wird beim Übergang des Kerns in den Grundzustand zusätzlich Gammastrahlung emittiert.

Beispiele:  $\text{Fe-55} + e^- \rightarrow \text{Mn-55}; T_{1/2} = 2,6 \text{ a}$  (kein Gamma)  
 $\text{Mn-54} + e^- \rightarrow \text{Cr-54}; T_{1/2} = 312,2 \text{ d}$  ( $E_\gamma = 835 \text{ keV}$ )  
 $\text{Cr-51} + e^- \rightarrow \text{V-51}; T_{1/2} = 27,7 \text{ d}$  ( $E_\gamma = 320 \text{ keV}$ )

Bei einigen Radionukliden kommen Elektroneneinfang und Beta-Plus-Zerfall als konkurrierende Prozesse mit unterschiedlicher Auftrittswahrscheinlichkeit vor. Beispiele dafür sind K-40, Co-58 und Ni-59.





Elektroneneinfang; Einfang eines Elektrons aus der K-Schale der Elektronenhülle bei der Umwandlung von Kalium-40 in Argon-40

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Elektronengleichgewicht

Begriff aus der Dosimetrie; Elektronengleichgewicht liegt vor, wenn als Folge von Ionisationsereignissen innerhalb und außerhalb eines Volumenelements in das Volumenelement gleich viele Elektronen gleicher Energieverteilung einlaufen wie aus diesem Volumenelement auslaufen.

## Elektronenschale

Nach dem →[Bohr'schen Atommodell](#) bewegen sich die Elektronen auf elliptischen Bahnen um den Atomkern, wobei die Energie eines Elektrons umso größer ist, je weiter sich die Bahn vom Kern entfernt befindet. Die Elektronenbahnen können zu Gruppen etwa gleicher Energie zusammengefasst werden. Jede Gruppe bildet eine Elektronenschale, innerhalb derer die Elektronen sich durch Bahndrehimpuls und Ei-

gendrehimpuls (Spin) unterscheiden. Die Elektronenschalen werden vom Kern ausgehend mit den Großbuchstaben K, L, M ... bezeichnet.

## Elektronenstrahlung

Strahlung freier Elektronen, die nicht aus dem radioaktiven Zerfall herrühren, sondern z.B. in einem Beschleuniger erzeugt werden; im Gegensatz dazu wird die Elektronenstrahlung aus dem radioaktiven Zerfall als →**Betastrahlung** bezeichnet. Elektronenstrahlung kann monoenergetisch sein, während Betastrahlung immer ein kontinuierliches Energiespektrum aufweist. Hinsichtlich der Wirkung auf den Menschen sind Elektronenstrahlung und Betastrahlung gleicher Energie gleich.

## Elektronenstrahlung, energiereiche

Elektronenstrahlung aus Elektronenbeschleunigern mit einer Maximalenergie von mehr als 1 MeV

## Elektronisches Personendosimeter

Das elektronische Personendosimeter (Abk.: EPD) besteht aus einem Detektor (z.B. einem Geiger-Müller-Zählrohr), einer elektronischen Signalverarbeitung und einer Anzeigeeinheit. Einstellbare Warnschwellen für Dosisleistungsalarm und Dosisalarme gehören in der Regel zur Standardausrüstung. Die EPD erlauben eine direkte Ablesung der akkumulierten Dosis. Die kleinste Anzeige ist bei den meisten Geräten 1  $\mu\text{Sv}$ , der geeichte Bereich beginnt oft jedoch erst bei 5 – 10  $\mu\text{Sv}$ .

EPD-Systeme erlauben in Verbindung mit Dosimetrierechnern eine Zurordnung eines Dosimeters zu einer definierten Person. Die in Dosimeterlesern ausgelesenen Daten können im Rechnersystem weiterverarbeitet und in einer Datenbank gespeichert werden. Mit den Daten kann die Zugangskontrolle zu Kontrollbereichen vereinfacht werden (z.B. automatische Sperre von Drehkreuzen bei Überschreiten von Dosis-schwellen). Das Auslesen der Dosis kann über Leseeinheiten erfolgen, in die das Dosimeter gesteckt werden muss, aber auch durch Funkübertragung beim Passieren von Lesestationen.

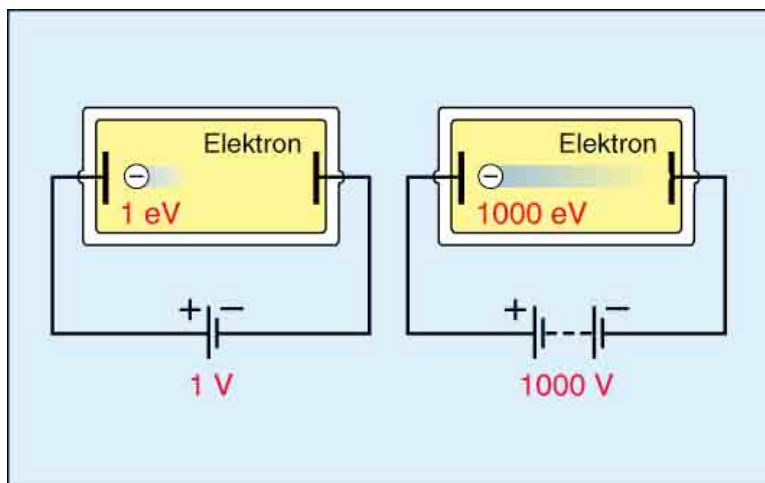
In Deutschland läuft seit einigen Jahren ein Projekt mit dem Ziel, die elektronischen Dosimeter als amtliche elektronische Dosimeter (AEPD) zuzulassen. Damit könnten die erforderlichen Dosimetriedaten aus der betrieblichen Dosimetrie ausgekoppelt und direkt vom Anwender zur amtlichen Messstelle oder zum amtlichen Dosisregister übertragen werden.

## Elektronvolt

In der Atom- und Kernphysik gebräuchliche Einheit der Energie; ein Elektronvolt (1 eV) ist die von einem Elektron oder sonstigen einfach geladenen Teilchen gewonnene kinetische Energie beim Durchlaufen einer Spannungsdifferenz von 1 Volt im Vakuum. 1 eV entspricht einer Energie von  $1,602 \cdot 10^{-19}$  J. Abgeleitete, größere Einheiten:

Kiloelektronvolt (keV) = 1.000 eV,

Megaelektronvolt (MeV) = 1.000.000 eV,  
Gigaelektronvolt (GeV) = 1.000.000 000 eV.



Veranschaulichung der Energieeinheit Elektronvolt

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Element

Chemischer Grundstoff, der sich auf chemischem Wege nicht mehr in einfachere Substanzen umwandeln lässt. Beispiele: Sauerstoff, Aluminium, Eisen, Quecksilber, Blei, Uran. Zurzeit sind 116 verschiedene Elemente bekannt. Einige der Elemente kommen nicht in der Natur vor, sie wurden künstlich erzeugt. Zu den künstlichen Elementen gehören die Elemente Technetium (Ordnungszahl  $Z = 43$ ), Promethium ( $Z = 61$ ) und die Transurane ( $Z > 92$ ). Von einigen Elementen wurden bisher nur wenige Atome hergestellt, insbesondere von den Elementen mit Ordnungszahlen ab 105. In den 40er Jahren konnte nachgewiesen werden, dass sehr geringe Spuren von Plutonium als Folge natürlicher Kernspaltungen des Urans in der Natur vorkommen (etwa 1 Plutoniumatom auf  $10^{12}$  Uranatome).

Elementname	Symbol	Ordnungszahl
Technetium	Tc	43
Promethium	Pm	61
Neptunium	Np	93
Plutonium	Pu	94
Americium	Am	95
Curium	Cm	96
Berkelium	Bk	97
Californium	Cf	98
Einsteinium	Es	99
Fermium	Fm	100
Mendelevium	Md	101
Nobelium	No	102
Lawrencium	Lw	103
Rutherfordium	Rf	104
Dubnium	Db	105
Seaborgium	Sb	106
Bohrium	Bh	107
Hassium	Hs	108
Meitnerium	Mt	109
Darmstadtium	Ds	110
Roentgenium	Rg	111
Ununbium	Uub	112
Ununtrium	Uut	113
Ununquadium	Uuq	114
Ununpentium	Uup	115
Ununhexium	Uuh	116

Liste der künstlichen Elemente

## Element, künstliches

→Element

## Elementarladung

Kleinste elektrische Ladungseinheit ( $1,6021 \cdot 10^{-19}$  Coulomb). Die elektrische Ladung tritt nur in ganzzahligen Vielfachen dieser Einheit auf. Ein Elektron besitzt eine negative, ein Proton eine positive Elementarladung.

## Elementarteilchen

Mit Elementarteilchen bezeichnet man diejenigen Teilchen, die sich nicht ohne weiteres als zusammengesetzt erkennen lassen - etwa im Gegensatz zu den Atomkernen. Innerhalb gewisser Grenzen, die durch die Erhaltungssätze gegeben sind, können sich Elementarteilchen umwandeln.

Die folgenden Tabellen enthalten die wichtigsten Daten einiger Elementarteilchen. Die Ruhemasse ist in der Tabelle in MeV angegeben. Wegen der Verknüpfung  $E=mc^2$  entspricht 1 MeV etwa  $1,8 \cdot 10^{-27}$  g

(Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf))

<b>Eigenschaften einiger Elementarteilchen (1)</b>				
Teilchenart	Ruhemasse / MeV	Mittl. Lebensdauer / s	Häufigste Zerfallsart	Häufigkeit %
<b>Photon</b> $\gamma$	0 ( $< 2 \cdot 10^{-22}$ )	stabil	stabil	
<b>Leptonen</b>				
$\nu_e$	0 ( $< 3 \cdot 10^{-6}$ )	stabil	stabil	
$\nu_\mu$	0 ( $< 0,19$ )	stabil	stabil	
$\nu_\tau$	0 ( $< 18,2$ )	stabil	stabil	
<b>e</b>	0,511	stabil ( $> 4,2 \cdot 10^{24}$ a)	stabil	
$\mu^-$	105,658	$2,197 \cdot 10^{-6}$	$e^-, \bar{\nu}_e, \nu_\mu$ $e^-, \bar{\nu}_e, \nu_\mu, \gamma$	98,6 1,4
$\tau^-$	1777,03	$2,906 \cdot 10^{-13}$	$e^-, \bar{\nu}_e, \nu_\tau$ $e^-, \bar{\nu}_\mu, \nu_\tau$	17,83 17,37

Eigenschaften von Photon und Leptonen

Eigenschaften einiger Elementarteilchen (2)				
Teilchenart	Ruhemasse / MeV	Mittl. Lebensdauer / s	Häufigste Zerfallsart	Häufigkeit %
<b>Mesonen</b>				
$\pi^0$	134,977	$8,4 \cdot 10^{-17}$	$\gamma \gamma$ $\gamma e^+ e^-$	98,8 1,2
$\pi^\pm$	139,57	$2,6 \cdot 10^{-8}$	(für $\pi^+$ ) $\nu_e \nu_\mu$ $e^+ \nu_e$ $\mu^+ \nu_\mu \gamma$	99,98 0,01 0,01
$\eta$	547,305		$\gamma \gamma$ $\pi^0 \pi^0 \pi^0$ $\pi^+ \pi^- \pi^0$ $\pi^+ \pi^- \gamma$	38,93 31,22 23,0 4,9
$K^\pm$	493,677	$1,2386 \cdot 10^{-8}$	(für $K^+$ ) $\mu^+ \nu_\mu$ $\pi^+ \pi^0$ $\pi^+ \pi^+ \pi^-$ $e^+ \nu_e \pi^0$ $\mu^+ \nu_\mu \pi^0$ $\pi^+ \pi^0 \pi^0$	63,51 21,16 5,59 4,82 3,18 1,73
$K^0$	497,672	$K_S \ 8,935 \cdot 10^{-11}$ $K_L \ 5,17 \cdot 10^{-8}$	$\pi^+ \pi^-$ $\pi^0 \pi^0$ $\pi^\pm e^\mp \nu_e$ $\pi^\pm \mu^\mp \nu_\mu$ $\pi^0 \pi^0 \pi^0$ $\pi^+ \pi^- \pi^0$ $\pi^\pm e^\mp \nu_e \mu$	68,61 31,39 38,78 27,18 21,13 12,55 0,36
$D^0$	1864,6	$0,413 \cdot 10^{-11}$		
$D_S^\pm$	1968,6	$0,496 \cdot 10^{-12}$		
$D^\pm$	1869,3	$1,051 \cdot 10^{-12}$		
$B^\pm$	5270,0	$1,653 \cdot 10^{-12}$		
$B^0$	5279,4	$1,548 \cdot 10^{-12}$		
$B_S^0$	5369,6	$1,493 \cdot 10^{-12}$		

Eigenschaften von Mesonen

<b>Eigenschaften einiger Elementarteilchen (3)</b>				
Teilchenart	Ruhemasse / MeV	Mittl. Lebensdauer / s	Häufigste Zerfallsart	Häufigkeit %
<b>Baryonen</b>				
p	938,272	stabil ( $> 1,6 \cdot 10^{25}$ a)	stabil	
n	939,565	886,7	p, $e^- \bar{\nu}_e$	100
$\Lambda^0$	1115,683	$2,632 \cdot 10^{-10}$	p, $\pi^-$ n, $\pi^0$	63,9 35,8
$\Sigma^+$	1189,37	$8,018 \cdot 10^{-11}$	p, $\pi^0$ n, $\pi^+$	51,6 48,3
$\Sigma^0$	1192,642	$7,4 \cdot 10^{-20}$	$\Lambda^0$ , $\gamma$	100
$\Sigma^-$	1197,449	$1,479 \cdot 10^{-10}$	n, $\pi^-$	99,9
$\Xi^0$	1314,83	$2,90 \cdot 10^{-10}$	$\Lambda^0$ , $\pi^0$	99,5
$\Xi^-$	1321,31	$1,639 \cdot 10^{-10}$	$\Lambda^0$ , $\pi^-$	99,9
$\Omega^-$	1672,45	$8,21 \cdot 10^{-11}$	$\Lambda^0$ , $K^-$ $\Xi^0$ , $\pi^-$ $\Xi^-$ , $\pi^0$	67,8 23,6 8,6

Eigenschaften von Baryonen

Die Vielzahl solcher "Elementarteilchen" - neben den in den Tabellen aufgeführten wurden noch über 200 weitere gefunden - führte zur "Erfindung" und schließlich zur Entdeckung der "Quarks" und in der Folge zum heutigen "Standard-Modell" elementarer Teilchen. Dieses Standard-Modell besteht aus zwölf Teilchen und ebenso vielen Antiteilchen. So besteht das Proton aus zwei "up-Quarks" und einem "down-Quark", das Neutron aus einem "up" und zwei "downs", wobei zur Erfüllung der elektrischen Ladungsbedingungen das up-Quark eine Ladung von  $-2/3$  und das down-Quark von  $+1/3$  elektrischen Elementarladungen hat.



Quarks	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom
Leptonen	<b><math>\nu_e</math></b> $e$ neutrino	<b><math>\nu_\mu</math></b> $\mu$ neutrino	<b><math>\nu_\tau</math></b> $\tau$ neutrino
	<b>e</b> electron	<b><math>\mu</math></b> muon	<b><math>\tau</math></b> tau

Standard-Modell der Elementarteilchen  
Quelle: Informationskreis Kernenergie,  
Lexikon zur Kernenergie

## Eman

Alte Maßeinheit für die Aktivitätskonzentration Rn-222-haltiger Wässer (von Emanation);

1 Eman =  $10^{-10}$  Ci/l

## Embryo

Bezeichnung für die menschliche Leibesfrucht bis zum Ende des dritten Schwangerschaftsmonats

## Emission

Die von einem Verursacher, z. B. Industrieanlage, Haushalt, Verkehr ausgehenden Ableitungen (z. B. feste, flüssige oder gasförmige Stoffe, Schall). Im Strahlenschutz ist die Ableitung radioaktiver Stoffe, in der Regel mit der Fortluft und mit dem Abwasser, relevant.

## Emissionshäufigkeit

Synonym für →[Emissionswahrscheinlichkeit](#)

## Emissionsrate

Die Emissionsrate  $F$  eines radioaktiven Stoffes ist gleich der Anzahl  $dN_e$  der Teilchen oder Photonen, die je Zeitintervall  $dt$  emittiert werden:  $F = dN_e/dt$ . Die Emissionsrate hängt bei konkurrierenden Zerfällen von der Aktivität und der Emissionswahrscheinlichkeit für den entsprechenden Zerfall ab. Im Gegensatz zur Quellstärke wird die Absorption in der Quelle bei der Emissionsrate nicht berücksichtigt.

## Emissionsüberwachung

Ableitungen radioaktiver Stoffe sind nach § 48 StrlSchV zu überwachen und nach Art und Aktivität spezifiziert der zuständigen Behörde mindestens jährlich mitzuteilen.

Die messtechnische Überwachung dient auch dem Nachweis, dass die maximal zulässigen Aktivitätsableitungen nicht überschritten werden. Die Messungen zielen in der Regel auf die Ermittlung der Aktivitätskonzentration im abgeleiteten Medium (Luft oder Wasser) und der abgeleiteten Volumina.

Bei Ableitungen mit der Fortluft kann die Messung direkt an einem Teilstrom der Fortluft erfolgen, der durch eine Messkammer geleitet wird (Durchflussmessung) oder an einem Sammelfilter, auf dem die Aktivität des Teilstroms abgeschieden wurde. Mit der Filtermessung werden niedrigere Nachweisgrenzen erreicht, die Information steht aber erst im Nachhinein zur Verfügung.

Beim Abwasser sind ebenfalls Durchflussmessungen möglich, häufig wird jedoch das Wasser vor der Ableitung in einem Behälter gesammelt, durchmischt und anhand einer repräsentativen Probe analysiert.

## Emissionsvermögen

Selten verwendete Bezeichnung für →[Emissionswahrscheinlichkeit](#)

## Emissionswahrscheinlichkeit

Wahrscheinlichkeit für die Emission eines Teilchens oder Photons einer bestimmten Art und Energie  $E$  je Zerfall. Die Emissionswahrscheinlichkeit ist 1, wenn keine konkurrierenden Zerfälle auftreten (z.B. ein reiner  $\beta$ -Zerfall in den Grundzustand des Tochternuklids)

Die Emissionswahrscheinlichkeit wird mit dem Symbol  $p_x(E)$  angegeben.  $X$  bezeichnet die emittierte Teilchenart,  $E$  die Energie in keV.

Beispiel für den Zerfall des Cs 137:  $p_\gamma(662) = 0,85$  ; bei jedem Zerfall eines Cs-137-Kerns wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 85 % ein Gammaquant der Energie 662 keV emittiert. →[Übergangswahrscheinlichkeit](#)

## Endfensterzählrohr

→[Geiger-Müller-Zählrohr](#) mit dünnem Eintrittsfenster zum Nachweis von Beta-Strahlung.

## Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben

Die Schachtanlage Bartensleben in Morsleben (Ohrekreis, Land Sachsen-Anhalt) wurde Anfang des letzten Jahrhunderts zur Salzgewinnung errichtet. Seit 1971 wurde das ehemalige Kali- und Steinsalzbergwerk als Endlager für radioaktive Abfälle der ehemaligen DDR genutzt. Alle Einlagerungsbereiche liegen in ca. 500 m Tiefe im Salzgestein.

Im ERAM wurden in der Zeit von 1971 bis 1991 und von 1994 bis 1998 schwach- und mittelaktive Abfälle mit vergleichsweise niedrigen Konzentrationen an Alpha-Strahlern eingelagert.

Sie stammen aus

- dem Betrieb von Kernkraftwerken,
- der Stilllegung von kerntechnischen Anlagen,
- der kerntechnischen Industrie,
- Forschungseinrichtungen,

- Landessammelstellen bzw. direkt von Kleinverursachern und
- dem Umgang sonstiger Anwender.

Insgesamt sind ca. 36.800 m<sup>3</sup> feste Abfälle sowie 6.617 umschlossene Strahlenquellen endgelagert. Die eingelagerten radioaktiven Abfälle sind in der Regel in standardisierten Behältern z. B. 200- bis 570-l-Fässern und zylindrischen Betonbehältern verpackt. Die umschlossenen Strahlenquellen sind nicht weiter behandelt und nicht verpackt. Die Gesamtaktivität aller eingelagerten radioaktiven Abfälle liegt in der Größenordnung von 10<sup>14</sup> Bq, die Aktivität der Alpha-Strahler liegt in der Größenordnung von 10<sup>11</sup> Bq.

Im September 1998 wurde die Einlagerung radioaktiver Abfälle aufgrund eines Gerichtsbeschlusses im Zuge eines Antrages von Umweltverbänden ausgesetzt. Mit dem Beschluss des Gerichtes wurde die Einlagerung im Ostfeld bis zu einer rechtskräftigen Entscheidung in der Hauptsache untersagt. Begründet wurde die Entscheidung damit, dass die Nutzung des Ostfeldes von der Dauerbetriebsgenehmigung vom April 1986 nicht gedeckt sei. Das BfS setzte die Annahme und Einlagerung radioaktiver Abfälle daraufhin insgesamt aus. Im Mai 1999 gab das BfS bekannt, dass die Einlagerung radioaktiver Abfälle im ERAM nicht wieder aufgenommen wird.

Am 12.04.2001 hat das BfS der Planfeststellungsbehörde mitgeteilt, dass es unwiderruflich auf die Ausnutzung derjenigen Regelungen der Dauerbetriebsgenehmigung verzichtet, die eine Annahme weiterer radioaktiver Abfälle und deren Einlagerung im ERAM gestatten.

Die Planfeststellungsbehörde entscheidet im Rahmen des atomrechtlichen Planfeststellungsverfahrens über den Antrag auf Stilllegung des ERAM. Die Stilllegung des ERAM hat so zu erfolgen, dass die Schutzziele des AtG eingehalten werden. Ein besonderes Problem stellt bei dieser Altanlage der Langzeitsicherheitsnachweis dar. Seine Grundlage ist u.a. ein Verfüll- und Verschießkonzept.

Während der Offenhaltung durchgeführte Untersuchungen im Südfeld des ERAM haben unerwartete Schädigungen in der Schweben im Bereich des Abbaus zwischen der 2. und der 3a-Sohle gezeigt. Dadurch bestand die Gefahr, dass herabfallendes Salzgestein Gebinde mit radioaktiven Abfällen beschädigen könnte mit der Folge radioaktiver Freisetzungen im Grubengebäude. Daher wurden Maßnahmen zur Verfüllung von Resthohlräumen im Südfeld eingeleitet. Seit April 2001 sind alle radioaktiven Abfälle, die in diesen Hohlräumen lagern, von wenigstens 3 m Salzgrus überdeckt.

Ende November 2001 fand ein erheblicher Firstausbruch ("Löserfall") im Zentralteil der Grube Bartensleben, ausgelöst durch die Außerbetriebnahme der Warnschießanlage, statt. Die fachliche Zusammenfassung wurde im Artikel "Firstfall im Abbau 3s der 2. Sohle Bartensleben" veröffentlicht (Internetadresse s. u).

Da offene Grubenbaue ohne stabilisierende Maßnahmen infolge des Gebirgsdruckes (Konvergenz) einem langsam andauernden Sicherheitsverzehr unterliegen und Prognosen über die gebirgsmechanischen Verhältnisse in die Zukunft mit Unsicherheiten behaftet sind, werden Teilbereiche des ERAM im Zentralteil derzeit mit einem stabilisierenden Versatz verfüllt. Mit dieser Maßnahme lässt sich der gegenwärtige Zustand der Salzbarriere erhalten und längerfristig durch die Rückbildung aufgelockerter Gebirgsbereiche verbessern.

Quelle: BfS; [http://www.bfs.de/endlager/morsleben.html/morsleben\\_artikel.html](http://www.bfs.de/endlager/morsleben.html/morsleben_artikel.html)

## Endlagerfähig

Eigenschaft von Abfällen, die mit dem Ziel der Volumenreduktion sowie Erhöhung der Auslaugbeständigkeit speziell für eine Endlagerung behandelt wurden. Endlagerfähige Abfälle genügen den Annahmebedingungen eines Endlagers.

## Endlagerung

Wartungsfreie, zeitlich unbefristete und sichere Beseitigung von radioaktivem Abfall ohne beabsichtigte Rückholbarkeit. In Deutschland wird die Lagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen als die beste Lösung angesehen. Folgende Endlager werden untersucht oder waren in Betrieb:

- Für die Schachanlage →[Konrad](#) (Salzgitter, Niedersachsen) laufen seit 1975 die Eignungsuntersuchungen und die Genehmigungsverfahren. Dort ist die Endlagerung solcher Abfälle vorgesehen, die eine vernachlässigbare thermische Einwirkung auf das umgebende Gestein haben. Die Erkundungsarbeiten für die Schachanlage Konrad sind abgeschlossen. Am 5. Juni 2002 wurde die Genehmigung zur Einlagerung eines Abfallgebinderolumens von ca. 300.000 m<sup>3</sup> von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung erteilt. Da der Antrag auf Sofortvollzug der Genehmigung im Juli 2000 vom Antragsteller, dem Bundesamt für Strahlenschutz zurückgezogen wurde, haben die vorgebrachten Klagen gegen diese Genehmigung eine aufschiebende Wirkung. Daher wird bis zu einer abschließenden gerichtlichen Entscheidung das bisherige Bergwerk nicht zu einem Endlager umgerüstet werden und keine Abfälle eingelagert werden können.
- Der Salzstock Gorleben (Niedersachsen) wird seit 1979 auf seine Eignung für die Endlagerung aller Arten fester radioaktiver Abfälle untersucht, also auch für die Endlagerung Wärme entwickelnder Abfälle. Eine endgültige Eignungsaussage für den Salzstock Gorleben wird erst nach der untertägigen Erkundung möglich sein. Die Bewertung aller bisherigen Erkundungsergebnisse bestätigt seine Eignungshöflichkeit. Die Fortführung der Erkundung ist zurzeit unterbrochen.
- Im stillgelegten ehemaligen Salzbergwerk →[Asse](#) bei Wolfenbüttel (Niedersachsen) wurden Verfahren und Techniken zur Endlagerung radioaktiver Abfälle entwickelt und erprobt und bis 1978 schwach- und mittelaktive Abfälle eingelagert.
- Die Einlagerung radioaktiver Abfälle im Endlager ERAM bei Morsleben in Sachsen-Anhalt wurde faktisch mit dem Gerichtsbescheid vom 25.09.1998 eingestellt. Am 21.5.1999 erklärte das Bundesamt für Strahlenschutz offiziell, dass keine Abfälle zur Endlagerung mehr angenommen werden. Gegenwärtig lagern im Endlager Morsleben rund 35.000 Kubikmeter schwach- und mittelaktive Abfälle. Das Bundesamt für Strahlenschutz betreibt ein Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung.

## Endlagerung, direkte

Endlagervariante für →[Brennelemente](#) ; bei der direkten Endlagerung wird das gesamte Brennelement einschließlich der Wertstoffe Uran und Plutonium nach einer Zwischenlagerung zum Zerfall der kurzlebigen Radionuklide und damit verbundener Reduzierung der zerfallsbedingten Wärmeentwicklung als radioaktiver Abfall ent-

sorgt. In einer Konditionierungsanlage werden die Brennelemente zerlegt, in spezielle endlagerfähige Gebinde verpackt und dann als radioaktiver Abfall endgelagert. In Deutschland wird dieser Entsorgungsweg seit 1979 in Ergänzung zur Entsorgung mit Wiederaufarbeitung entwickelt. Mit dem Bau einer Pilot-Konditionierungsanlage in Gorleben soll die technische Machbarkeit der Konditionierung ausgedienter Brennelemente nachgewiesen werden. Parallel dazu wurde in einem Demonstrationsprogramm die sichere Handhabung und der sichere Einschluss konditionierter Brennelemente in einem Endlager nachgewiesen. Durch die Änderung des Atomgesetzes 1994 wurden in Deutschland auch die rechtlichen Voraussetzungen für die direkte Endlagerung geschaffen. Nach der Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und den Kernkraftwerksbetreibern wurde die Entsorgung ausgedienter Brennelemente aus dem Betrieb von Kernkraftwerken ab dem 01.07.2005 auf die direkte Endlagerung beschränkt (ATG).

## Endlagerungsbedingungen

Anforderungen, die an Abfälle gestellt werden, die in ein Endlager eingelagert werden sollen; in Deutschland haben zurzeit nur die Endlagerungsbedingungen Bedeutung, die sich auf die Einlagerung in das geplante Endlager in der Schachanlage →Konrad beziehen. Diese Anforderungen an die endzulagernden radioaktiven Abfälle wurden vom Bundesamt für Strahlenschutz, dem Betreiber des Endlagers, herausgegeben (BFS95). Sie enthalten insbesondere Anforderungen an Abfallgebinde, Abfallprodukte und Abfallbehälter.

Die **Abfallgebinde** müssen drucklos angeliefert werden. Außerdem sind die Ortsdosisleistung und die Kontamination an den äußeren Flächen begrenzt:

Die Ortsdosisleistung (einschließlich des Anteils durch Neutronen) jedes Abfallgebundes ist zum Zeitpunkt der Anlieferung an das Endlager Konrad an seiner Oberfläche auf einen Mittelwert von  $2 \cdot 10^{-3}$  Sv/h und auf einen lokalen Maximalwert von  $1 \cdot 10^{-2}$  Sv/h begrenzt. In 1 m Abstand von der Oberfläche bei zylindrischen Abfallgebunden und in 2 m Abstand bei quaderförmigen Abfallgebunden darf die Ortsdosisleistung (einschließlich des Anteils durch Neutronen) nicht mehr als  $1 \cdot 10^{-4}$  Sv/h betragen.

Die über eine Fläche von  $100 \text{ cm}^2$  gemittelte, nicht festhaftende Flächenkontamination darf an keiner Stelle der Oberfläche eines Abfallgebundes die Grenzwerte von

- 0,5 Bq/cm<sup>2</sup> für Alphastrahler, für die eine Freigrenze von  $5 \cdot 10^3$  Bq festgelegt ist,
- 50 Bq/cm<sup>2</sup> für Betastrahler und Elektroneneinfangstrahler, für die eine Freigrenze von  $5 \cdot 10^6$  Bq festgelegt ist, und
- 5 Bq/cm<sup>2</sup> für sonstige Radionuklide

überschreiten.

Das **Abfallprodukt** ist der verarbeitete radioaktive Abfall ohne Verpackung. Die an das Abfallprodukt gestellten Anforderungen unterteilen sich in Grundanforderungen, die alle radioaktiven Abfälle erfüllen müssen, und weitergehende Anforderungen, die von der potenziellen Aktivitätsfreisetzung abhängen. Die Grundanforderungen verlangen zum Beispiel, dass die Abfälle in fester Form vorliegen müssen und nicht faulen oder gären dürfen.

Abfallprodukte mit gleichartigem Freisetzungsverhalten für radioaktive Stoffe werden in einer von 6 Abfallproduktgruppen (APG) zusammengefasst.

- APG 01 ( z.B. Bitumen- und Kunststoffprodukte ),
- APG 02 ( z.B. Feststoffe ),
- APG 03 ( z.B. metallische Feststoffe ),
- APG 04 ( z.B. Preßlinge ),
- APG 05 ( z.B. zementierte/betonierte Abfälle ),
- APG 06 ( z.B. Konzentrate )

Diese Gruppen unterscheiden sich in den Anforderungen, die aus sicherheitstechnischer Sicht an die Qualität eines Abfallproduktes gestellt werden. Die Abfälle der APG 01 müssen z.B. nur die Grundanforderungen erfüllen, während bei einer Zuordnung eines Abfallproduktes zur APG 02 über die Grundanforderungen hinaus gewährleistet sein muss, daß brennbare Abfallstoffe mit einem Schmelzpunkt kleiner 300°C so verarbeitet sind, dass sie nicht aus dem Abfallprodukt austreten, wenn sie bei thermischer Belastung flüssig werden oder einen Anteil von nicht mehr als 1% an der Aktivität im betreffenden Abfallprodukt aufweisen.

Die **Abfallbehälter** können zwei Abfallbehälterklassen (ABK) zugeordnet werden. Beide Abfallbehälterklassen unterscheiden sich in den Anforderungen, die aus sicherheitstechnischer Sicht an die Qualität einer Verpackung gestellt werden. Die Kombination aus Abfallbehälterklasse und Abfallproduktgruppe ist maßgeblich für das zulässige Aktivitätsinventar eines Abfallgebindes.

Die zulässigen Aktivitäten von Radionukliden und Radionuklidgruppen (nicht spezifizierte Alpha und Beta/Gammastrahler) pro Abfallgebinde resultieren aus den Sicherheitsanalysen für die Betriebs- und Nachbetriebsphase des Endlagers Konrad. Die auf diese Weise abgeleiteten Aktivitätsbegrenzungen können z.T. weit über den tatsächlich vorhandenen oder zukünftig anfallenden Aktivitäten liegen. In den Endlagerungsbedingungen sind die einzuhaltenden Aktivitäten für Radionuklide und Radionuklidgruppen pro Abfallgebinde in tabellarischer Form getrennt nach

- dem bestimmungsgemäßen Betrieb,
  - den unterstellten Störfällen,
  - der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins und
  - der Kritikalitätssicherheit
- angegeben.

## Endoplasmatisches Retikulum

Teil einer Zelle; das endoplasmatische Retikulum (übersetzt: im Plasma befindliches Netzwerk) besteht aus einem ausgedehnten, aus Membranen bestehenden Flächen- und Schlauchsystem, welches den größten Teil des Zellraumes durchzieht. Darin findet hauptsächlich die Produktion, zum Teil auch der Transport der für die Zellfunktion wichtigen Moleküle statt.

## Endotherme Kernreaktion

Kernreaktion mit einer Energietönung  $E < 0$ ; →Kernreaktion



## Energie

Fähigkeit, Arbeit zu verrichten oder Wärme abzugeben. Die Einheit der Energie ist das Joule (J).

## Energie-Auflösungsvermögen

Begriff aus der Spektrometrie; das Energie-Auflösungsvermögen einer Messeinrichtung (bestehend aus Detektor und Auswertelektronik) hängt selbst von der Energie ab und lässt sich aus den Peaks im Spektrum ermitteln. Es ist definiert als der Quotient aus der Halbwertsbreite (gemessen in Kanälen) und der Impulslage (= Kanallage des Peakmaximums). Die Angabe erfolgt in der Regel in Prozent. Beispiel: Halbwertsbreite der Linie: 20 Kanäle; Kanallage des Peakmaximums: 2000 → Energie-Auflösungsvermögen =  $20/2000 = 1/100$ , das entspricht 1 %.

## Energieabsorptionskoeffizient

Der Energieabsorptionskoeffizient  $\mu_{en}$  eines Stoffes für monoenergetische Photonenstrahlung der Energie  $E$  ist über den →[Energieumwandlungskoeffizient](#)  $\mu_{tr}$  definiert. Er berücksichtigt nur den Anteil an kinetischer Energie der erzeugten, geladenen Teilchen, der nicht in Bremsstrahlung umgesetzt wird und somit durch Sekundärionisation Schäden anrichten kann. Wenn  $g$  der relative Anteil der Energie der geladenen Teilchen ist, der im Material in Bremsstrahlung umgesetzt wird, so ist  $\mu_{en}$  definiert als  $\mu_{en} = \mu_{tr} (1 - g)$ .

s. DIN 6814 Teil 2 , →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)

## Energiedosis

Die Energiedosis  $D$  ist die durch ionisierende Strahlung auf die Materie in einem Volumenelement der Masse  $dm$  übertragene mittlere Energie  $d\varepsilon$  geteilt durch die Masse des Volumenelements:

$$D = \frac{d\varepsilon}{dm}$$

Die Einheit der Energiedosis ist Joule durch Kilogramm ( $J \cdot kg^{-1}$ ), ihr besonderer Einheitenname ist →[Gray](#) (Zeichen: Gy). Früher war die Maßeinheit rad (Zeichen: rd) gebräuchlich. Es gilt die Umrechnung  $1 Gy = 100 rd$ .

Da die Art der Energieabgabe vom bestrahlten Material abhängt, ist für die Bewertung der Strahlenwirkung eine Angabe der Energiedosis nur im Zusammenhang mit dem bestrahlten Material sinnvoll. Im praktischen Strahlenschutz wird die Energiedosis häufig auf das ICRU-Weichteilgewebe bezogen. Die Zusammensetzung entspricht etwa dem menschlichen Muskelgewebe.

## Energiedosisleistung

Quotient aus der Energiedosis in einer Zeitspanne und dieser Zeit. Einheit: Gy/h.

## Energieeinheiten

Die Maßeinheit der Energie ist das Joule, Kurzzeichen: J. Die früher gebräuchliche Einheit Kilokalorie (kcal) wurde bei der Einführung des internationalen Einheitensys-



tems ab 01.01.1978 durch die Einheit Joule ersetzt. Im Bereich der Kernphysik werden Energiewerte überwiegend in →Elektronvolt (eV) angegeben.  $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ . Weithin verbreitet ist die Angabe von Energiewerten in Kilowattstunden (kWh).  $1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$ . Orientiert am Energieinhalt der Kohle ist in der Energieversorgung auch die Steinkohleneinheit (SKE) gebräuchlich: 1 SKE entspricht 1 Tonne Steinkohle mit einem Heizwert von 29,3 Milliarden Joule = 7 Millionen kcal.

## Energiefluenz

Begriff zur Beschreibung eines Strahlungsfeldes; die Energiefluenz  $\Psi$  ist das Integral der →Energieflussdichte  $\phi$  über ein Zeitintervall. Damit ist die Energiefluenz die Summe aller Teilchenenergien  $dE$ , die in dem betrachteten Zeitintervall in ein kugelförmiges Volumenelement der Querschnittsfläche  $dA$  eingetreten ist:

$$\Psi = \int \phi dt = \frac{dE}{dA} = \frac{dR}{dA}$$

Die Summe aller Teilchenenergien, die in das Volumenelement eindringen, wird auch als →Strahlungsenergie  $R$  bezeichnet.

Die Maßeinheit der Energiefluenz ist  $\text{J} / \text{cm}^2$ .

## Energiefluenz, spektrale

Begriff zur Beschreibung eines Strahlungsfeldes; unter spektraler Energiefluenz  $\Psi_E$  versteht man die Verteilung der Energiefluenz auf die Energie der Teilchen:

$$\Psi_E = \frac{d\Psi(E)}{dE}$$

$d\Psi(E) \cdot dE$  ist damit die Energiefluenz aller Teilchen, deren Energie im Intervall zwischen  $E$  und  $E+dE$  liegt.

Die spektrale Energiefluenz ist selbst auch energieabhängig. Damit ergibt sich die Energiefluenz auch aus dem Integral der spektralen Energiefluenz über alle Teilchenenergien:

$$\Psi = \int d\Psi_E(E) \cdot dE$$

## Energiefluss

Begriff zur Beschreibung eines Strahlungsfeldes; der Energiefluss  $\Phi$  in einem Volumenelement ist definiert als die Änderung  $dE$  der Summe aller Teilchenenergien der Strahlung (oder der Änderung  $dR$  der →Strahlungsenergie) mit der Zeit:

$$\Phi = \frac{dE}{dt} = \frac{dR}{dt}$$

Die Einheit des Energieflusses ist  $\text{J/s}$ .

## Energieflussdichte

Begriff zur Beschreibung eines Strahlungsfeldes; die Energieflussdichte  $\varphi$  ist ein Maß für die Summe  $dE$  aller Energien der Teilchen, die je Zeiteinheit in ein kugelförmiges Volumenelement der Querschnittsfläche  $dA$  eindringen:

$$\varphi = \frac{d^2 E}{dt \cdot dA} = \frac{d^2 R}{dt \cdot dA}$$

Die Summe aller Teilchenenergien, die in das Volumenelement eindringen, wird auch als →**Strahlungsenergie**  $R$  bezeichnet. Die Maßeinheit der Energieflussdichte ist  $J/cm^2 \cdot s$ .

## Energieflussdichte, spektrale

Begriff zur Beschreibung eines Strahlungsfeldes; die spektrale Energieflussdichte  $\varphi_E$  beschreibt die Verteilung der Energieflussdichte  $\varphi$  auf die Energie  $E$  der Teilchen.

$$\varphi_E = \frac{d\varphi(E)}{dE}$$

Die spektrale Energieflussdichte ist selbst auch energieabhängig. Damit ergibt sich die Energieflussdichte  $\varphi$  auch aus dem Integral der spektralen Energieflussdichte über alle Teilchenenergien:

$$\varphi = \int d\varphi_E(E) dE$$

## Energieradianz

Begriff zur Beschreibung eines Strahlungsfeldes; die Energieradianz  $\varphi_\Omega$  beschreibt die Richtungsabhängigkeit der Energieflussdichte, d.h. ihre Abhängigkeit vom Raumwinkel  $\Omega$ , der durch die Winkel  $\delta$  und  $\alpha$  aufgespannt werden soll. Die Energieradianz ist definiert durch die Änderung der winkelabhängigen Energieflussdichte  $d\varphi$  mit dem Raumwinkel  $d\Omega$ :

$$\varphi_\Omega = \frac{d\varphi(\delta, \alpha)}{d\Omega}$$

Die Energieradianz ist selbst winkelabhängig. Die Energieflussdichte ergibt sich somit auch als Integral der richtungsabhängigen Energieradianz über den gesamten Raumwinkel  $4\pi$ .

$$\varphi = \int d\varphi_\Omega(\delta, \alpha) d\Omega$$

## Energieradianz, spektrale

Begriff zur Beschreibung eines Strahlungsfeldes; die spektrale Energieradianz  $\varphi_{\Omega,E}$  beschreibt die Verteilung der Energieradianz  $\varphi_\Omega$  auf die Energie  $E$  der Teilchen:

$$\varphi_{\Omega,E} = \frac{d\varphi_\Omega(E)}{dE}$$

Dabei ist  $d\varphi_{\Omega}(E)$  die Energieradianz aller Teilchen, die im Energieintervall zwischen  $E$  und  $E+dE$  liegen.

Die spektrale Energieradianz ist selbst auch energieabhängig. Damit ergibt sich die Energieradianz  $\varphi_{\Omega}$  auch aus dem Integral der spektralen Energieradianz über alle Teilchenenergien:

$$\varphi_{\Omega} = \int d\varphi_{\Omega,E}(E)dE$$

## Energiespektrum

Auftrag der Häufigkeit emittierter Strahlungsteilchen oder Quanten gegen ihre Energie. Die Energiespektren von Alphateilchen und Gammastrahlung sind diskret. Betastrahlung hat ein kontinuierliches Spektrum. Röntgenstrahlung zeigt eine Mischung aus kontinuierlichem Spektrum ( $\rightarrow$ Bremsstrahlung) und diskretem Spektrum (charakteristische  $\rightarrow$ Röntgenstrahlung)

Das Energiespektrum ist ein ideales Spektrum, welches bei der idealen praktischen Messung nur näherungsweise erhalten wird. Dort wird primär ein Impulshöhenspektrum erzeugt, das durch die Eigenschaften des Detektors und der signalverarbeitenden Elektronik beeinflusst wird. In extremen Fällen wird ein auswertbares Energiespektrum erst nach aufwändiger Entfaltung des Impulshöhenspektrums erhalten. ( $\rightarrow$ Spektrometrie)

## Energieumwandlungskoeffizient

Der Energieumwandlungskoeffizient  $\mu_{tr}$  eines Stoffes für Photonenstrahlung mit monoenergetischen Photonen der Energie  $E$  ist definiert durch:

$$\mu_{tr} = \frac{dE_{kin}}{ds \cdot E_{kin}}$$

$E_{kin}$  ist die Summe der kinetischen Energien der Photonen, die senkrecht auf eine Schicht der Dicke  $ds$  des Stoffes auftreffen.  $dE_{kin}$  ist die Summe der Anfangsenergien aller geladenen Teilchen, die innerhalb der Schichtdicke  $ds$  von den Photonen erzeugt werden. Der Energieumwandlungskoeffizient setzt sich additiv aus den Koeffizienten für den  $\rightarrow$ Photoeffekt, den  $\rightarrow$ Compton-Effekt und die  $\rightarrow$ Paarbildung zusammen. Der Energieumwandlungskoeffizient beschreibt den Anteil der Energie, der als Bewegungsenergie erzeugter geladener Teilchen in die Materieschicht eingebracht wird und damit zur Schadenserzeugung beitragen kann.

Für Neutronenstrahlung ist der Energieumwandlungskoeffizient durch die Wirkungsquerschnittsdichten  $\Sigma_i$  aller Reaktionsarten  $i$  bestimmt, bei denen geladene Teilchen erzeugt werden. Wenn  $\bar{E}_i$  die mittlere kinetische Energie der bei der Reaktion  $i$  erzeugten geladenen Teilchen ist und  $E_n$  die Neutronenenergie, so ist der Energieumwandlungskoeffizient für die Neutronenstrahlung definiert durch:

$$\mu_{tr,n} = (\Sigma_1 \cdot \bar{E}_1 + \Sigma_2 \cdot \bar{E}_2 + \Sigma_3 \cdot \bar{E}_3 + \dots) / E_n$$

## ENETRAP

Abk. für **E**uropean **N**etwork on **E**ducation and **T**raining in **R**adiological **P**rotection; europäisches Netzwerk, das es sich zur Aufgabe gemacht hat, in Europa qualitativ hohe Standards für die Ausbildung und das Training von Strahlenschutzfachleuten zu entwickeln.

## Enges Strahlenfeld

Spezieller Begriff aus der Bestrahlungstechnik; ein enges Strahlenfeld wird zur Messung des Durchgangs von Strahlung durch Materie benötigt. Dabei fällt eine annähernd paralleles Strahlenfeld kleinen Durchmessers parallel zur Flächennormalen auf die Materieschicht auf. Auf der Austrittsseite detektiert ein Detektor nur die Strahlung, die annähernd parallel zur Flächennormalen austritt, d.h. den ungestreuten Anteil der Strahlung. Die Raumwinkel für einfallende Strahlung und Detektor sowie die Querschnittsfläche des einfallenden Strahlenfeldes werden in der Praxis so klein gewählt, dass eine weitere Verkleinerung keine signifikante Auswirkung auf das Messergebnis hat. Dies kann z.B durch eine geeignete Wahl der Abstände zwischen Strahlenquelle und Materieschicht bzw. zwischen Materieschicht und Detektor erreicht werden.

## Engineered Storage

Englische Fachbezeichnung für eine bestimmte Art der Lagerung, z. B. bei Abfällen; das zu lagernde Material bleibt zugänglich, zu einem späteren Zeitpunkt kann eine weitergehende Behandlung oder die Verbringung in ein Endlager erfolgen.

## ENS

Abk. für **E**uropean **N**uclear **S**ociety.

## ENSI

Abk. für **E**idgenössisches **N**uklearsicherheitsinspektorat; Aufsichtsbehörde des Bundes für die nukleare Sicherheit der Kernanlagen in der Schweiz

## Entfaltung

Begriff aus der [→Spektrometrie](#); bei der Spektrometrie monoenergetischer Strahlungsteilchen werden aufgrund der Eigenschaften des Detektorsystems nicht Impulse gleicher Höhe erzeugt, sondern abhängig vom Detektorsystem mehr oder weniger breite Impulshöhenverteilungen. Enthält das Strahlungsfeld verschiedene Gruppen von Strahlungsteilchen mit unterschiedlicher Energie, so überlagern sich im Impulshöhenspektrum die einzelnen, zu den Energien gehörenden Impulshöhenverteilungen, so dass aus dem resultierenden Spektrum die gewünschte Energieverteilung der Strahlungsteilchen nicht direkt abgelesen werden kann. Dazu müssen die Einflüsse des Detektorsystems rechnerisch rückgängig gemacht werden. Diesen Prozess nennt man Entfaltung. Um die Entfaltung durchführen zu können, müssen die energieabhängigen Reaktionsfunktionen des Detektorsystems bekannt sein. Der Begriff Entfaltung wird auch verwendet, wenn in einem Spektrum mit hoher Energieauflösung zwei eng benachbarte, sich überlagernde Peaks getrennt werden.

## Entsorgung

Mit Entsorgung bezeichnet man im Zusammenhang mit radioaktiven Stoffen den gesamten Bereich der Abfall- und Reststoffbehandlung. Darin sind alle Maßnahmen von der Sammlung und Erfassung über die Vorbehandlung, messtechnische Kontrolle und Konditionierung sowie die Zwischen- und Endlagerung enthalten. Als Entsorgungswege sind nach dem Atomgesetz die Wiederverwendung und Verwertung, die Beseitigung als radioaktiver Abfall sowie die Freigabe gleichrangige Alternativen. In der Praxis wird oft eine Wertung eingeführt, die zu der Abstufung „Wiederverwendung (als radioaktiver Stoff) – Verwertung (unter Strahlenschutzaufsicht) – Freigabe – Beseitigung als radioaktiver Abfall“ führt.

Für die ordnungsgemäße Entsorgung radioaktiver Abfälle und Reststoffe ist der Erzeuger dieser Stoffe verantwortlich. Er muss rechtzeitig Vorsorgemaßnahmen treffen (→[Entsorgungsvorsorge](#)). Die Entsorgungsvorsorge sowie die Entsorgungsmaßnahmen selbst können von der zuständigen Behörde geprüft werden. Im kerntechnischen Bereich ist dies grundsätzlich der Fall.

## Entsorgungsvorsorge

- a) Seit 1974 geltender gesetzlicher Zwang zur Vorsorge für die Entsorgung der Kernreaktoren von abgebrannten Brennelementen nach dem Verursacherprinzip durch den Betreiber eines Kernkraftwerkes.
- b) Generelle Vorsorge für die Entsorgung gemäß den Anforderungen der §§ 72 ff StrlSchV.

## EPCARD

Vom Luftfahrt-Bundesamt zugelassenes Computerprogramm, welches die Berechnung der effektiven Dosis für Flugpersonal erlaubt. (siehe auch →[FREE](#), →[PCAIRE](#))

## EPD

Abk. für →[Elektronisches Personendosimeter](#)

## EPR

Abk. für **E**uropean **P**ressurized **R**eactor (europäischer Druckwasserreaktor). Der EPR wurde im Auftrag von Stromversorgungsunternehmen in Deutschland und Frankreich entwickelt. Er zeichnet sich durch eine weiter verbesserte Sicherheit und Wirtschaftlichkeit aus. Gegenüber den bestehenden Druckwasserreaktor-Linien beider Länder ist der EPR darauf ausgelegt, selbst extrem unwahrscheinliche schwere Störfälle mit Kernschmelzen so zu beherrschen, dass die radiologischen Auswirkungen in der Umgebung der Anlage so begrenzt bleiben, dass eine Evakuierung der Bevölkerung nicht erforderlich ist und eine dauerhafte Beeinträchtigung der Landwirtschaft in der Umgebung nicht eintritt. Der EPR ist auf eine elektrische Leistung von 1.525 MW ausgelegt. Die erste praktische Realisierung erfolgt in Finnland. Die Strahlenschutzvorsorge für die Beschäftigten wurde verglichen mit den deutschen Konvoi-Kraftwerken etwas zurückgenommen. Inwieweit dies Auswirkungen auf die in der Anlage applizierten Strahlenexpositionen haben wird, kann erst die spätere Betriebspraxis zeigen.

## ERAM

Abk. für → [Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben](#)

### Erdbebensicherheit

Beim Bau kerntechnischer Anlagen müssen Vorsorgemaßnahmen gegen die Auswirkung von Erdbeben getroffen werden. Diese werden im Genehmigungsverfahren für die entsprechende Anlage geprüft. Die Stärke des Bebens, gegen das die Anlage auszulegen ist (Bemessungserdbeben), wird standortspezifisch festgelegt. Als Bemessungserdbeben ist das Erdbeben mit der für den Standort größten Intensität anzunehmen, das unter Berücksichtigung einer größeren Umgebung des Standorts (bis etwa 200 km vom Standort) nach wissenschaftlichen Erkenntnissen auftreten kann. Dazu sind u.a. alle historisch bekannten Erdbeben im oben angegebenen Umkreis einzubeziehen. (KTA2201.1) Für die Begrenzung der Strahlenexposition nach einem Erdbeben der Größe des Bemessungserdbebens gelten die Vorgaben des § 49 StrlSchV (50 mSv effektive Dosis)

### Erdgasgewinnung und Strahlenexposition

Bei der Erdgasförderung kommen mit dem Gas Lagerstättenwässer an die Erdoberfläche, die abhängig von der vorliegenden geologischen Formation, zum Teil hohe natürliche Anteile an radioaktiven Stoffen in Form von gelösten Salzen enthalten. Diese führen bei der Entsorgung zu Strahlenexpositionen.

In hoher Konzentration treten die radioaktiven Stoffe in den Salzablagerungen auf, die sich als Verkrustungen an den Innenwänden der Steigrohre ablagern und Dicken von 1 cm erreichen können. Die Ortsdosisleistung an den Steigrohren können mehrere  $\mu\text{Sv/h}$  erreichen und verursachen somit externe Strahlenexpositionen. Bei der Reinigung der ausgebauten Steigrohre sind zudem Strahlenexpositionen durch Inkorporation radioaktiver Stäube oder Aerosole möglich, deren Höhe von der Art der Reinigung (Trocken- oder Nassverfahren) abhängt. Bei guter Strahlenschutzplanung kann die effektive Dosis des Personals unter 1 mSv im Jahr gehalten werden.

Die Dosen, die bei der Rezyklierung von Schrotten aus der Erdgas-/Erdölindustrie anfallen, werden ebenfalls mit  $< 1$  mSv im Jahr abgeschätzt.

### Erfordernisschwelle

Begriff aus der → [Richtlinie zur physikalischen Strahlenschutzkontrolle](#); die Erfordernisschwelle bezeichnet die potentielle Inkorporationsdosis, ab der eine regelmäßige Inkorporationsüberwachung erforderlich ist. Sie beträgt 1 mSv effektive Dosis im Kalenderjahr.

### Erkennungsgrenze

Auf der Basis statistischer Verfahren festgelegter Kennwert zur Beurteilung der Nachweismöglichkeit bei Kernstrahlungsmessungen; der Zahlenwert der Erkennungsgrenze lässt für jede Messung bei vorgegebener Fehlerwahrscheinlichkeit eine Entscheidung darüber zu, ob unter den registrierten Impulsen ein Beitrag der Probe enthalten ist. Als Fehlerwahrscheinlichkeit werden in der Praxis häufig 5 % akzep-

tiert. Die Erkennungsgrenze liegt niedriger als die →**Nachweisgrenze**, welche angibt, welcher kleinste Wert bei der angegebenen Fehlerwahrscheinlichkeit noch nachgewiesen werden kann.

Lit.: VOG04, FS99, DIN25482

## **Erörterungstermin**

Die Genehmigungsbehörde hat bei Erteilung einer Genehmigung für Anlagen zur Erzeugung oder zur Bearbeitung oder Verarbeitung oder zur Spaltung von Kernbrennstoffen oder zur Aufarbeitung bestrahlter →**Kernbrennstoffe** unter den in der Atomrechtlichen Verfahrensverordnung festgelegten Bestimmungen einen Erörterungstermin durchzuführen. Die Genehmigungsbehörde hat die gegen das Vorhaben rechtzeitig erhobenen Einwendungen mit dem Antragsteller und denjenigen, die Einwendungen erhoben haben, mündlich zu erörtern. Der Erörterungstermin dient dazu, die Einwendungen zu erörtern, soweit dies für die Prüfung der Genehmigungsveraussetzungen von Bedeutung sein kann. Er soll denjenigen, die Einwendungen erhoben haben, Gelegenheit geben, ihre Einwendungen zu erläutern. Der Erörterungstermin ist nicht öffentlich.

## **ERR**

Abk. für **excess relative risk** (zusätzliches relatives Risiko); ERR ist eine Größe, die als Ergebnis epidemiologischer Studien die Wirkung ionisierender Strahlen beschreibt. Das zusätzliche relative Risiko ist der Prozentsatz, um den sich ein ohnehin vorhandenes Risiko erhöht. Beispiel: Das natürliche Risiko für eine Krebsart betrage 25 % und das zusätzliche relative Risiko infolge einer Noxe (z.B. radioaktive Strahlung) 1 %. Dann beträgt das Gesamtrisiko  $25 \% + 0,25 \% (=1\% \text{ von } 25 \%) = 25,25 \%$ .

## **Erzeugnisse, radioaktive**

Radioaktive Erzeugnisse und Abfälle sind nach Anlage 1 AtG radioaktive Materialien, die dadurch hergestellt oder radioaktiv gemacht werden, dass sie einer mit dem Vorgang der Herstellung oder Verwendung von Kernbrennstoffen verbundenen Bestrahlung ausgesetzt werden, ausgenommen

- Kernbrennstoffe
- Radioisotope außerhalb einer Kernanlage, die das Endstadium der Herstellung erreicht haben, so dass sie für industrielle, kommerzielle, landwirtschaftliche, medizinische, wissenschaftliche Zwecke oder zum Zweck der Ausbildung verwendet werden können.

## **Erzeugungsspannung**

Begriff aus der radiologischen Technik mit Bezug auf die Erzeugung von Photonenstrahlung; sie kann sich auf Röntgenröhren oder Elektronenbeschleuniger beziehen. Bei Röntgenröhren ist die Erzeugungsspannung die Scheitelspannung der Röntgenröhre. Bezogen auf Elektronenbeschleuniger ist die Erzeugungsspannung ein fiktiver Wert: es ist die Spannung, mit der Elektronen in einem konstanten elektrischen Feld beschleunigt werden müssten, um Röntgenstrahlung mit der gleichen Grenzenergie



zu erzeugen, wie sie die vorliegende Strahlung besitzt (DIN 6814-2, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## **Escape-Peak**

Begriff aus der Spektrometrie von Photonen; der Escape-Peak liegt energetisch niedriger als der Peak, der die vollständige Photonenenergie repräsentiert. Er tritt dann auf, wenn Photonen Energie als Anregungsenergie an das Detektormaterial abgeben und die bei der anschließenden Abregung emittierte Fluoreszenzstrahlung den Detektor verlässt, ohne zur Signalbildung beizutragen (escape = entkommen).

## **ESH**

Abk. für Elektronenstrahl-Härtung; bei diesem Verfahren werden Kunststoffe mit Elektronen beschossen, wodurch sich deren Eigenschaften verändern. In diesem Fall werden sie härter. Das Verfahren wird z.B. industriell zur Härtung von Lacken verwendet. Dabei werden lackierte Werkstücke von einem Elektronenstrahl abgescannt.

## **ESK**

Abk. für Entsorgungskommission; die ESK ist ein unabhängiges wissenschaftliches Beratungsgremium, das den Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) in Fragen der nuklearen Entsorgung berät. Die ESK wurde 2008 beim BMU gebildet und hat am 30.6.2008 ihre konstituierende Sitzung durchgeführt. Die Beratungsaufträge erhält die ESK in der Regel vom BMU, sie kann aber auch von sich aus Themen zu nuklearen Entsorgung aufgreifen. Schwerpunkte ihrer Arbeit sind die Konditionierung, Zwischenlagerung und der Transport radioaktiver Stoffe und Abfälle, die Stilllegung und der Rückbau kerntechnischer Einrichtungen und die Endlagerung in tiefen geologischen Formationen.

Zur Information siehe auch: [www.entsorgungskommission.de](http://www.entsorgungskommission.de)

## **Euratom-Grundnormen**

Kurzbezeichnung für die Richtlinie des Rates der Europäischen Union vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen; veröffentlicht im Amtsblatt der EG Nr. L 159 vom 29. Juni 1996. Die Grundnormen vom 13. Mai 1996 orientieren sich an den in der ICRP-Veröffentlichung 60 enthaltenen wissenschaftlichen Erkenntnissen im Bereich des Strahlenschutzes. Die Mitgliedstaaten der EU sind verpflichtet, die erforderlichen innerstaatlichen Rechts- und Verwaltungsvorschriften zur Umsetzung der Euratom-Grundnormen zu erlassen.

## **Eurochemic**

Wiederaufarbeitungsanlage bei Mol/Belgien; großtechnische Versuchsanlage, die 1957 von den OECD-Staaten errichtet wurde. Betrieb von 1968 bis 1979 zur Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente von Materialprüfreaktoren.

## **Europäischer Druckwasserreaktor**

→[EPR](#)

## Europäisches Komitee für Normung (CEN)

Das Europäische Komitee für Normung (**Abk.** CEN für *Comité Européen de Normalisation*) ist eine private Organisation, die sich die Aufgabe gestellt hat, die Europäische Wirtschaft im globalen Handel zu fördern, das Wohlbefinden der Bürger zu gewährleisten und den Umweltschutz voranzutreiben. Dies soll mit Hilfe von europaweit kohärenten Normen (EN-Normen) und Spezifikationen gefördert werden, die allen interessierten Kreisen zugänglich sind. Dazu gehören auch Normen zum Strahlenschutz. Einige der Normen wurden vom →**DIN** als DIN EN-Normen übernommen und herausgegeben.

## EUTERP

Abk. für **EU**ropean platform on **T**raining and **E**ducation in **R**adiation **P**rotection; diese europäische Strahlenschutz-Plattform hat sich das Ziel gesetzt, die Ausbildung und das Training im beruflichen Strahlenschutz zu verbessern. Sie arbeitet auf der Ebenen der europäischen Union (EU) und agiert dort als beratendes Gremium für die europäische Kommission, u.a. im Rahmen der Fortschreibung der grundlegenden Strahlenschutz-Standards (Basic Safety Standards).

## eV

Kurzzeichen für →**Elektronvolt**

## EVA

→**Einwirkung von außen**

## Evakuierungspläne

Katastrophenschutzpläne für die Umgebung von Kernkraftwerken und großen kerntechnischen Anlagen enthalten entsprechend den Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen auch Pläne für die Evakuierung der Bevölkerung für den Fall katastrophaler Unfälle in oder an der Anlage. Dabei sind Maßnahmen zur Evakuierung nur der extreme Grenzfall einer Vielzahl der in den Katastrophenschutzplänen vorgesehenen Schutzmaßnahmen.

## Exhalation

Fachbegriff für das Ausgasen von Materialien; im Strahlenschutz ist die Exhalation von radioaktiven Gasen von Bedeutung. Für breite Bevölkerungsschichten ist hier die Exhalation des radioaktiven Edelgases Radon aus dem Boden relevant. Je nach Gehalt des Bodens an natürlicher Aktivität und seiner Durchlässigkeit können sogar Sanierungsmaßnahmen angeraten sein.

## Exkretion

Ausscheidung; im Strahlenschutz ist Exkretion die Ausscheidung inkorporierter radioaktiver Stoffe aus dem Körper durch Urin oder Stuhl.

## Exkretionsfunktion

Die Exkretionsfunktion beschreibt das zeitliche Verhalten der Ausscheidung inkorporierter radioaktiver Stoffe aus dem Körper. Sie bezieht sich immer auf eine bestimmte chemische Verbindung des radioaktiven Stoffes, da das Ausscheidungsverhalten von der chemischen Form des radioaktiven Stoffes abhängt. →[Retention](#)

## Exoelektronen-Dosimeter

Exoelektronen-Dosimeter basieren auf der dosisabhängigen Emission von Exoelektronen durch das Detektormaterial. Funktionsprinzip: Im Bändermodell werden durch die ionisierende Strahlung Elektronen aus dem Valenzband des Detektormaterials in das Leitungsband angehoben und fallen von dort auf energetisch tiefer liegende quasi-stabile Akzeptorniveaus zurück, die dicht unter dem Leitungsband angeordnet sind. Wird das Detektormaterial nach der Bestrahlung thermisch behandelt (erhitzt), können Elektronen von den Akzeptorniveaus direkt aus dem Material als Exoelektronen freigesetzt und gemessen werden. Die Anzahl der freigesetzten Elektronen ist ein Maß für die Dosis. Man spricht bei diesem Verfahren auch von thermisch stimulierter Exoelektronenemission (engl.: Thermal Stimulated Exoelectron Emission – TSEE)

## Exotherme Kernreaktion

Kernreaktion mit der Energiefreisetzung  $E > 0$ ; →[Kernreaktion](#)

## Experimentierkanal

Öffnung in einer Abschirmung eines Versuchsreaktors, durch die Strahlung zu Versuchen außerhalb des Reaktors austreten kann; Experimentierkanäle sind bei Forschungsreaktoren fest eingerichtet.

## Expositionsbedingungen

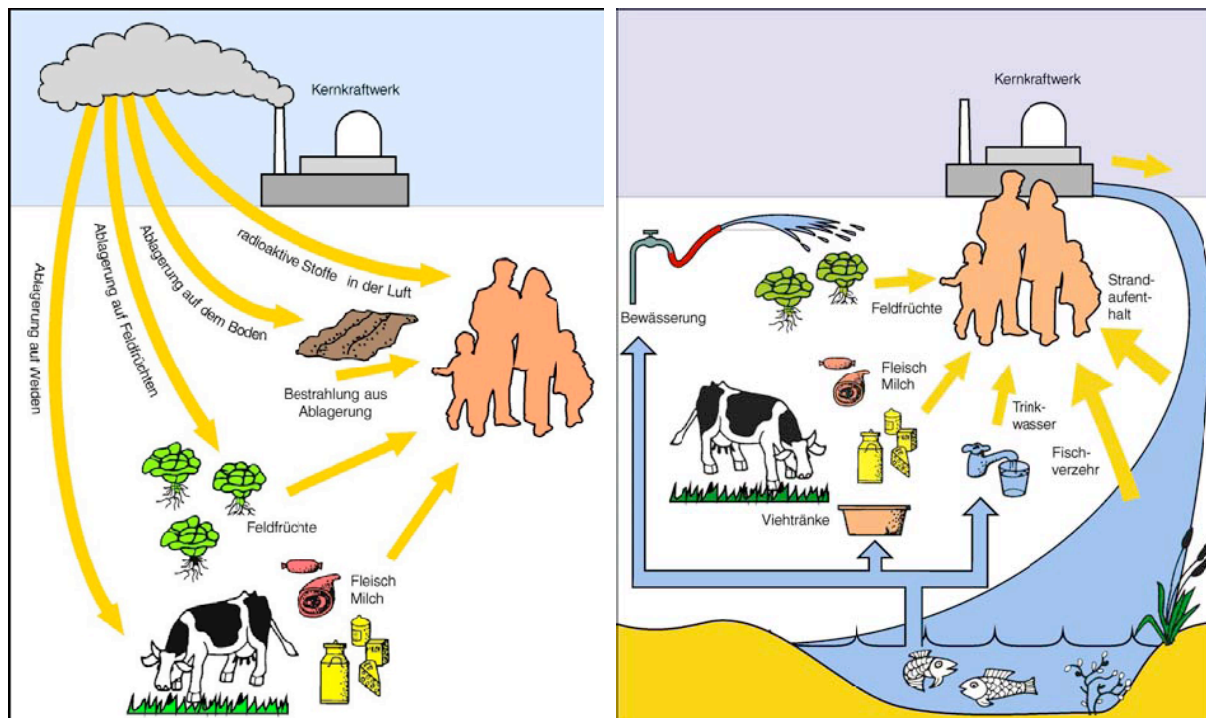
Randbedingungen, unter denen eine Strahlenexposition erfolgt oder erfolgt ist; die Expositionsbedingungen sind insbesondere bei der Ermittlung von Körperdosen durch Inkorporation radioaktiver Stoffe von Bedeutung. In diesem Fall wird unter ihnen die Gesamtheit aller Einflussgrößen bei der Aktivitätszufuhr in den Körper verstanden, z.B. Zeitpunkt oder Verlauf der Aktivitätszufuhr (einmalig, chronisch), Art der Aktivitätszufuhr (→[Inhalation](#), →[Ingestion](#), Eintritt über Wunden, Resorption durch die Haut), Zuordnung zu einer →[Absorptionsklasse](#) oder der →[AMAD](#)

## Expositionspfad

Weg der radioaktiven Stoffe von der Ableitung aus einer Anlage oder Einrichtung über einen Ausbreitungs- oder Transportvorgang bis zu einer Strahlenexposition des Menschen (Def. § 3 Abs.2 Nr.13 StrlSchV); man unterscheidet Expositionspfade nach der Ableitung mit der Luft und mit dem Wasser. Die zu berücksichtigenden Expositionspfade bei der Ermittlung der Strahlenexposition aufgrund der Ableitungen sind in Anlage VII Teil A StrlSchV vorgegeben. Dazu gehören z.B.

- die Exposition durch Betastrahlung innerhalb der Abluftfahne,
- die Exposition durch Gammastrahlung aus der Abluftfahne,
- die Exposition durch Aufenthalt auf Sediment und

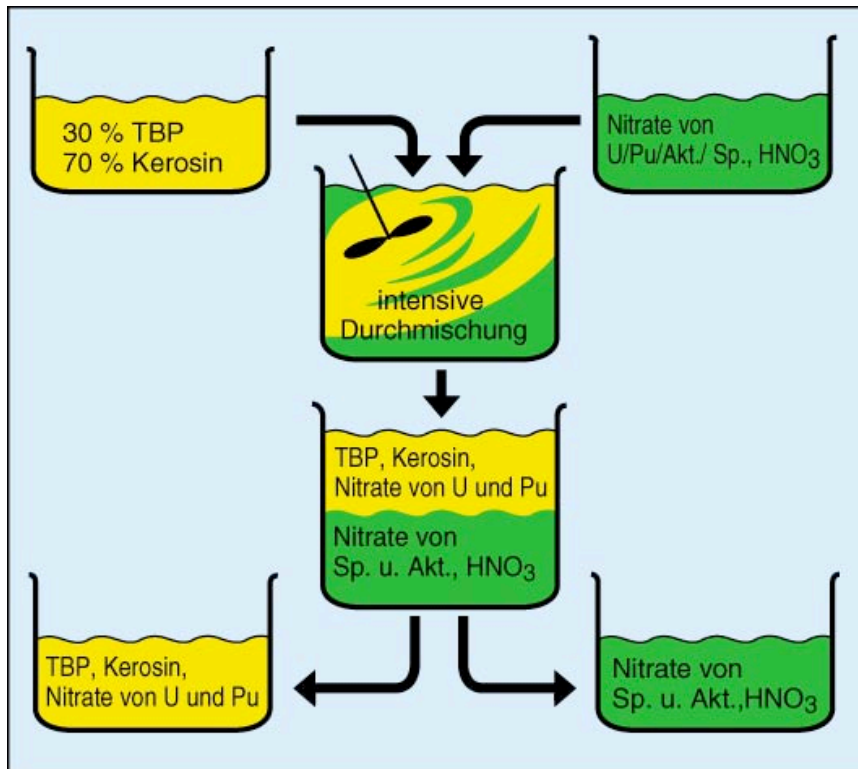
- die Exposition durch Aufnahmen radioaktiver Stoffe mit der Nahrung.



Beispiele für Expositionspfade nach Ableitungen über Luft (links) und Wasser (rechts)

## Extraktion

Verfahrensprinzip zur Abtrennung der Spaltprodukte von den Brennstoffen Uran und Plutonium nach dem →PUREX-Verfahren. Die wässrige Lösung aus Brennstoff und Spaltprodukten wird in innigen Kontakt mit einer nicht mischbaren organischen Lösung gebracht. Das organische Lösungsmittel besteht beim PUREX-Prozess aus einem Gemisch von Tributylphosphat (TBP) und Kerosin. Bei der Extraktion im PUREX-Prozess macht man von der Tatsache Gebrauch, dass sich die in der wässrigen Lösung befindlichen Stoffe Uranylнитrat und Plutoniumnitrat im Gemisch aus TBP und Kerosin gut lösen, wogegen die Spaltprodukte in dieser organischen Phase praktisch unlöslich sind. Die Trennung erfolgt in Extraktoren. Das sind Apparate, in denen die beiden Phasen im Gegenstrom aufeinander zugeführt, intensiv gemischt und in Absetzkammern wieder getrennt werden.



Prinzip der Extraktion

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie

[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Extraktor

Extraktionseinrichtung, z. B. Mischabsetzer, Pulskolonne, in der eine mehrstufige Extraktion erfolgt.

# F

## **Fachkunderichtlinie Technik nach Röntgenverordnung**

Die Richtlinie regelt die Anforderungen an die Fachkunde und den Nachweis der Kenntnisse im Strahlenschutz bei der Erzeugung von Röntgenstrahlen im Zusammenhang mit dem Betrieb von Röntgeneinrichtungen zur technischen Anwendung und von genehmigungsbedürftigen Störstrahlern. Unter technischer Anwendung wird hier die geschäftsmäßige Prüfung, die Erprobung, Wartung und Instandsetzung von Röntgeneinrichtungen verstanden.

Die Richtlinie legt den Kreis der Betroffenen fest, die eine Fachkunde benötigen, sie regelt den Umfang der erforderlichen Fachkunde und enthält Vorgaben zu deren Erwerb, Aktualisierung und Bescheinigung sowie zur Anerkennung von Fachkunderkursen.

Quelle: BMU03a

## **Fachkunderichtlinie Technik nach Strahlenschutzverordnung**

Diese Richtlinie regelt den Umfang und den Nachweis der für den Strahlenschutz erforderlichen Fachkunde nach § 30 StrlSchV. Sie enthält zudem die Anforderungen für die Anerkennung von Kursen zum Erwerb der Fachkunde und von Fortbildungsmaßnahmen zur Aktualisierung der Fachkunde.

Sie gilt nicht für die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz im Zusammenhang mit der Ausübung der Heilkunde am Menschen (→[Richtlinie Fachkunde Röntgenverordnung Medizin](#)), der Ausübung der Tierheilkunde (→[Richtlinie Strahlenschutz in der Tierheilkunde](#)) und der Beförderung radioaktiver Stoffe nach § 4 AtG und § 16 StrlSchV.

Neben den Regelungen in dieser Richtlinie gibt es außerdem separate Richtlinien für die Anforderungen an die Fachkunde für

Kernkraftwerkspersonal,

Forschungsreaktorpersonal,

Strahlenschutzbeauftragte in Kernkraftwerken und sonstigen Anlagen zur Spaltung von Kernbrennstoffen sowie

Verantwortliche Personen in Anlagen zur Herstellung von Brennelementen für Kernkraftwerke.

Quelle: BMU04a

## **Fachverband für Strahlenschutz e. V.**

Der Fachverband für Strahlenschutz e.V. ist eine Vereinigung von Strahlenschutzfachleuten und -praktikern, überwiegend aus dem deutschsprachigen Raum. Er hat sich die Förderung des Strahlenschutzes als Wissenschaft und als Beruf zum Ziel gemacht.

Der Fachverband ist bestrebt, im Interesse der Allgemeinheit und des öffentlichen Gesundheitswesens den Schutz gegen die schädlichen Wirkungen ionisierender und nicht ionisierender Strahlen zu fördern.

Der Fachverband für Strahlenschutz ist der Vertreter Deutschlands und der Schweiz in der internationalen Strahlenschutzorganisation →[IRPA](#)

Anschriften:

in Deutschland

Fachverband für Strahlenschutz

Postfach 1205

D 85740 Garching

in der Schweiz

Fachverband für Strahlenschutz

c/o Dr. Sven-GunnarJahn, ENSI

CH 5232 Villigen HSK

Telefon: +49 (89) 636-40183

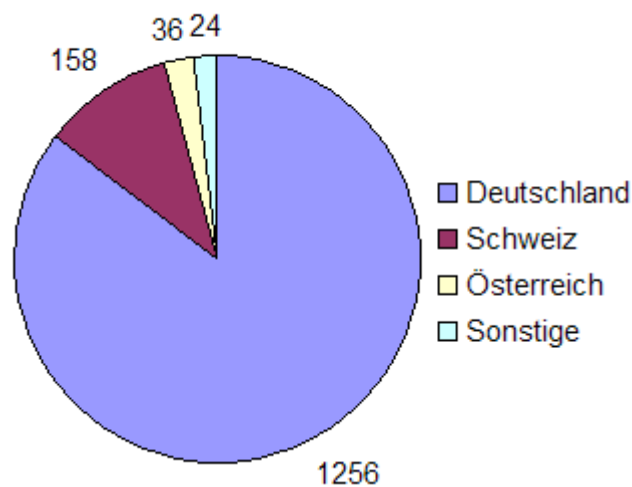
Fax: +49 (89) 636-702034

E-Mail: [FS-sek@fs-ev.de](mailto:FS-sek@fs-ev.de)

Internet: [www.fs-ev.de](http://www.fs-ev.de) und [www.fs-ev.ch](http://www.fs-ev.ch)

#### Mitgliederzusammensetzung

Der Fachverband für Strahlenschutz hatte Ende 2004 1474 Mitglieder, überwiegend aus Deutschland und der Schweiz.





## Arbeitskreise des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V (Stand 1.5.2006)



Ausbildung



Beförderung



Dosimetrie



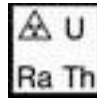
Entsorgung



Inkorporation



Nachweisgrenzen



Natürliche Radioaktivität



Nichtionisierende Strahlung



Notfallschutz



Praktischer Strahlenschutz



Rechtsfragen



Strahlenbiologie



Umweltüberwachung

## Fading

Mit Fading bezeichnet man den Effekt, dass sich bei Dosimetern, mit denen eine Dosis gemessen wurde, die für die Dosis kennzeichnende Eigenschaft mit der Zeit verringert. Die Dosisanzeige hängt damit von der Zeit zwischen Bestrahlung und Auswertung ab. Zum Beispiel geht der latente Schwärzungsgrad eines Dosismessfilms in der Zeit zwischen Bestrahlung und Entwicklung des Films zurück.

## fail safe

→folgeschadensicher

## Fall-Kontroll-Studie

In Fall-Kontroll-Studien wird die Assoziation zwischen der Exposition mit einem möglichen schädigenden Agens (z.B. ionisierende Strahlung) und dem Vorliegen einer Erkrankung (z.B. ein spezieller Krebs) untersucht. Es werden Personen identifiziert, die an dem Krebs leiden („Fälle“). Um die „Fälle“ zu vergleichen, werden andere Personen („Kontrollgruppe“) identifiziert, die den Patienten („Fälle“) möglichst ähnlich sind (z.B. bezüglich Alter, Geschlecht, Lebensgewohnheiten usw.), die Erkrankung jedoch nicht aufweisen. Anschließend wird ermittelt, wie viele der „Fälle“ und wie viele der „Kontrollpersonen“ der ionisierenden Strahlung mit einer bestimmten Dosis ausgesetzt waren. Besteht eine positive Assoziation zwischen Exposition und Erkrankung, so ist der Anteil der Exponierten im Kollektiv der „Fälle“ höher als im Kollektiv der „Kontrollgruppe“. Eine positive Assoziation in der Fall-Kontroll-Studie ist a-

ber nicht unbedingt ein Beweis für eine kausale Beziehung. Entscheidend für die Qualität einer Fall-Kontroll-Studie ist die Zusammensetzung und Vergleichbarkeit der Kontrollgruppe. Oft ist eine Fall-Kontroll-Studie die einzige mögliche Art, einen Zusammenhang zwischen einem Risikofaktor und dem daraus resultierenden Schaden nachzuweisen. Dies gilt vor allem dann, wenn die Krankheit entweder sehr selten auftritt oder die Zeit zwischen der Exposition (z.B. radioaktive Strahlung) und dem Auftreten der vermuteten Krankheit (Krebs) lange dauert.

Fall-Kontroll-Studien für die Exposition mit kleinen und kleinsten Dosen am Menschen sind unter Berücksichtigung der statistischen Gesetzmäßigkeiten nicht mit akzeptabel geringen Irrtumswahrscheinlichkeiten realisierbar.

## Fallout

Radioaktives Material, das nach einer Freisetzung in die Atmosphäre (z. B. durch Kernwaffentest, Unfall) auf die Erde „zurückfällt“ und sich dort trocken ablagert. Der Fallout tritt in zwei Formen auf: Der Nah-Fallout besteht aus den schwereren Teilchen, die sich innerhalb von einigen Tagen in der Nähe des Freisetzungsortes und in einem Gebiet, das je nach den Wetterbedingungen bis zu mehreren hundert Kilometer windabwärts liegt, auf der Erde ablagern. Der weltweite Fallout besteht aus leichteren Teilchen, die in höhere Atmosphärenschichten gelangen und die sich durch atmosphärische Strömungen über einen weiten Teil der Erde verbreiten. Sie gelangen dann hauptsächlich zusammen mit Niederschlägen in Zeiträumen zwischen Monaten und einigen Jahren zur Erde. Die durch den Fallout der Kernwaffentests in Deutschland hervorgerufene Strahlenexposition betrug in den 60er Jahren 0,1 bis 0,4 mSv pro Jahr, sie liegt zur Zeit bei weniger als 0,01 mSv pro Jahr; die Gesamtdosis im Zeitraum von 1960 bis 2010 wird auf 2 mSv geschätzt. Die Strahlenexposition durch den Fallout infolge des Reaktorunfalls in Tschernobyl beträgt für Personen in Deutschland südlich der Donau rund 2 mSv und im übrigen Deutschland etwa 0,6 mSv im Zeitraum von 1986 bis 2030. (→[Strahlenexposition, zivilisatorische](#)) Der Fallout ist eine Quelle der Strahlenexposition, die infolge von Aktivitätsableitungen aus genehmigungspflichtigen Anlagen auftritt und betrachtet werden muss. Mathematisch geschieht dies mit Hilfe von Fallout-Faktoren. Der Fallout-Faktor ist das Produkt aus dem →[Ausbreitungsfaktor](#)  $\chi(x)$  und der →[Ablagerungsgeschwindigkeit](#)  $v_a$ :

$$\chi(x) \cdot v_a$$

(Lit.: BMU05E, VOG04)

## FAP

Abk. für →[Freigabeablaufplan](#)

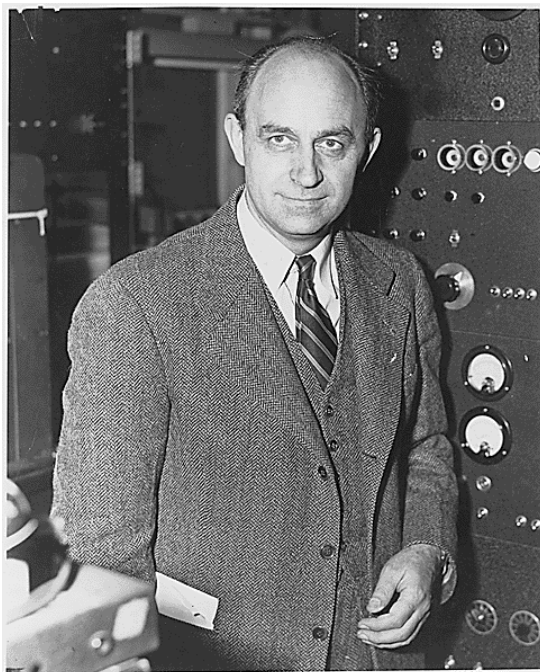
## FBR

Abk. für **F**ast **b**reeder **r**actor; →[Schneller Brutreaktor](#)

## Fermi

Fermi, Enrico, italienischer Physiker, \* Rom 29.9.1901, † Chicago 28.11.1954 an Magenkrebs; E. Fermi studierte Physik an der Universität Pisa und promovierte dort 1922; später folgten Professuren an den Universitäten Florenz (Mathematik) und Rom (Physik). Fermi forschte nach der Entdeckung des Neutrons durch Chadwick (1932) insbesondere auf dem Gebiet der Neutronenphysik und erhielt für seine Arbeit zur neutroneninduzierten Umwandlung von Kernen den Nobelpreis für Physik (1938).

Danach emigrierte er aus politischen Gründen in die USA (1938) und wurde Professor für Physik an der Columbia Universität (1939). Nach der durch Hahn (→[Otto Hahn](#)) und Strassmann entdeckten Kernspaltung arbeitete Fermi an der Entwicklung eines Kernreaktors und 1942 gelang unter seiner Leitung die erste kontrollierte Kettenreaktion am Reaktor Chicago Pile 1 (→[CP-1](#)). In der Folge war Fermi maßgeblich an der Entwicklung der ersten Atombombe beteiligt. Die Atomenergiebehörde der USA stiftete zu seinem Gedächtnis den Enrico-Fermi-Preis.



Enrico Fermi (um 1943 – 1949)

Quelle:

[http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Enrico\\_Fermi\\_1943-49.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Enrico_Fermi_1943-49.jpg)

## Fetalperiode

Zeitraum ab dem 4. Schwangerschaftsmonat bis zur Geburt; nach Abschluss der Organbildungsphase entwickeln sich in der Fetalperiode die einzelnen Organe weiter. Der gesamte Organismus wächst bis zur Lebensfähigkeit des Fetus. Während der späten Fetalperiode nimmt das Risiko für Entwicklungsstörungen und Missbildungen infolge von Strahlenwirkungen ab. Das erhöhte Krebsrisiko für das Kind bleibt jedoch erhalten.

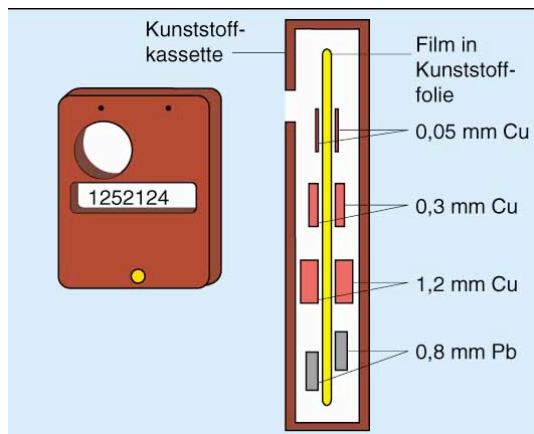
## Fetus

Menschliche Leibesfrucht ab dem 4. Schwangerschaftsmonat bis zur Geburt

## Filmdosimeter

Messgerät zur Bestimmung der Dosis; die Schwärzung eines fotografischen Filmes durch Strahleneinwirkung ist das Maß für die empfangene Dosis. Bei Photonenbestrahlung ist der Grad der Schwärzung von der Photonenfluenz und der Energie abhängig. Die Empfindlichkeit nimmt mit wachsender Photonenenergie ab. Bei gleicher Fluenz bewirkt Röntgenstrahlung aus einer 60-kV-Röhre eine etwa 20mal größere Schwärzung als 1-MeV-Gammastrahlung. Die Energieabhängigkeit des Ansprechvermögens wird mit Hilfe von aufgelegten Filterscheiben aus Kunststoff oder Metall kompensiert. Die Filterwirkungen ermöglichen die Ermittlung der Strahlenart, der Strahlenenergie und anderer für die Ermittlung der Dosis wichtiger Faktoren. (Dosisfilmplakette, →[Gleitschattendosimeter](#)).

Durch die Art der Speicherung der Dosis hat das Filmdosimeter Dokumentencharakter. Es ist in Deutschland das am häufigsten eingesetzte amtliche Dosimeter. Das Fading wird durch die Abnahme der latenten Schwärzung infolge chemischer Prozesse bestimmt. Dies führt in der Regel zu einer Beschränkung des Anwendungszeitraums auf 1 Monat.



Filmdosimeter, Vorderansicht und Schnitt

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie

[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Filtergerät

Spezielle Unterart der →[Atemschutzgeräte](#)

## Filtermaske

→[Atemschutzgeräte](#)

## Filterung

In der Bestrahlungstechnik wird unter Filterung jede Änderung der spektralen Teilchenflussdichte, der Richtungsverteilung der Teilchen oder der Verteilung der Teilchenflussdichte über den Querschnitt des Strahlenfeldes verstanden, die durch Teilchenabsorption oder Streuung in einer Materieschicht (Filter) hervorgerufen wird. Je nachdem welche Wirkung des Filters überwiegt – Absorption, Streuung oder Schwächung – wird das Filter als Härtingsfilter, Streufilter oder Schwächungsfiler bezeichnet.

## Fingerring-Dosimeter

Spezielles Dosimeter zur Ermittlung der Teilkörperdosis an der Hand; das Fingerring-Dosimeter hat die Form eines Fingerringes und trägt das empfindliche Detektormaterial (meistens ein →[Thermolumineszenzdetektor](#)) in der Ringkapsel. Fingerring-Dosimeter sind insbesondere bei Tätigkeiten erforderlich, bei denen sich hauptsächlich die Hände im Strahlenfeld befinden (z.B. bei chirurgischen Eingriffen unter Röntgenbestrahlung).

Fingerring-Dosimeter können als Beta-Dosimeter nur dann sinnvoll eingesetzt werden, wenn die Betaenergie hinreichend groß ist, so dass die Betastrahlung nicht in der Dosimeterabdeckung absorbiert wird. Dies ist in der Regel für Betastrahlung mit  $E_{\beta\text{max}} \geq 150 \text{ keV}$  gegeben. Wird z.B. das Fingerring-Dosimeter unter Schutzhandschuhen getragen, ist seine Verwendung beim Umgang mit niederenergetischen Betastrahlern wie H-3, C-14, Cr-51 oder Ni-63 nicht sinnvoll.

## Fissium, simuliertes

Stoffgemisch aus nicht radioaktiven Isotopen der Elemente, die bei der Kernspaltung als radioaktive Spaltprodukte entstehen; ein simuliertes Fissium ermöglicht Untersuchungen über das chemische und physikalische Verhalten dieses Gemisches ohne Strahlengefährdung und macht Strahlenschutzmaßnahmen bei den Untersuchungen unnötig.

## Fluchtgeräte

Atemschutzgeräte, die speziell für den Fluchtfall vorgesehen sind; Fluchtgeräte sind nicht für den Schutz bei der Arbeit zugelassen.

## Fluenz

→[Teilchenfluenz](#)

## Fluenz-Dosis-Konversionsfaktor

Faktor, der die Fluenz einer Strahlung mit der Dosis verbindet; der Faktor ist von der Strahlenart und der Energie abhängig. Die Fluenz-Dosis-Konversionsfaktoren sind für Berechnungen in der Fachliteratur tabelliert.

## Flugverkehr und Strahlenexposition

Die Strahlenexposition im Flugverkehr wird durch die kosmische Strahlung bestimmt. Sie bewirkt, dass das fliegende Personal zu den am höchsten exponierten Berufsgruppen gehört. (→[Strahlenexposition, zivilisatorische](#))

## Flugzeitanalysator

Gerät zur Bestimmung der Geschwindigkeitsverteilung von Teilchen in einem Teilchenstrahl; gemessen wird die unterschiedliche Flugzeit über eine gegebene Wegstrecke. Der Flugzeitanalysator dient zum Beispiel zur Bestimmung von Neutronenenergien.

## Flugzeugabsturzicherheit

Kerntechnische Anlagen, wie z. B. Kernkraftwerke, müssen entsprechend den gültigen Sicherheitsvorschriften flugzeugabsturzicher errichtet werden. Untersuchungen haben gezeigt, dass das Risiko für die Anlagen von schnell fliegenden Militärmaschinen bestimmt wird. Um sicherzustellen, dass das Flugzeug Wände und Decken nicht durchdringt, sind Wandstärken von rund 1,5 m Stahlbeton erforderlich. Den Rechnungen liegt dabei der Absturz einer Phantom RF-4E zugrunde. Es wurde überprüft, dass diese Wandstärke auch für abstürzende Großraumflugzeuge - wie z. B. Boeing 747 - ausreicht, ja sogar wegen der geringeren Absturzgeschwindigkeit und der größeren Auftreffflächen geringere Wandstärken genügen. Die Sicherheitsvorkehrungen berücksichtigen auch die Folgen eines Flugzeugabsturzes wie Treibstoffbrände und -explosionen oder Trümmerwirkungen.

## Fluoreszenzausbeute

Wahrscheinlichkeit dafür, dass bei einem Elektronenübergang in der Atomhülle von einer energetisch höher gelegenen auf eine energetisch niedriger gelegenen Schale ein Photon und nicht eine →Auger-Elektron emittiert wird

## Fluoreszenzstrahlung

Wenn Elektronen der Atomhülle von einer energetisch höher gelegenen Schale oder Umlaufbahn auf eine energetisch niedrigere „springen“, wird die dabei emittierte elektromagnetische Strahlung Fluoreszenzstrahlung genannt. Ist diese Strahlung z.B. Röntgenstrahlung, spricht man von Röntgenfluoreszenzstrahlung.

## Fluorimetrie

Alternatives Nachweisverfahren für natürliches Uran und U-238 über die Massenbestimmung anstelle einer Aktivitätsmessung; angewandt wird das Verfahren z.B. zur Ermittlung der Uranmasse in einer Urinprobe. Die (eingedampfte) Urinprobe wird dazu mit einem Gemisch aus NaF und LiF eingeschmolzen. Das Schmelzprodukt wird im Fluorimeter mit UV-Licht bestrahlt und die Intensität des emittierten Fluoreszenzlichts gemessen. Diese ist ein Maß für die Uranmasse. Mit diesem Verfahren werden Nachweisgrenzen von 0,4 µg Uran je Liter Urin erreicht. (VOG04)

## Flussdichte

In einem Strahlenfeld ist die Anzahl der Strahlungsteilchen, die einen Ort je Zeiteinheit passieren für den Strahlenschutz von Bedeutung, die Richtung der Teilchen in der Regel weniger. Dies wird durch die Definition der Flussdichte berücksichtigt: Denkt man sich um eine Punkt im Strahlenfeld eine kleine Kugel mit der Querschnittsfläche  $dA$  und ist  $dN$  die Anzahl der Strahlungsteilchen, welche die Kugel in dem kleinen Zeitintervall  $dt$  durchsetzen, so ist die Flussdichte  $\varphi$  definiert als:

$$\varphi = \frac{dN}{dt \cdot dA}$$

Haben die Teilchen keine feste Energie, sondern eine Energieverteilung, so wird die Flussdichte, die sich nur auf Teilchen aus einem kleinen Energieintervall zwischen  $E$  und  $E+dE$  bezieht, die spektrale Flussdichte genannt.



Bei zeitlich konstanter Flussdichte ergibt sich die Gesamtzahl der Teilchen, die innerhalb eines Zeitintervalls  $\Delta t$  die Kugel durchdrungen haben, das ist die Fluenz  $\Phi$ , aus dem Produkt von Flussdichte und Zeitintervall:

$$\Phi = \varphi \cdot \Delta t$$

Die Fluenz ist korreliert mit der Ortsdosis, die Flussdichte mit der Ortsdosisleistung.

## Flüssigszintillationszähler

Szintillationszähler, dessen →**Szintillator** eine organische Flüssigkeit ist (z. B. Diphenyloxazol, gelöst in Toluol); Flüssigszintillationszähler sind ein bevorzugtes Nachweis- und Messgerät für die niederenergetische Betastrahlung von Tritium und Kohlenstoff-14. Die Analysenprobe wird mit dem Szintillator zu einem möglichst klaren Cocktail gemischt, dessen Lichtemission gemessen wird. Der Verlust an Lichtausbeute (z.B. durch Trübung des Cocktails) wird als Quenching bezeichnet und muss in der Regel bei der Kalibrierung durch einen sog. Quenching-Faktor berücksichtigt werden. Dieser wird in der Regel experimentell ermittelt.

Bei Verwendung von drei Photomultipliern zur Auswertung der Lichtemissionen des Szintillators kann eine automatische Quenchkorrektur während der Messung durchgeführt und auf die vorlaufende Ermittlung der Quenchkurve mit einem Standard verzichtet werden. Dazu wird das Verhältnis der Dreifach-Koinzidenzen zu den Zweifach-Koinzidenzen herangezogen (TDCR-Methode = Triple-Double-Coincidence-Ratio). (FRE09)

## Fokus

lat.: Brennpunkt; in der Bestrahlungstechnik der Punkt, mit dem die Lage des Quellbereiches der Primärstrahlung annähernd beschrieben werden kann und der in Bezug zu den mechanischen Strukturen des Strahlerkopfes unveränderlich festgelegt ist. Der Fokus dient zur Festlegung des Anfangspunktes des Zentralstrahls.

Bei Röntgeneinrichtungen gilt als Fokus die Sollposition des Flächenschwerpunktes des elektronischen Brennflecks.

Bei Gammabestrahlungseinrichtungen zur Teletherapie gilt als Fokus der Mittelpunkt der dem Strahlungsaustrittsfenster zugekehrten Fläche der äußeren Quellenkapsel.

Bei Elektronenbeschleunigern im Röntgenstrahlungsbetrieb gilt als Fokus die Sollposition des Mittelpunktes der vom Elektronenstrahl getroffenen Fläche des Targets.

Bei Elektronenbeschleunigern im Elektronenstrahlungsbetrieb gilt als Fokus im Allgemeinen ein Punkt, der sich mit dem Fokus im Röntgenstrahlungsbetrieb deckt.

## Folgedosis

Die Bestrahlung des Gewebes oder von Organen durch inkorporierte Radionuklide ist über die Inkorporationszeit verteilt. Diese Zeit ist von der physikalischen Halbwertszeit und dem biokinetischen Verhalten des Radionuklids abhängig. Die Folgedosis ist das Zeitintegral der Äquivalentdosisleistung in einem Gewebe oder Organ über die Zeit. Die Organ-Folgedosis  $H_T(\tau)$  bei einer Inkorporation zum Zeitpunkt  $t_0$  ist das Zeitintegral der Organ-Dosisleistung im Gewebe oder Organ T. Wird kein Integrationszeitraum  $\tau$  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:

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

$\dot{H}_T$  = mittlere Organ-Dosisleistung im Gewebe oder Organ T zum Zeitpunkt t

### **Folgedosis, effektive**

Aus den Organ-Folgedosen unter Verwendung der Gewebe-Wichtungsfaktoren ermittelte effektive Dosis

### **Folgedosis, kollektive**

Summe der effektiven Folgedosen aller Personen einer Gruppe; alternativ das Produkt aus der Anzahl der Personen einer Gruppe mit der mittleren effektiven Folgedosis der Gruppe

### **folgeschadensicher**

Ein System ist folgeschadensicher, wenn es so konstruiert ist, dass im Falle eines Versagens eines Teilsystems das ganze System in einen sicheren Zustand übergeht.

### **FORATOM**

Europäisches Atomforum mit Sitz in Brüssel, Dachorganisation der Atomforen von 13 europäischen Ländern, gegründet am 12.07.1960.

Internet: [www.foratom.org](http://www.foratom.org)

### **Forschung, medizinische**

Die medizinische Forschung ist im Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung definiert als Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung am Menschen, soweit sie der Fortentwicklung der Heilkunde oder der medizinischen Wissenschaft und nicht in erster Linie der Untersuchung oder Behandlung des einzelnen Patienten dient (§ 3 Abs.2 Nr.14 StrlSchV). Mit der medizinischen Forschung beschäftigen sich die §§ 87 ff StrlSchV.

Für den Bereich der RöV gilt eine gleichartige Definition (§ 2 Nr.8 RöV).

### **Forschungsreaktor**

Ein in erster Linie auf die Erzeugung von hohen Neutronenintensitäten zu Forschungszwecken ausgelegter Kernreaktor; er kann auch zu Schulungszwecken, zur Materialprüfung und Erzeugung von Radionukliden dienen.

Nach Angaben der Internationalen Atomenergie-Organisation waren im Juni 2004 in 56 Ländern 274 Forschungsreaktoren in Betrieb und 16 in Bau oder Planung.

## **Forschungszentrum Jülich**

Das Forschungszentrum Jülich ist eines der 15 Helmholtz-Forschungszentren in der Bundesrepublik Deutschland. Im Mittelpunkt des Forschungsprogramms stehen die Schwerpunkte "Materie", "Energie", "Information", "Lebenswissenschaften" und "Umwelt".

## **Forschungszentrum Karlsruhe**

Das Forschungszentrum Karlsruhe ist eine der größten natur- und ingenieurwissenschaftlichen Forschungseinrichtungen in Europa und wird von der Bundesrepublik Deutschland und dem Land Baden-Württemberg gemeinsam getragen. Sein Forschungs- und Entwicklungsprogramm ist eingebettet in die übergeordnete Programmstruktur der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren und gliedert sich in die fünf Forschungsbereiche Struktur der Materie, Erde und Umwelt, Gesundheit, Energie sowie Schlüsseltechnologien. Die Forschungs- und Entwicklungsprogramme des Forschungszentrums Karlsruhe sind von öffentlichem Interesse und dienen ausschließlich friedlichen Zwecken. Sie erstrecken sich auf die Gebiete der industriellen Vorlufforschung bis hin zur Produkt- und Verfahrensentwicklung, der Vorsorgeforschung und der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung. Dabei kooperiert das Forschungszentrum mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft. Eine weitere Aufgabe ist der Betrieb von Großgeräten, die auch externen Nutzern zur Verfügung stehen.

## **Forschungszentrum Rossendorf**

Das →[Forschungszentrum Rossendorf](#) (FZR), aktueller Name: Forschungszentrum Dresden (FZD), betreibt anwendungsorientierte Grundlagenforschung mit den fachübergreifenden Forschungsschwerpunkten:

1. Materialforschung
2. Biomedizin/Chemie
3. Kernphysik
4. Umwelt und Sicherheitsforschung

Der wissenschaftliche Geschäftsbereich ist in fünf Institute gegliedert:

- Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung
- Institut für Bioanorganische und Radiopharmazeutische Chemie
- Institut für Kern- und Hadronenphysik
- Institut für Sicherheitsforschung
- Institut für Radiochemie

Das FZR ist Mitglied der Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz. (<http://www.fz-rossendorf.de/pls/rois/Cms?pNid=0>)

## **Fortluftüberwachung**

→[Emissionsüberwachung](#)

## Fossile Energieträger und Strahlenexposition

Die Strahlenexposition durch fossile Energieträger wird durch die in den Energieträgern, im wesentlichen Steinkohle und Braunkohle, enthaltenen natürlichen radioaktiven Stoffe bestimmt. (→[Strahlenexposition, zivilisatorische](#))

### FREE

Vom Luftfahrt-Bundesamt zugelassenes Computerprogramm, welches die Berechnung der effektiven Dosis für Flugpersonal erlaubt. Siehe auch →[EPCARD](#), →[PCAI-RE](#)

### Freie Weglänge, mittlere

Die mittlere freie Weglänge  $\lambda$  eines Teilchens in einem Material ist die mittlere Wegstrecke, die das Teilchen zwischen zwei aufeinander folgenden Wechselwirkungen durchläuft. Die mittlere freie Weglänge ergibt sich aus dem Kehrwert der →[Wirkungsquerschnittsdichte](#)  $\Sigma$ :  $\lambda = 1 / \Sigma$ . Sie kann auf eine definierte Wechselwirkungsart  $i$  mit der Wirkungsquerschnittsdichte  $\Sigma_i$  bezogen werden (z.B. Streuung). Dann ergibt sich  $\lambda_i = 1 / \Sigma_i$ .

(s. auch DIN 6814-2, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

### Freie Weglänge, mittlere totale

Die totale mittlere freie Weglänge  $\lambda_{\text{eff}}$  (Bezeichnung aus der DIN) ist definiert als der Kehrwert der totalen Wirkungsquerschnittsdichte  $\Sigma_T$ :  $\lambda_{\text{eff}} = 1 / \Sigma_T$ .

Die totale mittlere freie Weglänge ist die mittlere Weglänge, die ein Teilchen zwischen zwei Wechselwirkungen jedweder Art durchläuft. Sie ist damit höchstens so groß wie die mittlere freie Weglänge  $\lambda$ , die sich nicht auf alle Wechselwirkungen bezieht:  $\lambda_{\text{eff}} \leq \lambda$ . (s. auch DIN 6814-2, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

### Freigabe

Verwaltungsakt, der die Entlassung radioaktiver Stoffe sowie beweglicher Gegenstände, von Gebäuden, Bodenflächen, Anlagen oder Anlagenteilen, die aktiviert oder mit radioaktiven Stoffen kontaminiert sind und die aus Tätigkeiten nach § 2 Abs. 1 Nr. 1 Buchstabe a, c oder d StrlSchV stammen, aus dem Regelungsbereich

- a. des Atomgesetzes und
- b. darauf beruhender Rechtsverordnungen sowie verwaltungsbehördlicher Entscheidungen

zur Verwendung, Verwertung, Beseitigung, Innehabung oder zu deren Weitergabe an Dritte als nicht radioaktive Stoffe bewirkt. Die Freigabe ist von der zuständigen Behörde zu erteilen, wenn für Einzelpersonen der Bevölkerung nur eine effektive Dosis im Bereich von 10  $\mu\text{Sv}$  im Kalenderjahr auftreten kann.

Einzelheiten zur Freigabe regelt der § 29 StrlSchV in Verbindung mit den Anlagen III und IV StrlSchV.

Hilfen zum Freigabeverfahren bietet z.B. der Freigabeleitfaden des Fachverbands für Strahlenschutz (FS05).

## Freigabeablaufplan

Schrittfolgeplan für alle erforderlichen Verfahrens- und Prüfschritte, die im Zuge eines Freigabeverfahrens nach § 29 StrlSchV zu beachten sind. Der Freigabeablaufplan (auch Freigabeplan genannt) enthält außerdem die Zuständigkeiten für die einzelnen Verfahrens- und Prüfschritte sowie Verweise auf zu beachtende Regelwerke. Der Freigabeablaufplan ist nicht zwingend im Freigabeverfahren vorgeschrieben, wird aber häufig zur Regulierung des Verfahrens verwendet und in Bescheiden der zuständigen Behörde zitiert. Seine Anwendung wird im Freigabeleitfaden des [→Fachverbands für Strahlenschutz](#) empfohlen (FS05).

## Freigestelltes Versandstück

[→Versandstück](#)

## Freigrenzen

Werte der Aktivität und der spezifischen Aktivität radioaktiver Stoffe nach Anlage III Tabelle 1 Spalten 2 und 3 StrlSchV, bei deren Überschreitung Tätigkeiten mit diesen radioaktiven Stoffen der Überwachung nach der Strahlenschutzverordnung unterliegen. Die Spalte 2 der Anlage III StrlSchV enthält nuklidspezifische Freigrenzen für die Absolutwerte der Aktivität und die Spalte 3 Freigrenzen für die spezifische Aktivität. Der Umgang mit einem radioaktiven Stoff ist genehmigungsfrei, wenn eine der beiden Freigrenzen nicht überschritten ist.

Beispiele für einige Freigrenzen:

Co-60:	$10^5$ Bq	10 Bq/g
Sr-90:	$10^4$ Bq	100 Bq/g
I-131:	$10^6$ Bq	100 Bq/g
Cs-137:	$10^4$ Bq	10 Bq/g
Am-241	$10^4$ Bq	1 Bq/g

## Fremdstrahlung

In der Bestrahlungstechnik die Bezeichnung für die ionisierende Strahlung innerhalb des Strahlenfeldes, die zusätzlich zur Nutzstrahlung auftritt, aber eine andere Strahlenart als die zur Anwendung bestimmte Strahlung ist; Fremdstrahlung kann z.B. gleichzeitig mit der Nutzstrahlung in der Strahlenquelle entstehen (z.B. Röntgenstrahlung bei Wechselwirkung der Beta-Nutzstrahlung mit Strukturmaterialien).  
s. DIN 6814-2, [→DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)

## Fresszellen

[→Phagozyten](#)

## Fricke-Dosimeter

Chemisches Dosimeter zur Messung hoher Dosen; in wässriger Lösung befindliche Eisen(II)-Ionen ( $\text{Fe}^{++}$ ) werden durch die ionisierende Strahlung in Eisen(III)-Ionen ( $\text{Fe}^{+++}$ ) umgewandelt. Mit dieser strahleninduzierten chemischen Oxidation ist eine Veränderung der optischen Dichte der Lösung verbunden, die ein Maß für die Dosis

ist. Fricke-Dosimeter eignen sich zur Messung von Energiedosen bis einigen hundert Gray.

## Frühschaden

Ein durch ionisierende Strahlung verursachter deterministischer Schaden, der beim Menschen innerhalb eines Jahres nach Beginn der Bestrahlung erkennbar wird; Frühschäden können z.B. Strahlenkrankheit, Trübung der Augenlinse oder Hautausschlag sein.

Für Bestrahlungsfolgen nach einer Strahlentherapie gilt nach internationaler Festlegung der 90. Tag nach Bestrahlungsbeginn als Trennung zwischen Früh- und Spätschäden.

## FS

Abk. für → **Fachverband für Strahlenschutz e. V**

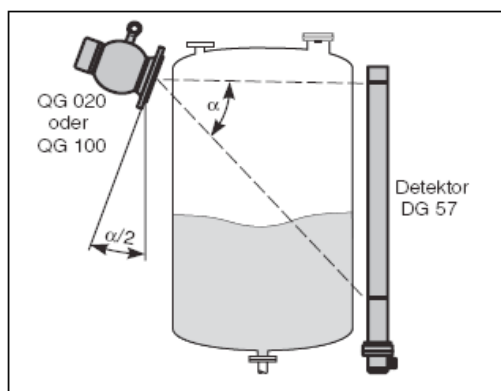
## Füllhalterdosimeter

→ **Stabdosimeter**

## Füllstandsmessung, radiometrisch

Radioaktive Quellen (umschlossene radioaktive Stoffe) werden in der Industrie zur Füllstandsmessung in Behältern für Flüssigkeiten oder Schüttgüter eingesetzt. Sie kommen häufig dann zum Einsatz, wenn andere Verfahren wegen der Beschaffenheit des Behälterinhalts (z.B. aggressive Flüssigkeiten) oder der Umgebungsbedingungen (z.B. hohe Temperaturen, ungünstige Geometrie) wenig geeignet sind. Das Messprinzip ist die Schwächung der von der Quelle auf der einen Seite des Behälters ausgehenden Strahlung auf dem Weg zum Detektor auf der gegenüberliegenden Behälterseite.

Als Strahler werden in der Regel Gammastrahler (Co-60, Cs-137) eingesetzt, die so abgeschirmt angeordnet sind, dass im Normalbetrieb maximal im Nahbereich des Strahlers ein Strahlenschutzbereich eingerichtet werden muss.



Prinzip einer kontinuierlichen Füllstandsmessung: Der Strahlenschutzbehälter wird etwas oberhalb oder auf Höhe des maximalen Füllstands montiert. Die Strahlung muss genau auf den gegenüber montierten Detektor ausgerichtet sein. Um Kontrollbereiche zu vermeiden, sollen Strahlenschutzbehälter und Detektor möglichst nahe am Füllgutbehälter angebracht werden.

Quelle: Endress + Hauser;  
<http://www.at.endress.com/>

## Fukushima-Unfall

Am 11.03.2011 kam es in Japan zu einem Erdbeben der Stärke 9,1 auf der Richterskala, in dessen Folge 4 Kraftwerksblöcke der Anlage Fukushima Daiichi zum Teil so stark zerstört wurden, dass erhebliche Mengen Radioaktivität in die Umgebung emittiert wurden. Obwohl die Kraftwerksblöcke nicht gegen ein Erdbeben dieser Stärke ausgelegt waren, schalteten die drei in Betrieb befindlichen Kraftwerksblöcke 1-3 ordnungsgemäß ab und gingen in den Notstrombetrieb über. Der Block 4 befand sich zu dieser Zeit abgeschaltet im Wartungsbetrieb. Zu dem Unfall mit den erheblichen Aktivitätsfreisetzungen kam es, weil ein nachfolgender Tsunami, gegen den die Anlage ebenfalls nicht ausgelegt war, die Notstromdiesel überflutete und außer Betrieb setzte. Damit war die Notkühlung unterbrochen und die Nachzerfallswärme konnte nicht mehr abgeführt werden. Zudem fiel ebenfalls als Folge des Tsunami die batteriegepufferte Gleichspannungsversorgung in zwei Blöcken aus, wodurch die Warten dieser Blöcke ohne Strom, d.h. „schwarz“ waren.

Bedingt durch die fehlende Kühlung der Reaktorkerne und des Brennelement-Lagerbeckens von Block 4 kam es in der Folge mindestens teilweise zu einer Kernschmelze und zu Wasserstoffbildung durch Zirkon-Wasser-Reaktionen. Der Wasserstoff führte zur Bildung von Knallgasgemischen in den Reaktorgebäuden, deren Explosion die Gebäude der Blöcke 1, 3 und 4 weitgehend zerstörten (s. Bild).



Zerstörte Anlage Fukushima Daiichi

Quelle: R. Czarwinski , Aktivitäten der IAEA nach Fukushima  
Vortrag auf dem Fukushima-Symposium des FS, Mainz 8./9.3.2012

Aufgrund der Radioaktivitätsfreisetzungen kam es in der Umgebung der Anlage zu Kontaminationen, welche die Behörden veranlassten weite Bereiche zu evakuieren. Die freigesetzten Aktivitäten waren im Wesentlichen Caesium und Jod:  
Cs-134  $1,5 \cdot 10^{16}$  Bq, Cs-137  $1,5 \cdot 10^{16}$  Bq, I-131  $1,6 \cdot 10^{17}$  Bq

Die bisher (1 Jahr nach dem Unfall) veröffentlichten Daten zu Strahlenexpositionen zeigen, dass Tote infolge deterministischer Strahlenschäden nicht zu besorgen sind.



Die höchsten Einzeldosen traten bei den Personen auf, die in der Anlage Arbeiten zur Beherrschung der Unfallfolgen durchgeführt haben. Nach den bisher vorliegenden Daten lag die effektive Dosis nur bei sechs von ca. 18.000 Arbeitern über der gesetzten Dosissschranke von 250 mSv. Die maximale Einzeldosis betrug danach 678 mSv.

Die externe Strahlenexposition von Personen der Bevölkerung liegt 1 Jahr nach dem Unfall unter 25 mSv, wobei Inkorporationsdosen durch Cs-134 und Cs-137 berücksichtigt sind. Die Beiträge von I-131, insbesondere durch Schilddrüsenexpositionen bei Kindern, bedürfen noch weiterer Aufklärung.

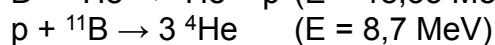
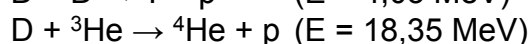
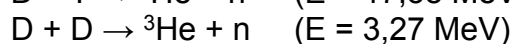
## Funkenkammer

Gerät zum Nachweis ionisierender Strahlung; die Funkenkammer besteht z. B. aus zahlreichen parallel angeordneten Metallplatten, zwischen denen jeweils eine Spannung von einigen tausend Volt liegt. Die Zwischenräume zwischen den Platten sind gasgefüllt. Die ionisierende Strahlung führt zur Funkenbildung zwischen den Platten entlang dem Weg der Strahlung durch die Kammer. Die Funkenspur kann fotografisch oder elektronisch registriert werden. Funkenkammern wurden früher z.B. zum Nachweis kosmischer Strahlung verwendet; sie spielen heute in der praktischen Messtechnik keine Rolle mehr. Sie werden hauptsächlich zu Demonstrationszwecken eingesetzt.

## Fusion

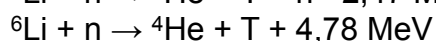
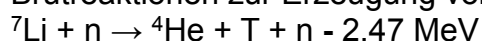
Bildung eines schwereren Kernes aus leichteren Kernen; bei der Fusion sehr leichter Kerne wird Energie, die **→ Bindungsenergie**, frei. Diese Energie soll in Fusionsreaktoren kontrolliert genutzt werden.

Mögliche Fusionsreaktionen und dabei frei werdenden Energien E:



Die Deuterium-Tritium-Reaktion ist unter allen möglichen Fusionsreaktionen noch am leichtesten zu verwirklichen. Deuterium ist in genügender Menge in den Weltmeeren vorhanden; Tritium kann aus dem ebenfalls reichlich verfügbaren Element Lithium mit Hilfe der beim Fusionsprozess entstehenden Neutronen 'erbrütet' werden.

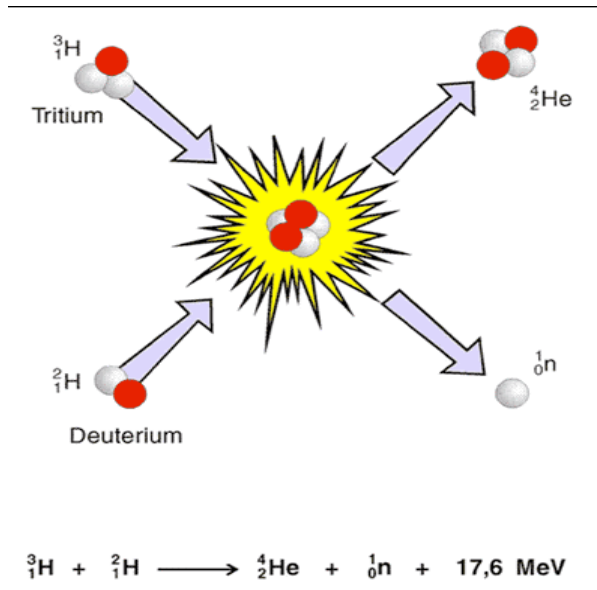
Brutreaktionen zur Erzeugung von Tritium aus Lithium:



Für den Strahlenschutz sind bei der Fusion insbesondere die intensive Neutronenstrahlung und die daraus resultierende hohe Aktivierung der Strukturmaterialien von Bedeutung.

Bei der Fusion von Deuterium und Tritium zu 1 kg Helium wird eine Energie von rund 120 Millionen kWh frei. Das entspricht der Verbrennungswärme von 12 Millionen Kilogramm Steinkohle.





Prinzip der Kernfusion, Verschmelzung von Deuterium und Tritium unter Bildung eines Heliumkerns, eines Neutrons und Freisetzung von Energie

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## FZD

Abk. für Forschungszentrum Dresden (→[Forschungszentrum Rossendorf](#))

## FZJ

Abk. für →[Forschungszentrum Jülich](#)

## FZR

Abk. für →[Forschungszentrum Rossendorf](#)

# G

## Gammabestahlungseinrichtung

→[Bestahlungsvorrichtung](#)

## Gammaquant

Energiequant (Zeichen:  $\gamma$ ) kurzwelliger elektromagnetischer Strahlung; wird z.B. vom Atomkern ausgesandt, wenn dieser von einem energetisch höheren Zustand in einen energetisch niedrigeren Zustand übergeht.

## Gammaradiographie

Untersuchungsmethode mittels Gammastrahlung, insbesondere für Werkstoffprüfungen; →[Zerstörungsfreie Prüfung](#)

## Gammastrahlung

Hochenergetische, kurzwellige elektromagnetische Strahlung, die von einem Atomkern ausgestrahlt wird. Sie entsteht, wenn der Atomkern von einem energetisch höheren Zustand in einen energetisch niedrigeren Zustand übergeht. Die Energien von Gammastrahlen liegen gewöhnlich zwischen 0,01 und 10 MeV. Auch →[Röntgenstrahlung](#) tritt in diesem Energiebereich auf; sie hat aber ihren Ursprung nicht im Atomkern, sondern sie entsteht durch Elektronenübergänge in der Elektronenhülle oder durch Elektronenbremsung in Materie (Bremsstrahlung). Im Allgemeinen sind Alpha- und Betazerfälle und immer der Spaltungsvorgang von Gammastrahlung begleitet. Gammastrahlen sind sehr durchdringend und lassen sich am besten durch Materialien hoher Dichte (Blei) und hoher Ordnungszahl schwächen. Die bestimmenden Wechselwirkungsprozesse in der Materie sind der →[Photoeffekt](#), der →[Compton-Effekt](#) und die →[Paarbildung](#).

## Ganzkörperdosis

Mittelwert der →[Äquivalentdosis](#) über Kopf, Rumpf, Oberarme und Oberschenkel als Folge einer als homogen angesehenen Bestrahlung des ganzen Körpers. Heute wird dieser Begriff durch den umfassenderen Begriff der →[effektiven Dosis](#) ersetzt.

## Ganzkörperexposition

Einwirkung ionisierender Strahlung auf den ganzen Körper

## Ganzkörpermonitor

Messgerät zur Ermittlung der Personenkontamination (Oberflächenkontamination); der Ganzkörpermonitor verfügt in der Regel über eine Anordnung von Großflächen-Durchflusszählrohren, welche nahezu die gesamte Körperoberfläche der zu messenden Person abdecken. Durch geeignete geometrische Anordnung wird erreicht, dass

die Person sehr dicht an den Detektoroberflächen positioniert ist. Dies wird bei den sog. Two-Step-Monitoren dadurch unterstützt, dass die Messung in zwei Abschnitten erfolgt, in denen jeweils eine Körperhälfte optimal gemessen wird. Die Kopfsonde ist beweglich und wird bis dicht über den Kopf gefahren. Einige Ganzkörpermonitore verfügen außerdem über Kleinteilfächer, in denen kleine Gebrauchsgegenstände (z.B. Kugelschreiber, Ausweis, Dosimeter) auf Kontamination überprüft werden. Dies erfolgt optimal durch eine kombinierte Beta- und Gammamessung. Eine zusätzliche Inkorporationskontrolle wird in der Praxis manchmal dadurch erreicht, dass hinter den Großflächen-Durchflusszählern im Brustbereich ein Gammaempfindlicher Detektor (z.B. NaI(Tl)-Detektor) angeordnet wird.

Anstelle der Großflächen-Durchflusszählrohre kommen in Neuentwicklungen auch Plastiksintillatoren zum Einsatz.

## Ganzkörper-Scanner

Spezielle Art des →[Ganzkörperzählers](#), bei dem das kollimierte Messsystem langsam über den Körper des Probanden bewegt wird (Abscannen). Auf diese Weise erhält man Aussagen über die Verteilung der inkorporierten Aktivität im Körper. (s. VOG4)

## Ganzkörperzähler

Gerät zur Aktivitätsmessung und Identifizierung inkorporierter Radionuklide beim Menschen (aber auch bei Tieren); in seiner ursprünglichen Ausführung arbeitet das Gerät mit empfindlichen Szintillationszählern oder mit Proportionalzählern. Heute wird die Bezeichnung „Ganzkörperzähler“ oder „Body-Counter“ auch für nuklidspezifische Messeinrichtungen verwandt, die mit NaJ-Kristallen oder Germanium-Detektoren die Gammastrahlung der inkorporierten Aktivität nuklidspezifisch nachweisen. Die erforderlichen Messzeiten hängen von der Größe des Detektors und der gewünschten Nachweisgrenze ab. Mit großflächigen NaJ-Detektoren wird oft schon mit Messzeiten von 1-2 Minuten eine ausreichende Genauigkeit erreicht. Die Messzeiten mit hoch auflösenden Germanium-Detektoren liegen etwa einen Faktor 10 darüber.



Ganzkörperzähler mit Kalibrierphantom

Quelle: Forschungszentrum Jülich  
[http://www.fz-juelich.de/gz/sb\\_bodycounter](http://www.fz-juelich.de/gz/sb_bodycounter)

## Ganzkörperzählermessung

Begriff aus der Inkorporationsmesstechnik: individuelle Messung der aus dem gesamten Körper austretende Photonenstrahlung zur Ermittlung der im Körper vorhandenen Aktivität inkorporierter Radionuklide.

## Gasdiffusionsverfahren

→ Diffusionstrennverfahren

## Gasdurchflußzähler

→ **Proportionalzähler**, dessen Füllgas in einem ständigen Strom durch neues ersetzt wird; dadurch wird das Eindringen von Luft vermieden bzw. eingedrungene Luft wird ausgetrieben. Dies ermöglicht bezüglich des Messgases konstante Messbedingungen.

## Gasgekühlter Reaktor

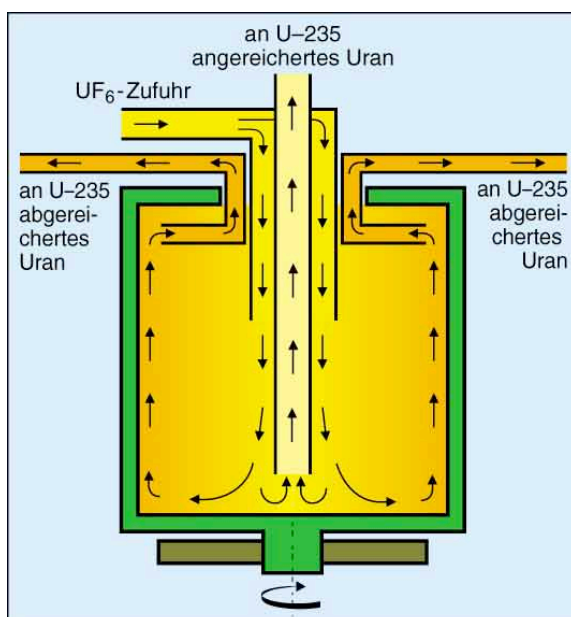
Kernreaktor, dessen Kühlmittel ein Gas ist (z.B. Helium, Kohlendioxid).

## Gasverstärkung

Durch Stoßionisation bewirkte Vermehrung der Zahl der Ladungsträger in einem → **Proportionalzählrohr** oder → **Geiger-Müller-Zählrohr**.

## Gaszentrifugenverfahren

Verfahren zur Isotopentrennung, bei dem schwere Atome von den leichten durch Zentrifugalkräfte abgetrennt werden. Der → **Trennfaktor** hängt von der Massendifferenz der zu trennenden Isotope ab. Das Verfahren ist zur Trennung der Uranisotope geeignet, der erreichbare Trennfaktor beträgt 1,25. Eine Urananreicherungsanlage nach diesem Verfahren ist in Gronau/Westfalen in Betrieb.



Prinzip des Gaszentrifugenverfahrens zur Urananreicherung

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## **GAU**

Abk. für **G**rößter **A**nzunehmender **U**nfall; Begriff aus der Reaktorsicherheit, heute ersetzt durch den umfassenderen Begriff des →[Auslegungsstörfalls](#).

## **GbV**

Abk. für →[Gefahrgutbeauftragtenverordnung](#)

## **GDFZ**

Abk. für →[Großflächen-Durchflusszählrohr](#)

## **Gefahrengruppe**

Einstufungsmerkmal zur Vorbereitung einer Brandbekämpfung →[Brandbekämpfung in Strahlenschutzbereichen](#)

## **Gefahrgutbeauftragtenverordnung**

Verordnung über die Bestellung von und die Schulung der beauftragten Personen in Unternehmen und Betrieben (Gefahrgutbeauftragtenverordnung - GbV)

In der Fassung der Bekanntmachung vom 26. März 1998 (BGBl. I S. 648), zuletzt geändert am 2. November 2005, BGBl. I S. 3131

## **Gefahrgutbeauftragter**

Fachkundige Person im Gefahrgutrecht, die in einem Unternehmen die Aufgaben nach dem Gefahrgutrecht beaufsichtigt und steuert. Der Gefahrgutbeauftragte ist entsprechend den Anforderungen der Gefahrgutbeauftragtenverordnung (GbV) schriftlich zu bestellen, wenn der Betrieb an der Beförderung gefährlicher Güter mit Eisenbahn-, Straßen-, Wasser- oder Luftfahrzeugen beteiligt ist.

Der Gefahrgutbeauftragte hat unter der Verantwortung des Unternehmers oder Inhabers eines Betriebes im Wesentlichen die Aufgaben, im Rahmen der betroffenen Tätigkeit des Unternehmens oder Betriebes nach Mitteln und Wegen zu suchen und Maßnahmen zu veranlassen, die die Einhaltung der Vorschriften zur Beförderung gefährlicher Güter für den jeweiligen Verkehrsträger erleichtern. Der Gefahrgutbeauftragte nimmt insbesondere folgende Aufgaben wahr:

- Überwachung der Einhaltung der Vorschriften für die Gefahrgutbeförderung
- Unverzügliche Anzeige von Mängeln, die die Sicherheit beim Transport gefährlicher Güter beeinträchtigen, an den Unternehmer oder Inhaber des Betriebes
- Beratung des Unternehmers oder des Betriebes bei den Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Gefahrgutbeförderung
- Erstellung eines Jahresberichtes über die Tätigkeit des Unternehmens in Bezug auf die Gefahrgutbeförderung innerhalb eines halben Jahres nach Ablauf des Geschäftsjahres

## Gehäusedurchlassstrahlung

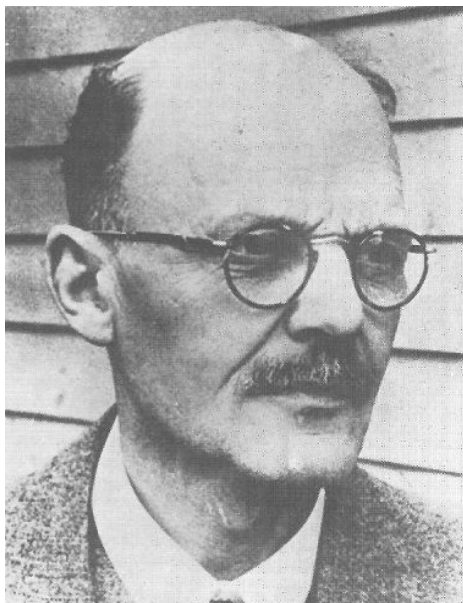
Begriff aus der Bestrahlungstechnik; →[Durchlassstrahlung](#), die das Gehäuse einer Komponente einer radiologischen Einrichtung durchdringt. Diese Durchlassstrahlung kann auch außerhalb des größten, einblendbaren Strahlenfeldes an der Strahlenaustrittsöffnung der Bestrahlungseinrichtung austreten. (s. DIN 6814-2, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Gehärtetes Spektrum

Wenn Gamma- oder Röntgenstrahlen durch eine Abschirmung dringen, werden vorwiegend niederenergetische Photonen durch den →[Photoeffekt](#) vernichtet. Der Anteil der Quanten mit niedriger Energie hat hinter der Abschirmung abgenommen, d.h. die Energieverteilung der Quanten ist verglichen mit der Anfangsverteilung zu höheren Energien verschoben. Dies wird als Härtung des Spektrums bezeichnet. Die Strahlungsintensität, das ist der Photonenfluss, ist nach Durchdringen der Abschirmung natürlich geringer.

## Geiger

Hans (Johannes) Geiger, \* 30.9.1882 in Neustadt an der Weinstraße, † 24.9.1945 in Potsdam, Physiker; Promotion in Erlangen, Assistent Rutherfords am physikalischen Institut in Manchester; 1912 – 1925 Leiter des Laboratoriums für Radioaktivität an der Physikalisch-technischen Reichsanstalt in Berlin; danach Professor an den Universitäten in Kiel, Tübingen und Berlin. Geiger forschte u.a. über die Ablenkung von Alphastrahlen in Materie und erkannte, dass die Ordnungszahl eines chemischen Elements gleich der Kernladungszahl seines Atomkerns ist. Geiger konstruierte bereits 1908 das Proportionalzählrohr und entwickelte dieses 1928 zusammen mit seinem Doktoranden W.M.Müller weiter zum →[Geiger-Müller-Zählrohr](#).



Hans Geiger

(Quelle:

<http://www.katharinen.de/physiker/geiger.htm>)

## Geiger-Müller-Zählrohr

Strahlungsnachweis- und -messgerät; es ist ein →[Proportionalzählrohr](#), das im Auslösebereich betrieben wird (Auslösezähler). In einer gasgefüllten Röhre liegt zwischen Zählrohrwand (Kathode) und einem isoliert aufgespannten Draht (Anode) eine Spannung von einigen 100 V an. Von der eindringenden ionisierenden Strahlung werden im Zählgas Primärladungsträger erzeugt, die im elektrischen Feld beschleunigt werden und dabei durch weitere Ionisationen Sekundärladungsträger erzeugen, die wiederum ionisieren. Zählgas und Gasdruck werden so gewählt, dass sich entlang des gesamten Zählrohres eine Ladungslawine ausbildet, die zur Anode abgesaugt wird und als elektrischer Impuls gezählt wird. Dieser Impuls ist unabhängig von der Höhe der Primärladung, d.h. unabhängig von Art und Energie des primären Teilchens, und etwa 100mal größer als die Impulse im →[Proportionalzählrohr](#). Die Entladungen werden gezählt. Die Impulsrate ist ein Maß für die Strahlungsintensität oder die Dosisleistung.

Als Zählgase werden Argon und Neon eingesetzt. Der Entladungsvorgang muss durch spezielle Maßnahmen beendet werden, weil während einer Entladung kein weiteres Teilchen nachgewiesen werden kann (Totzeit). Dazu dienen z.B. spezielle →[Löschgase](#), welche verhindern, dass bei der Neutralisation der positiven Ionen an der Kathode weitere Elektronen freigesetzt werden und so zu einer Dauerentladung führen. (Lit.: Mau85, VOG04)

## Geigerzähler

→[Geiger-Müller-Zählrohr](#)

## Gen

Teilabschnitt eines Chromosoms; ein Gen bestimmt die Ausbildung eines bestimmten Merkmals des Organismus (z.B. des Menschen) oder eine Organfunktion. Der Informationsgehalt eines Gens wird durch die Anzahl und Reihenfolge der es bildenden Basenpaare bestimmt. Die Summe aller Gene wird als →[Genom](#) bezeichnet. Genschäden, z.B. verursacht durch ionisierende Strahlen, können Erbschäden oder Organschäden zur Folge haben.

## Genehmigungsverfahren bei kerntechnischen Anlagen

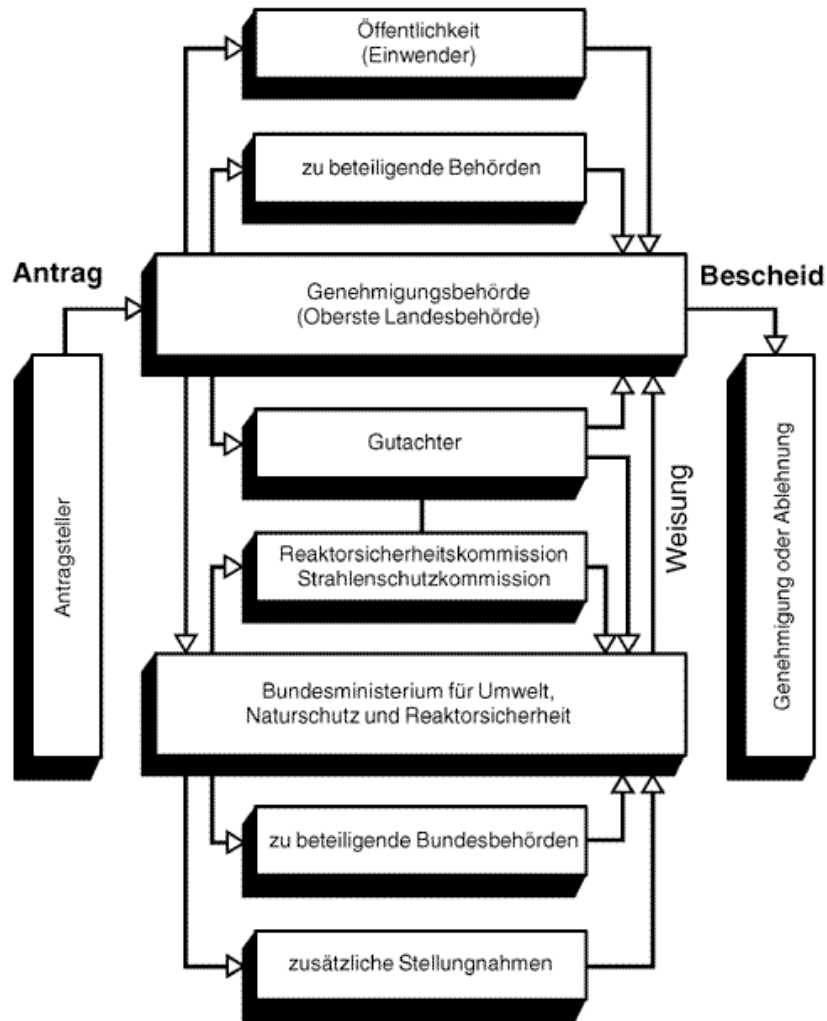
Der Antrag auf Genehmigung zum Bau und Betrieb einer kerntechnischen Anlage ist bei der Genehmigungsbehörde des Bundeslandes, in dem die Anlage errichtet werden soll, schriftlich zu stellen. Dem Antrag sind die Unterlagen beizufügen, die zur Prüfung der Genehmigungsvoraussetzungen erforderlich sind. Dazu gehört insbesondere ein Sicherheitsbericht, der Dritten die Beurteilung ermöglicht, ob sie durch die mit der Anlage und ihrem Betrieb verbundenen Auswirkungen in ihren Rechten betroffen sein können. Im Sicherheitsbericht sind die grundlegenden Auslegungsmerkmale, die sicherheitstechnischen Auslegungsgrundsätze und die Funktion der Anlage einschließlich ihrer Betriebs- und Sicherheitssysteme darzustellen. Sind die zur Auslegung erforderlichen Unterlagen vollständig, so hat die Genehmigungsbehörde das Vorhaben in ihrem amtlichen Veröffentlichungsblatt und außerdem in örtlichen Tageszeitungen, die im Bereich des Standortes der Anlage verbreitet sind, öffentlich bekanntzugeben. Während einer Frist von zwei Monaten sind bei der Ge-



Genehmigungsbehörde und am Standort des Vorhabens der Antrag, der Sicherheitsbericht und die Kurzbeschreibung der Anlage zur Einsicht auszulegen. Einwendungen können während der Auslegungsfrist schriftlich bei der Genehmigungsbehörde erhoben werden. Mit Ablauf der Auslegungsfrist werden alle Einwendungen ausgeschlossen, die nicht auf besonderen privatrechtlichen Titeln beruhen. Die Genehmigungsbehörde hat die Einwendungen mit dem Antragsteller und den Einwendern mündlich zu erörtern. Der Erörterungstermin dient dazu, die Einwendungen zu erörtern, soweit dies für die Prüfung der Genehmigungsvoraussetzungen von Bedeutung sein kann. Er soll den Einwendern Gelegenheit geben, ihre Einwendungen zu erläutern. Bei der Prüfung eines Antrages lässt sich die Behörde von unabhängigen Sachverständigen unterstützen. Dies sind in der Regel die Technischen Überwachungsvereine, die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit und andere Institutionen wie der Deutsche Wetterdienst und Experten von Hochschulinstituten und Forschungseinrichtungen. Bei Erhalt eines Genehmigungsantrags unterrichtet die Landesbehörde das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Dieses überwacht die Genehmigungstätigkeit der Landesbehörde, fordert notwendige Unterlagen an und holt, wenn erforderlich, weitere Stellungnahmen ein. Beratend zur Seite stehen ihm die Reaktorsicherheitskommission und die Strahlenschutzkommission. Die zuständige Landesbehörde entscheidet unter Würdigung des Gesamtergebnisses des Verfahrens. Die Genehmigung darf nur erteilt werden, wenn

- keine Tatsachen vorliegen, aus denen sich Bedenken gegen die Zuverlässigkeit des Antragstellers und der für die Errichtung, Leitung und Beaufsichtigung des Betriebs der Anlage verantwortlichen Personen ergeben, und die für die Errichtung, Leitung und Beaufsichtigung des Betriebs der Anlage verantwortlichen Personen die hierfür erforderliche Fachkunde besitzen,
- die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der Anlagen getroffen ist,
- die erforderliche Vorsorge für die Erfüllung gesetzlicher Schadensersatzverpflichtungen getroffen ist,
- der erforderliche Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter gewährleistet ist,
- überwiegend öffentliche Interessen, insbesondere im Hinblick auf die Reinhaltung des Wassers, der Luft und des Bodens, der Wahl des Standortes der Anlage nicht entgegenstellen.

Erteilte Genehmigungen können von Betroffenen vor den Verwaltungsgerichten angefochten werden.



Ablauf eines Genehmigungsverfahrens für kerntechnische Anlagen

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie

[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Ge(Li)-Detektor

→Lithiumdriftdetektoren

## Genetisch signifikante Dosis

→Dosis, genetisch signifikante

## Genetischer Strahlenschaden

→Strahlenschaden, genetischer

## Genom

Bezeichnung für den gesamten, beim Menschen in 23 Chromosomenpaaren enthaltenen Datensatz. Beim Menschen besteht das Genom aus etwa 40.000 bis 60.000

→**Genen**, das sind nur etwa doppelt so viele wie bei der Taufliede. Der Variationsreichtum der Proteine ist beim Menschen jedoch wesentlich größer als bei niederen Tieren.

## Geometrisch sicher

Begriff aus der Reaktortechnik; mit geometrisch sicher bezeichnet man ein Spaltstoff enthaltendes System, in dem aufgrund seiner geometrischen Anordnung keine sich selbst erhaltende Kettenreaktion auftreten kann.

## Gepäckdurchleuchtung

Die Gepäckkontrolle, wie sie z.B. auf Flughäfen praktiziert wird, erfolgt mit weichen Röntgenstrahlen (Röhrenspannung ca. 60 kV). Häufig wird die Röhre im Impulsbetrieb betrieben, wobei digitale Bilderzeugung und Speichertechnik nur kurze Einschaltzeiten erforderlich machen. Dies senkt die Ortsdosis außen am Gerät und dient dem Strahlenschutz des Personals. Die Ein- und Austrittsöffnungen des Geräts werden durch abschirmende Lamellen verdeckt, um die Streustrahlung nach außen zu minimieren.



Beispiel für ein Gerät zur Gepäckdurchleuchtung:  
Smith Heimann, High Scan 6030di  
[www.smiths-heimann.de](http://www.smiths-heimann.de)

## Germaniumdetektor

→**Reinstgermaniumdetektor**

## Gesamtbevölkerung

Gesamtheit aller Personen in einer anzugebenden Region; die Gesamtbevölkerung wird repräsentiert durch eine Anzahl nach statistischen Gesichtspunkten ausgewählter Personen. Kollektivdosisangaben für die Gesamtbevölkerung beinhalten nicht die Dosen aus der Tätigkeit als beruflich strahlenexponierte Personen oder aus Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Ausbildung in Strahlenschutzbereichen.

## **Geschlechtschromosomen**

Das Geschlecht des Menschen wird durch die beiden Geschlechtschromosomen X und Y bestimmt. Treffen in der befruchteten Eizelle zwei X-Chromosomen zusammen, so ergibt sich ein weibliches Lebewesen. Die Kombination X-Y definiert das männliche Geschlecht. Verschiedene Erbkrankheiten sind mit Schäden an den Geschlechtschromosomen verbunden. So sind z.B. Farbenblindheit oder Bluterkrankheit mit Schäden am X-Chromosom verknüpft. Strahleninduzierte Schäden an den Geschlechtschromosomen können zu Erbschäden führen.

## **Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit**

Die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH ist eine wissenschaftliche, von der öffentlichen Hand getragene gemeinnützige Gesellschaft. Ihr Auftrag ist die Beurteilung und Weiterentwicklung der technischen Sicherheit, vorrangig auf dem Gebiet der Kerntechnik. Ihre Arbeitsgebiete sind Bewertungen der technischen und betrieblichen Sicherheit, Forschung und Entwicklung sowie wissenschaftliche Beratung in sicherheitstechnischen Fragen. Die GRS löst ihre Aufgaben auf der Grundlage von Erkenntnissen und Erfahrungen aus Forschung und Entwicklung, Sicherheitsanalysen und Betriebsbewertungen. Die GRS hat über 500 Mitarbeiter. Davon sind rund 350 Ingenieure oder Wissenschaftler aus verschiedenen Fachrichtungen des Ingenieurwesens, der Physik, Chemie, Geochemie, Geophysik, Mathematik, Informatik, Biologie, Rechtswissenschaft und Meteorologie. Die GRS hat ihren Sitz in Köln und weitere Standorte in Garching bei München, in Braunschweig und in Berlin.

Internet: [www.grs.de](http://www.grs.de)

## **Gesellschaft für Schwerionenforschung**

Die Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt ist eine Großforschungseinrichtung, die von der Bundesrepublik Deutschland und dem Land Hessen finanziert wird. Die GSI betreibt eine Beschleunigeranlage, mit der Schwerionen auf bis zu 90 % der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden können. Im Einzelnen besteht die Anlage aus dem Linearbeschleuniger UNILAC, mit dem Energien von 2 bis 20 MeV pro Nukleon erreicht werden, dem Schwerionen-Synchrotron SIS (1 bis 2 GeV pro Nukleon) und dem Experimentier-Speicherring ESR. Experimente werden an 30 verschiedenen Experimentaufbauten durchgeführt. Von den insgesamt rund 700 Beschäftigten der GSI sind etwa 300 Wissenschaftler und Ingenieure. Daneben werden die Einrichtungen der GSI von nahezu 1000 externen Wissenschaftlern genutzt. Insgesamt sind an den Forschungsarbeiten bei der GSI Wissenschaftler von mehr als 100 Instituten aus über 25 Ländern beteiligt. Das Forschungsspektrum der GSI reicht von der Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Kern- und Atomphysik bis hin zu angewandten Themen wie Tumorthherapie, Materialforschung, Plasmaphysik und Beschleunigerentwicklung.

Internet: [www.gsi.de](http://www.gsi.de)

## **GeV**

Gigaelektronvolt; 1 GeV = 1 Milliarde eV; →Elektronvolt

## Gewebe-Wichtungsfaktoren

Für die verschiedenen Organe und Gewebe bestehen unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten →**stochastischer Strahlenwirkungen**. Diese unterschiedliche Empfindlichkeit für stochastische Strahlenschäden wird in der →**ICRP-Veröffentlichung 60**, in den →**Euratom-Grundnormen** für den Strahlenschutz vom Mai 1996 und in der →**Strahlenschutzverordnung** von 2001 durch den Gewebe-Wichtungsfaktor bei der Berechnung der →**effektiven Dosis** berücksichtigt. Der Gewebe-Wichtungsfaktor beschreibt den Anteil des Strahlenrisikos, das sich aus einer Bestrahlung eines Gewebes oder Organs für das Gesamtrisiko der bestrahlten Person ergibt. Zur Berechnung der effektiven Dosis werden die einzelnen Organdosiswerte mit dem jeweiligen Wichtungsfaktor multipliziert und die Produkte addiert.

Organ	Gewebe-Wichtungsfaktor $w_T$
Keimdrüsen	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
Bauchspeicheldrüse, Dünndarm, Gebärmutter, Gehirn, Milz, Muskel, Nebenniere, Niere, Thymusdrüse	0,05

Die Gewebe-Wichtungsfaktoren wurden im Wesentlichen aus den epidemiologischen Untersuchungen an den Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki abgeleitet. Wegen der starken Schwankungen der Ausgangsdaten wurden sie zu wenigen Gruppen gerundet. Sie berücksichtigen neben dem Todesrisiko durch Krebs und Leukämie auch das Risiko für Schäden ohne tödlichen Ausgang sowie das Risiko für schwere Erbschäden in den Folgegenerationen.

Lit.: ICRP60, VOG04

### gewebeähnlich

Begriff aus der Strahlenschutzmesstechnik; gewebeähnlich ist eine Kennzeichnung für einen Stoff in einem Strahlungsdetektor, dessen absorbierende und streuende

Eigenschaften für eine gegebene Strahlung mit denen eines bestimmten biologischen Gewebes ausreichend übereinstimmen.

## **Gewebeäquivalentes Material**

Material, dessen Dichte und Zusammensetzung dem des menschlichen Gewebes entspricht; nach der ICRU hat dieses Material die Dichte 1 g/cm<sup>3</sup> und folgende massenanteilige Zusammensetzung: 76,2 % Sauerstoff, 11,1 % Kohlenstoff, 10,1 % Wasserstoff, 2,6 % Stickstoff.

## **GGVSE**

Abk. für

Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße und mit Eisenbahnen (Gefahrgutverordnung Straße und Eisenbahn – GGVSE)

## **GGVSee**

Abk. für

Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter mit Seeschiffen (Gefahrgutverordnung See – GGVSee)

## **GKSS-Forschungszentrum Geesthacht**

Das GKSS-Forschungszentrum Geesthacht ist eines der 16 Helmholtz-Forschungszentren in der Bundesrepublik Deutschland. Materialforschung, Trenn- und Umwelttechnik sowie Umweltforschung sind die drei Forschungsschwerpunkte. In der Materialforschung konzentriert sich das Forschungszentrum vor allem auf neue Hochtemperaturwerkstoffe auf der Basis intermetallischer Verbindungen sowie auf Werkstoffe und Bauteile der Meerestechnik. Wichtiges Hilfsmittel zur Analyse ist dabei der Forschungsreaktor Geesthacht (FRG 1). Bei den Trenn- und Umwelttechniken handelt es sich um Verfahren zur Abtrennung von Schad- oder Wertstoffen aus flüssigen oder gasförmigen Gemischen mittels Membranen. Die Arbeiten auf dem Gebiet der Membrantechnologie erstrecken sich von der Modellierung und Entwicklung neuer polymerer Werkstoffe über Fertigung und Test der Membranfolien, der Herstellung von Membranmodulen, bis hin zum Bau von Pilotanlagen in Zusammenarbeit mit der Industrie. Von besonderem Interesse ist der Bereich Umweltforschung. Er dient der Erforschung ökologischer und klimatischer Entwicklungen und leistet somit einen Beitrag zur Festlegung gezielter Vorsorgemaßnahmen. Die räumlichen Schwerpunkte liegen hier auf der norddeutschen Küstenregion, den Ästuaren, dem Wattenmeer, der Boddenküste und der Ostsee.

Internet: [www.gkss.de](http://www.gkss.de)

## **Glasdosimeter**

→[Phosphatglasdosimeter](#)

## Gleichgewicht, radioaktives

Als radioaktives Gleichgewicht bezeichnet man den Zustand, der sich bei einer radioaktiven Zerfallsreihe, für welche die Halbwertszeit des Ausgangsnuklides größer ist als die Halbwertszeiten der Folgeprodukte, dann einstellt, wenn eine Zeit vergangen ist, die groß ist gegenüber der größten Halbwertszeit der Folgeprodukte. Die Aktivitätsverhältnisse der Glieder sind dann zeitlich konstant und die Aktivitäten der Tochternuklide nehmen mit der Halbwertszeit der Mutter ab. Man spricht von einem „laufenden Gleichgewicht“. Ist die Halbwertszeit der Mutter sehr groß gegen die Halbwertszeiten aller Tochternuklide, so stellt sich ein „stationäres Gleichgewicht“ ein, bei der alle Tochternuklide dieselbe Aktivität wie die Mutter haben.

## Gleichgewichtsfaktor

Begriff aus der Dosimetrie von Radon-Expositionen; für die Strahlenexposition ist die Aktivitätskonzentration der kurzlebigen Radon-Folgeprodukte in der Atemluft maßgeblich. Diese sind theoretisch mit der Radon-Aktivitätskonzentration im Gleichgewicht, in der Praxis ist dieses Gleichgewicht jedoch selten vorhanden (Ursachen sind z.B. Ablagerungsprozesse an Wänden oder Luftwechsel). Der Gleichgewichtsfaktor  $F$  gibt an, in welchem Umfang das Gleichgewicht zwischen Radon und seinen Folgeprodukten erreicht ist. In der Praxis liegen die Werte zwischen  $F=0,1$  und  $F=0,9$ .

Sofern nichts anderes bekannt ist, wird für Räume und viele Arbeitsplätze  $F=0,6$  und für Bereiche im Freien  $F=0,4$  angesetzt.

Das Produkt aus der Radonaktivitätskonzentration und dem Gleichgewichtsfaktor wird als gleichgewichtsäquivalente Radonkonzentration bezeichnet.

## Gleitschattendosimeter

Spezielle Art des Filmdosimeters zur Messung der Personendosis  $H_p(10)$ ; die enthaltenen Metall- und Kunststofffilter ermöglichen eine Bestimmung der Richtung der eingefallenen ionisierenden Strahlung durch Auswertung des Filterschattens und damit auch eine Kompensation der Richtungsabhängigkeit des ermittelten Dosismesswerts.

Internet: <http://www.mpanrw.de/dienstleistung/strahlenschutz/personendosimetrie/downloads/Film.pdf>

## Glove Box

→ [Handschuhkasten](#)

## Glühkurve

Die Glühkurve ist das Ergebnis der Auswertung eines → [Thermolumineszenz-Detektors](#) (TLD). Zur Auswertung wird das Detektormaterial aufgeheizt und das emittierte Licht über einen Photomultiplier in elektrischen Strom umgesetzt. Der Photomultiplierstrom in Abhängigkeit von der Ausheizzeit ist die Glühkurve. Die Fläche unter der Glühkurve ist ein Maß für die emittierte Lichtmenge und damit für die Dosis. Typische Werte für Ausheizzeit und Temperatur sind 20 s und 300 °C.



## Glühstrümpfe

Glühstrümpfe für Gaslampen können Thoriumnitrat und damit natürliche radioaktive Stoffe enthalten. Dies kann zu externen Strahlenexpositionen (z.B. bei der Lagerung größerer Mengen) und zu internen Strahlenexpositionen (beim Wechsel der verkohlten Glühstrümpfe) kommen. Bei der Lagerung wurden effektive Dosen bis zu 10 mSv im Jahr ermittelt. Die Inkorporationsdosen bei Wechsel werden niedriger eingeschätzt (< 1 mSv je Jahr). (VOG04)

## Goiania-Unfall

Strahlenunfall, benannt nach der brasilianischen Provinzhauptstadt Goiania; zwei Diebe stahlen 1987 aus einem verlassenen Institut für Radiotherapie ein ausgedientes Strahlentherapiegerät, dessen Metall sie für wertvoll hielten. Als Strahlenquelle enthielt das Gerät ein Cs-137-Salz, das bei der Zerlegung der Therapieeinrichtung und beim nachfolgenden Umgang (das Salz leuchtete im Dunkeln und war für die unwissenden Personen interessant) weiter verbreitet wurde. Erst nach dem Auftreten von Strahlenschäden bei den Beteiligten wurde den Behörden der Vorfall bekannt und es wurden Gegenmaßnahmen eingeleitet.

Die bei einigen Personen applizierten Dosen betragen 5 Gy– 7 Gy. Mindestens 4 Personen starben, darunter Frau und Tochter des Schrotthändlers, der die Therapieeinrichtung von den Dieben gekauft hatte. Weite Bereiche der Stadt waren kontaminiert, einige so stark, dass die Häuser evakuiert und in einigen Fällen abgerissen werden mussten.

## Golgi-Apparat

Verpackungs- und Transportsystem in der Säugetierzelle; seine Aufgabe besteht darin, Produkte des Zellstoffwechsels (z.B. Makromoleküle) innerhalb der Zelle geordnet zu verteilen.

## Gonadendosis

Strahlendosis an den Keimdrüsen (Hoden und Eierstöcke).

## Gorleben

Standort für mehrere kerntechnische Einrichtungen in Niedersachsen. Am Standort Gorleben werden ein →[Zwischenlager](#) für abgebrannte Brennelemente und ein Lager für schwachaktive Abfälle aus Kernkraftwerken betrieben. Eine Konditionierungsanlage zur Vorbereitung und Verpackung abgebrannter Brennelemente für die direkte Endlagerung (PKA) ist fertig gestellt, hat aber den „heißen“ Betrieb noch nicht aufgenommen. Für das Endlager des Bundes für radioaktive Abfälle einschließlich hochaktiver wärmeentwickelnder Abfälle - Glaskokillen mit Abfällen aus der Wiederaufarbeitung, konditionierte bestrahlte Brennelemente zur direkten Endlagerung - wurden die untertägigen Erkundungen über die Eignung des Salzstocks betrieben. Diese Erkundungen sind z. Z. von der Bundesregierung ausgesetzt.

## Gray

1. Louis Harold Gray (\* 10. November 1905 in London, † 9. Juli 1965 in Northwood) war ein britischer Physiker und Radiologe sowie Begründer der Radiobiologie. Seine Arbeit befasste sich mit der Wirkung von Strahlung und Radioaktivität auf biologische Systeme. Unter anderem definierte er die später nach ihm benannte SI-Einheit für die Energiedosis. 1933 begann er seine Arbeit im Mount-Vernon-Hospital in London, wo er 1936 gemeinsam mit William Bragg die Bragg-Gray-Gleichung entwickelte, mit der die Gammastrahlen-Absorption von Materialien bestimmt werden kann. Ab 1938 forschte er an den biologischen Effekten der Neutronenstrahlung. 1940 entwickelte er das Konzept der relativen biologischen Wirksamkeit von Neutronenstrahlung. 1950 begann er Studien zur Behandlung von Tumor-Zellen mit einer Sauerstoff-Überdruck-Therapie. 1953 wurde dann das Gray Laboratory am Mount-Vernon-Hospital begründet, an dem er mit Jack W. Boag an der Impulsradiolyse forschte.



L. H. Gray

Quelle: <http://lhgraytrust.org/images/gray12a.jpg>

2. Einheitenname für die Einheit der Energiedosis, Kurzzeichen: Gy.  
1 Gray = 1 Joule durch Kilogramm. Der Einheitenname Gray wurde in Erinnerung an Louis Harold Gray (1905 bis 1965) gewählt, der zu den fundamentalen Erkenntnissen in der Strahlendosimetrie beigetragen hat.  
Früher war für die Energiedosis die Einheit rad (rd) gebräuchlich; dabei gilt die Beziehung:  $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rd}$

## Grenzenergie

Maximalenergie der → **Bremsstrahlung**; bei Röntgenstrahlung ergibt sich die Grenzenergie in Elektronvolt (eV) aus der Spannung der Röntgenröhre in Volt.

## Grenzwert

Oberer Wert einer physikalischen Größe oder einer Strahlenschutzgröße, die zum Erreichen eines Schutzziels aufgrund gesetzlicher Vorgaben oder verwaltungsrechtlicher Festlegungen nicht überschritten werden darf. Beispiele sind die Dosisgrenzwerte aus der Strahlenschutzverordnung oder Grenzwerte für die Ableitung radioaktiver Stoffe aus einer kerntechnischen Anlage, die in der Genehmigung festgelegt sind. Man unterscheidet primäre Grenzwerte, welche die Schutzgrößen Organdosis und Effektive Dosis begrenzen, und abgeleitete Grenzwerte, welche die Schutzgrößen indirekt betreffen. Solche abgeleiteten Grenzwerte sind z.B.

- Grenzwerte für die Jahresaktivitätszufuhr durch Inhalation
- Grenzwerte für die Jahresaktivitätszufuhr durch Ingestion
- Abgeleiteter Grenzwert für die Aktivitätskonzentration in der Atemluft
- Grenzwerte für die Flächenkontamination (nach § 44 Abs. 3 StrlSchV)

## Grenzwert, Jahresaktivitätszufuhr

Abgeleiteter Grenzwert für die Jahresaktivitätszufuhr durch Inhalation oder Ingestion, bei dessen Einhaltung sichergestellt ist, dass die Grenzwerte für die Körperdosen nicht überschritten werden. Der jeweilige Grenzwert gilt für ein bestimmtes Radionuklid und ist so festgelegt, dass bei der zutreffenden Inkorporationsart (Inhalation oder Ingestion) die Folgedosis dem Jahresgrenzwert zum Zeitpunkt der Inkorporation entspricht.

## Großflächen-Durchflusszählrohr

Spezielles Proportionalzählrohr zur Ermittlung der Oberflächenkontamination an Gegenständen und Personen; in der Mitte des flachen, quaderförmigen Zählrohres ist der Zähldraht mäanderförmig angeordnet. Als Zählgas, das regelmäßig erneuert werden muss, kommen Kohlenwasserstoffe (z.B. Butan, Propan) zum Einsatz. Das Zählvolumen ist zur Eintrittsseite hin mit einer Folie abgedeckt (Eintrittsfenster), die in der Regel durch ein Metallgitter geschützt ist. Die Größe des Eintrittsfensters beträgt typischerweise 100 – 200 cm<sup>2</sup>.

Mit Großflächen-Durchflusszählrohren können Alpha- und Beta-Kontaminationen gemessen werden. Die Ansprechwahrscheinlichkeit für Photonen ist wegen der geringen Ordnungszahl der Atome im Zählgas gering. Zum Nachweis von Alphateilchen muss die Folie des Eintrittsfensters sehr dünn sein (< 1 mg/cm<sup>2</sup>). Eine Unterscheidung zwischen Alpha- und Betateilchen ist über die Impulsform der resultierenden elektrischen Signale möglich. → [Impulsformdiskriminierung](#)

Typische Ansprechwahrscheinlichkeit bei flächenhafter Kontamination: C-14: 2,5%, Co-60: 20%, Sr-90/Y-90: 35%, Tl-204: 30%

## Großflächen-Szintillationsdetektor

Messgerät zur Ermittlung der Oberflächenkontamination mit einem Plastik-Szintillator als Detektor; je nach Konstruktion sind diese Detektoren empfindlich für Alpha-, Beta- und Photonenstrahlung. Die Alpha-Empfindlichkeit wird durch eine Beschichtung des Plastiksintillators mit ZnS (→ [Szintillator](#)) erreicht. Die Trennung von Alpha- und Be-

ta-/Gammastrahlung erfolgt über eine Impulshöhenanalyse. Typische Ansprechwahrscheinlichkeit bei flächenhafter Kontamination: C-14: 14%, Sr-90/Y-90: 42% (bezogen auf Sr-90), Co-60: 23%, Cs-137: 35%, Am-241: 18%, Pu-238: 18%. Temperaturabhängigkeit: der Einsatz ist bis zu Temperaturen im Bereich -20 °C möglich. (s. auch KIR09)

## Großforschungseinrichtungen

Fünfzehn deutsche Großforschungseinrichtungen haben sich zur →'[Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren \(HGF\)](#)' zusammengeschlossen.

## GRS

Abk. für →'[Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit](#)

## Grundregeln des Strahlenschutzes

Im praktischen Strahlenschutz gibt es fünf Grundregeln, die beim Umgang mit Strahlenquellen und bei Aufenthalt in Strahlungsbereichen beachtet werden sollen, um die Strahlenexposition insbesondere durch äußere Bestrahlung möglichst gering zu halten:

1. **Aktivität begrenzen:** Die Aktivität des radioaktiven Stoffes ist auf das für den Anwendungszweck unbedingt erforderliche Maß zu begrenzen
2. **Aufenthaltszeit begrenzen:** Die Aufenthaltszeit in Strahlenfeldern ist auf das unbedingt erforderliche Maß zu begrenzen.
3. **Abstand halten:** Da die Dosisleistung mit zunehmendem Abstand von der Strahlenquelle abnimmt, soll der Abstand zur Strahlenquelle möglichst groß gehalten werden.
4. **Abschirmung nutzen:** Strahlenquellen sind möglichst abzuschirmen und vorhandene Abschirmungen sind beim Aufenthalt in der Nähe der Strahlenquelle zu nutzen.
5. **Anweisungen des Strahlenschutzfachpersonals befolgen:** Beim Aufenthalt in Strahlenschutzbereichen müssen die Anweisungen des orts- und fachkundigen Strahlenschutzpersonals unbedingt befolgt werden.

Diese Grundregeln werden auch als die 5 A bezeichnet. In verkürzter Form (Nr. 2 – 4) sind sie auch als die 3 A bekannt.

## GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit

Das GSF wurde 2008 in →'[Helmholtzzentrum München](#)' umbenannt.

## GSI

Abk. für →'[Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH](#)

## Gy

Einheitenkurzzeichen für die Einheit der Energiedosis →'[Gray](#)

# H

## H-3

Kurzzeichen für → [Tritium](#)

## Hadron

Elementarteilchen, das der starken Wechselwirkung unterliegt; zu den Hadronen gehören Baryonen (Neutronen, Protonen), Mesonen und Hyperonen → [Elementarteilchen](#)

## Hafnium

Metall; Neutronenabsorber, der vornehmlich im thermischen und epithermischen Neutronen-Energiebereich wirksam ist. Hafnium wird bevorzugt als heterogenes Neutronengift zur Vermeidung von Kritikalitätsstörfällen eingesetzt; es hat eine hohe Strahlen- und Korrosionsbeständigkeit.

## Hahn, Otto

→ [Otto Hahn](#)

## Hahn-Meitner-Institut

Das Hahn-Meitner-Institut (HMI) GmbH in Berlin ist eines der 15 Helmholtz-Forschungszentren in der Bundesrepublik Deutschland. Es hat als wissenschaftliche Schwerpunkte die 'Struktur und Dynamik kondensierter Materie' und die 'Solarenergieforschung'. Für die Strukturforschung betreibt das HMI den Forschungsreaktor BER II (Berliner Experimentier-Reaktor II). Die Experimentiereinrichtungen werden zu rund zwei Dritteln von Gastgruppen genutzt. Themen sind atomare und magnetische Strukturen fester Körper, innere Dynamik und Phasenumwandlung in kondensierter Materie sowie thermomechanische Beanspruchung von Werkstoffen. Methoden der Neutronenaktivierung, die für Fragen der Spurenelementanalyse eingesetzt werden, ergänzen die Arbeiten am Forschungsreaktor. In der Solarenergieforschung steht die Entwicklung von Mustersolarzellen mit neuen photovoltaischen Materialien im Vordergrund. Zu den Forschungsthemen gehören die grundlegenden atomarstrukturellen und elektronischen Eigenschaften photovoltaischer Materialien, spezielle Dünnschichtsysteme und kleinste Clusterteilchen. Ziel ist die Entwicklung von effizienten, preiswerten, stabilen und ökologisch unbedenklichen Solarzellen.

Internet: [www.hmi.de](http://www.hmi.de)

## Halbleiterdetektor (Halbleiterzähler)

Nachweisgerät für → [ionisierende Strahlung](#) aus Halbleitermaterial (z.B. Ge, Si, CdTe); es wird der Effekt ausgenutzt, dass im Halbleitermaterial (Germanium, Silizium) bei Bestrahlung freie Ladungsträger (Elektron-Loch-Paare) entstehen, die durch

eine außen angelegte Spannung abgesaugt und in einen elektrischen Impuls umgewandelt werden. Die Ladungsmenge und damit der Stromimpuls an den Elektroden ist der absorbierten Energie proportional und kann nach geeigneter Verstärkung zur Messung von Teilchen- bzw. Photonenenergien herangezogen werden. Voraussetzung für den Einsatz als Detektor ist, dass die Ladungsträgerkonzentration durch natürliche Fehlstellen im Detektormaterial klein im Vergleich zu der durch die Strahlung erzeugten Ladungsträgerkonzentration ist. Dies bedingt möglichst reines Halbleitermaterial. Zusätzlich wird durch geeignete Maßnahmen im empfindlichen Messvolumen des Halbleiters die Ladungsträger-Konzentration weiter verringert. Dies wird z.B. dadurch erreicht, dass das empfindliche Halbleitervolumen als Sperrschichtzone eines p-n-Übergangs ausgebildet wird, wobei die Spannung in Sperrrichtung anliegt. Halbleiterzähler sind wegen ihres hohen Energieauflösungsvermögens besonders zur Spektroskopie von Gammastrahlung geeignet. Man unterscheidet in der Praxis z.B. →[Oberflächensperrschicht-Detektoren](#), →[Reinstgermanium-Detektoren](#) und →[Lithiumdriftdetektoren](#).

## Halbwertsbreite

Begriff aus der →[Spektrometrie](#); Breite eines Peaks im Spektrum auf der Höhe des halben Peakmaximums. Mit sinkender Halbwertsbreite steigt das Energie-Auflösungsvermögen

## Halbwertschichtdicke

Begriff aus der Bestrahlungstechnik; die Halbwertschichtdicke ist für ein eng kollimiertes, paralleles Photonen-Strahlenbündel definiert. Sie ist die Dicke eines Stoffes, welche die Standard-Ionendosisleistung (→[Standard-Ionendosis](#)) in großem Abstand hinter der Schicht auf die Hälfte herabsetzt. Der große Abstand hinter der absorbierenden Schicht soll sicherstellen, dass Streustrahlung vernachlässigt werden kann und nur der Strahlungsanteil berücksichtigt wird, der ohne Wechselwirkung die Schicht durchläuft.

Der Begriff Halbwertschichtdicke wird generell auch auf der Basis anderer Dosisleistungen (z.B. Äquivalentdosisleistung) im Strahlenschutz verwendet.

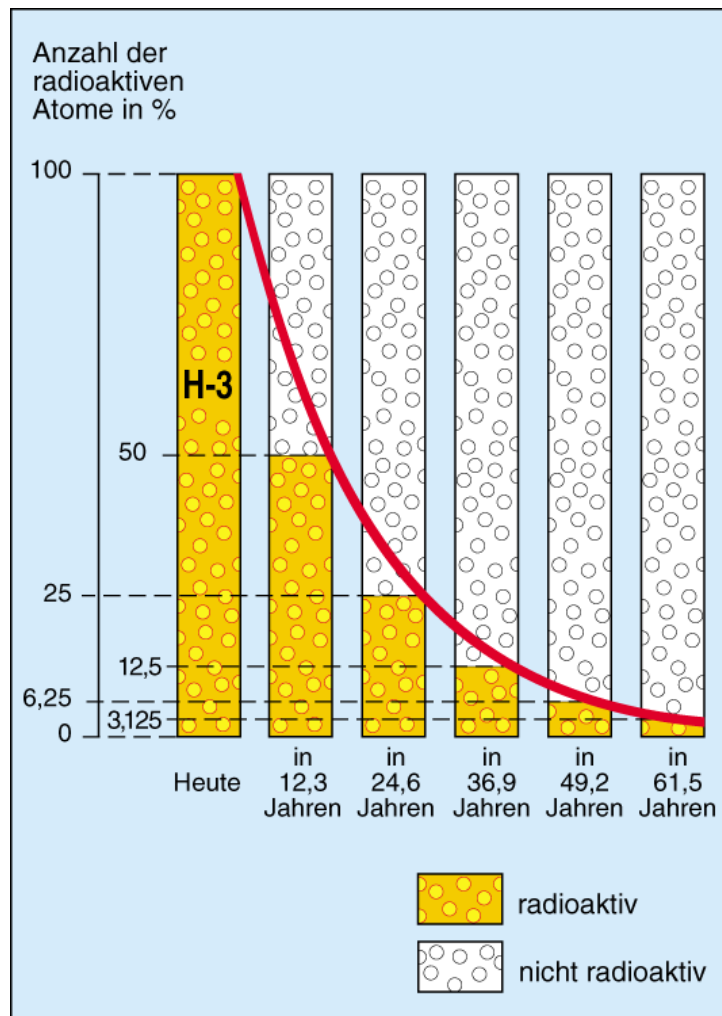
## Halbwertsdicke

Schichtdicke eines Materials, die die Intensität einer Strahlung durch Absorption und Streuung um die Hälfte herabsetzt.

## Halbwertszeit (physikalische)

Die Zeit, in der die Hälfte der Kerne in einer Menge von Radionukliden zerfällt. Die Halbwertszeiten bei den verschiedenen Radionukliden sind sehr unterschiedlich, z. B. von  $7,2 \cdot 10^{24}$  Jahren bei Tellur-128 bis herab zu  $2 \cdot 10^{-16}$  Sekunden bei Beryllium-8. Zwischen der Halbwertszeit  $T$ , der →[Zerfallskonstanten](#)  $\lambda$  und der mittleren Lebensdauer  $\tau$  (→[Lebensdauer, mittlere](#)) bestehen folgende Beziehungen:

$$\lambda = \ln 2 / T ; \quad T = \ln 2 / \lambda ; \quad \tau = 1 / \lambda$$



Zerfallskurve von Tritium (H-3), Halbwertszeit 12,3 Jahre

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

Die Halbwertszeit lässt sich graphisch leicht aus der zeitlichen Veränderung der Aktivität ermitteln. Wegen des Zerfallsgesetzes

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2 \cdot t}{T}} = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

ergibt sich eine Gerade, wenn man den natürlichen Logarithmus der Aktivität (ln A) gegen die Zeit aufträgt. Aus der Steigung m lässt sich T ermitteln:  $m = -\ln 2 / T$

### Halbwertszeit, biologische

Die Zeit, in der ein biologisches System, beispielsweise ein Mensch oder Tier, auf natürlichem Wege die Hälfte der aufgenommenen Menge eines bestimmten Stoffes aus dem Körper oder einem speziellen Organ wieder ausscheidet. Die biologische Halbwertszeit ist von der Art des Stoffes und seiner chemischen Form abhängig. Für den Erwachsenen gelten etwa folgende biologische Halbwertszeiten:



Tritium (Ganzkörper): 10 Tage  
 Cäsium (Ganzkörper): 110 Tage  
 Iod (Schilddrüse): 80 Tage  
 Plutonium: 20 Jahre (Leber), 50 Jahre (Skelett)

## Halbwertszeit, effektive

Die Zeit, in der in einem biologischen System die Menge eines Radionuklids auf die Hälfte abnimmt, und zwar im Zusammenwirken von radioaktivem Zerfall und Ausscheidung infolge biologischer Prozesse.

$$T_{eff} = \frac{T_{phys} \cdot T_{biol}}{T_{phys} + T_{biol}}$$

$T_{phys}$ : physikalische Halbwertszeit

$T_{biol}$ : biologische Halbwertszeit

Für einige Radionuklide sind in der Tabelle die physikalische, biologische und die daraus ermittelte effektive Halbwertszeit für erwachsene Personen angegeben.

Nuklid	physikalische Halbwertszeit	biologische Halbwertszeit	effektive Halbwertszeit
Tritium	12,3 a	10 d	10 d
Iod-131	8 d	80 d	7,2 d
Cäsium-134	2,1 a	110 d	96 d
Cäsium-137	30,2 a	110 d	109 d
Plutonium-239	24100 a	50 a	49,9 a

Beispiele für effektive Halbwertszeiten

## Halbwerttiefe

Die Halbwerttiefe wird für energiereiche Elektronenstrahlung definiert. Sie ist die in einem Standardmedium (Wasser) gemessene Tiefe des Punktes, an dem unter bestimmten Messbedingungen 50 % der maximalen Anzeige (an der Oberfläche des Wasserphantoms) eines Ionisationsdosimeters erreicht werden. Aus der Halbwerttiefe lässt sich die mit der spektralen → [Teilchenfluenz](#) gewichtete mittlere Energie der Elektronen an der Phantomboberfläche ermitteln. (siehe auch DIN 6814-2 und DIN 6800-2, → [DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Halogenzähler

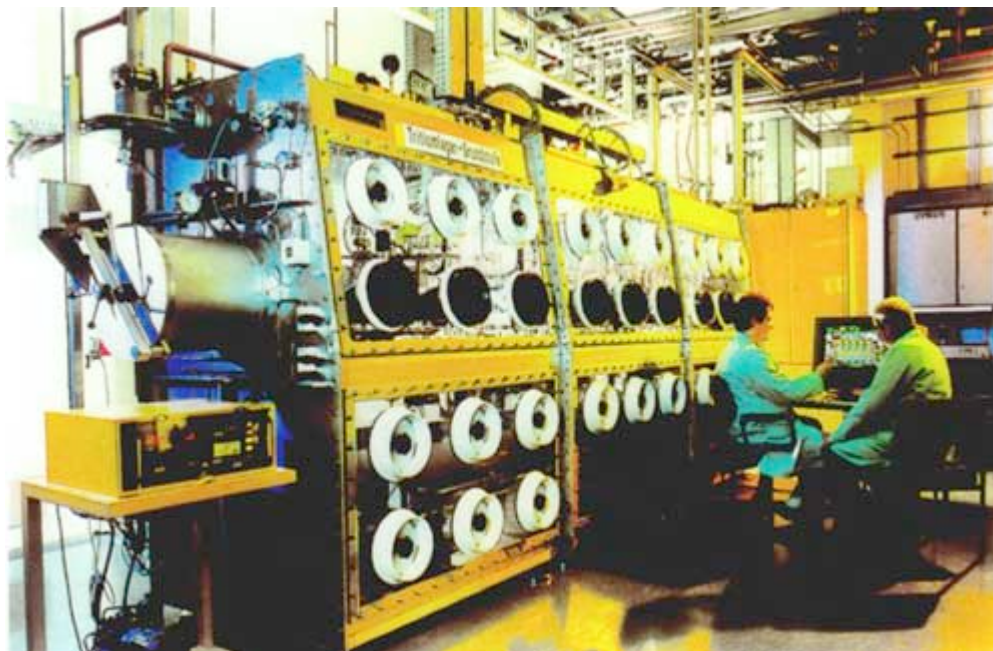
→**Geiger-Müller-Zählrohr**, dessen Argon- oder Neonzählgas einige Prozent eines Halogens,  $\text{Cl}_2$  oder  $\text{Br}_2$ , zugesetzt sind, um eine Selbstlöschung der Gasentladung zu erreichen.

## Hand-Fuß-Kleidermonitor (HFK-Monitor)

Messgerät zur Kontaminationsmessung an Personen; der HFK-Monitor besitzt in der Regel fest eingebaute Großflächen-Durchflusszählrohre für die Hände und die Füße sowie eine bewegliche Kleidersonde, mit der die übrige Körperoberfläche ausgemessen werden kann. Über →**Impulsformdiskriminierung** werden Alpha- und Beta-Kontamination getrennt gemessen.

## Handschuhkasten

Gasdichter Kasten, in dem mit Hilfe in den Kasten hineinreichender Handschuhe bestimmte radioaktive Stoffe, z. B. Tritium oder Plutonium, gefahrlos bearbeitet werden können. Aus praktischen Gründen sind die Handschuhkästen aus durchsichtigem Kunststoff gefertigt oder sie besitzen an der Vorderseite ein großes Fenster.



Labor zur Handhabung von gasförmigen Tritium in einer Reihe von Handschuhkästen

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie

[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Harrisburg

In der Nähe von Harrisburg, Pennsylvania, USA befindet sich das Kernkraftwerk Three Mile Island mit zwei Druckwasserreaktoren. Im Block 2 ereignete sich am 28.03.1979 ein schwerer Unfall mit partieller Kernschmelze. Die Spaltprodukte wurden fast vollständig im Reaktordruckbehälter und im Sicherheitsbehälter zurückge-

halten. Da die Rückhaltefunktion des Sicherheitsbehälters entsprechend der Auslegung funktionierte, kam es nur zu Aktivitätsfreisetzungen von Xenon-133 und sehr geringen Anteilen von I-131 in die Umgebung, die zu einer rechnerisch maximalen Dosis von 0,85 mSv führten.

## Härtungsgleichwert

Der Härtungsgleichwert einer Stoffschicht (siehe auch →[Filterung](#)) ist diejenige Dicke eines Vergleichsstoffes, der für eine bestimmte Strahlenqualität die gleiche Härtung der Strahlung bewirkt wie die vorgegebene Stoffschicht. Anwendung findet diese Bezeichnung z.B. bei Filtern von Beschleunigungseinrichtungen (z.B. Al-Härtungsgleichwert oder Cu-Härtungsgleichwert eines Eigenfilters). Siehe auch DIN 6814-2, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)

## Hautdosis

Organdosis der Haut; zur Ermittlung der Hautdosis wird die Energiedosis in 0,07 mm Tiefe über die gesamte Hautfläche gemittelt und mit dem →[Gewebewichtungsfaktor](#) 0,01 und dem zutreffenden →[Strahlungs-Wichtungsfaktor](#) multipliziert. Beim Spezialfall „lokale Hautdosis“ erfolgt die Mittelung über 1 cm<sup>2</sup>.

Im praktischen Strahlenschutz sind oft lokale Hautdosen aufgrund einer kleinflächigen Kontamination der Haut zu bewerten. Die Haut-Dosisleistung  $\dot{H}_{lok}$ , die aufgrund einer solchen Kontamination erzeugt wird, kann über die Beziehung

$$\dot{H}_{lok} = f_H \cdot A; \quad A = \text{flächenbezogene Aktivität in Bq/cm}^2$$

ermittelt werden. Die Dosisleistungsfaktoren  $f_H$  sind in der Literatur tabelliert. Für einige wichtige Nuklide sind Werte in der Tabelle angegeben.

Nuklid	$f_H$ in $\mu\text{Sv/h cm}^2/\text{Bq}$
Ag-110m	0,54
C-14	0,3
Co-60	1,1
Cs-137+	1,5
I-131	1,4
Ra-226+	790
Sb-124	1,5
Sr-90+	3,0

Dosisleistungsfaktoren einiger Nuklide für lokale Hautkontaminationen (VOG04)

Falls sich die flächenbezogene Aktivität aufgrund des radioaktiven Zerfalls während der Kontaminationsdauer  $t$  maßgeblich ändert, muss dies berücksichtigt werden. Die lokale Hautdosis ergibt sich dann durch Integration der obigen Gleichung über die Zeit  $t$ :

$$H_{lok} = 1,44 f_H A T (1 - e^{-\ln 2 \frac{t}{T}})$$

$T$  = Halbwertszeit des kontaminierenden Radionuklids

## **HAW**

Abk. für **High Active Waste**; hochaktiver Abfall; hochaktiver Abfall erzeugt so viel Wärme, dass er bei der Lagerung nicht nur abgeschirmt, sondern auch gekühlt werden muss. Beispiel: Abgebrannte Brennelemente im Lagerbehälter mit Kühlrippen

## **HDR**

Ehemaliger Heißdampfreaktor Großwelzheim/Main, Siedewasserreaktor mit integrierter nuklearer Überhitzung mit einer elektrischen Bruttoleistung von 25 MW, nukleare Inbetriebnahme am 14.10.1969; im April 1971 abgeschaltet. Die Anlage wurde nach der Abschaltung über viele Jahre im Rahmen von Forschungsvorhaben zur Reaktorsicherheit genutzt. Die Demontage der Anlage ist abgeschlossen und der Zustand 'grüne Wiese' hergestellt.

## **Head-End**

Begriff aus der Wiederaufarbeitungstechnik; erster Verfahrensschritt der Wiederaufarbeitung. Das Head-End umfaßt alle Verfahrensschritte von der mechanischen Zerlegung der Brennelemente bis zur chemischen Auflösung des abgebrannten Brennstoffes zur Vorbereitung der Extraktion. Es sind dies im Einzelnen: Die Brennelemente werden einer Zerlegemaschine zugeführt, die die Brennstabbündel oder nach einer Vereinzelung die einzelnen Brennstäbe in ca. 5 cm lange Stücke zerschneidet. Zur Auflösung des bestrahlten Brennstoffes fallen die Brennstabstücke in einen Auflöser, wo Uran, Plutonium und Spaltprodukte durch konzentrierte Salpetersäure gelöst werden. Nach Beendigung des Lösevorganges wird die Brennstofflösung durch Filtern oder Zentrifugieren von Feststoffpartikeln gereinigt und zur Bilanzierung des Gehaltes an Uran und Plutonium in einen Pufferbehälter übergeführt. Übrig bleibt im Auflöser das gegenüber Salpetersäure beständige Hüllmaterial der Brennstäbe aus Zirkaloy. →[Tail-End](#)

Aus Strahlenschutz-Gründen finden diese Vorgänge automatisiert oder fernbedient in Heißen Zellen statt.

## **heiß**

Ein Ausdruck, der in der Kerntechnik im Sinne von 'hochaktiv' verwendet wird.

## **Heiße Werkstatt**

Werkstatt zur Instandsetzung von radioaktiv kontaminierten Komponenten aus Kontrollbereichen; die Ausstattung ist oft konventionell, jedoch gibt es nach Strahlenschutzgesichtspunkten abgestufte Arbeitsbereiche entsprechend der Zuordnung zu Strahlenschutz zonen.

## **Heiße Zelle**

Stark abgeschirmtes, dichtes Gehäuse, in dem radioaktive Stoffe hoher Aktivität mit Hilfe von Manipulatoren fernbedient gehandhabt werden; dabei können die Arbeitsvorgänge in der Regel durch Bleiglasfenster beobachtet werden. Das Personal hält sich dabei in einem Bereich niedriger Ortsdosisleistung auf. Die Höhe dieser Ortsdosisleistung wird durch die Auslegung der Abschirmwände und -fenster bestimmt.



Heiße Zellen, Bedienstete mit Manipulatoren für fernbedientes Arbeiten

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Heißes Laboratorium

Für den sicheren Umgang mit radioaktiven Stoffen hoher Aktivität ausgelegtes Laboratorium; es enthält im Allgemeinen mehrere →[Heiße Zellen](#).

## Helfende Person

Spezieller Begriff aus dem Regelungsbereich der Strahlenschutzverordnung; →[Person, helfende](#)

## HelmholtzZentrum München

Das HelmholtzZentrum München ist aus dem GSF-Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit hervorgegangen. Es ist das Deutsche Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt. Es erforscht chronische Krankheiten, die aus dem Zusammenwirken von Umweltfaktoren und individueller genetischer Disposition entstehen. Dabei werden die Bereiche Biomedizin und Umweltforschung verknüpft.

Das Helmholtz Zentrum München setzt auf Grundlagenforschung, international genutzte experimentelle Plattformen sowie auf Klinische Kooperationsgruppen und Zentren für Translationale Medizin in Kooperationen mit den Münchner Universitäten sowie mit anderen nationalen und international führenden Institutionen. Besonderes Gewicht wird auf die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses und die Personalentwicklung gelegt.

Internet: [www.helmholtz-muenchen.de](http://www.helmholtz-muenchen.de)

## HEPA-Filter

Abk. für **H**igh-**E**fficiency **P**articulate **A**ir filters; in Deutschland Schwebstofffilter der Sonderklasse S; häufig auch 'Absolutfilter' genannt.

## Herausbringen aus dem Kontrollbereich

Gegenstände, die aus dem Kontrollbereich herausgebracht werden sollen und außerhalb von Strahlenschutzbereichen verwendet werden sollen, müssen nach § 44 Abs.3 hinsichtlich ihrer Oberflächenkontamination und ihrer spezifischen Aktivität die Freigabewerte aus Anlage 3 StrlSchV unterschreiten. Die Kontrolle der spezifischen Aktivität ist jedoch nur für Gegenstände mit einer Masse ab 3 kg erforderlich.

Das Herausbringen steht damit in Konkurrenz zur Freigabe nach § 29 StrlSchV. Es ist für den Betreiber einer Anlage insofern einfacher, als kein Freigabebescheid erforderlich ist und das Herausbringen in der Regel in Eigenregie ohne besondere behördliche Kontrollen erfolgt. Eine klare Abgrenzung beider Verfahren gibt es zur Zeit nicht. Nach einer Empfehlung der SSK soll sich das Herausbringen nur auf Gegenstände beziehen, die nicht von der Genehmigung erfasst sind (SSK02). Außerdem fallen Abfälle immer unter die Freigabe nach § 29 StrlSchV.

## Herausgabe

Der Begriff der Herausgabe wurde erstmalig von den Betreibern der Kernkraftwerke für die Entlassung nicht kontaminierter und nicht aktivierter Stoffe und Gegenstände aus dem Geltungsbereich einer Genehmigung vorgeschlagen. Die Herausgabe steht damit in „Konkurrenz“ zur →[Freigabe](#), die sich auf kontaminierte und/oder aktivierte Stoffe bezieht, setzt allerdings voraus, dass die nicht kontaminierten und nicht aktivierten Stoffe von einer atomrechtlichen oder strahlenschutzrechtlichen Genehmigung erfasst sind.

Für die Abgrenzung zur Freigabe ist der Nachweis erforderlich, dass der betreffende Stoff nicht aktiviert und nicht kontaminiert ist. Die Randbedingungen dafür sind in Deutschland nicht einheitlich festgelegt. (BIR08)

Die Herausgabe ist bisher rechtlich nicht fixiert, wird aber gleichwohl in der Praxis verwendet. Dies geschieht zurzeit noch mit unterschiedlichen Definitionen dieses Begriffs. Es wird erwartet, dass eine verbindliche Definition im →[Stillelegungsleitfaden](#) des BfS getroffen wird, der sich zurzeit in der Überarbeitung befindet.

## Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren

Fünfzehn deutsche Großforschungseinrichtungen haben sich in der 'Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren' (HGF) zusammengeschlossen. Als Wissenschaftsorganisation fördert die HGF den Erfahrungs- und Informationsaustausch ihrer Mitglieder, sowie die Koordinierung der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, nimmt Aufgaben im gemeinsamen Interesse wahr und vertritt die Belange der Helmholtz-Gemeinschaft nach außen. Die Helmholtz-Zentren betreiben naturwissenschaftlich-technische sowie biologisch-medizinische Forschung und Entwicklung. Sie leisten wesentliche Beiträge zu den staatlich geförderten Programmen im Bereich der Energieforschung und Energietechnik, der physikalischen Grundlagenforschung, der Transport- und Verkehrssysteme, der Luft- und Raumfahrtforschung, der Informationstechnologie, der Meerestechnik und der Geowissenschaften, des Umweltschutzes und der Gesundheit, der Biologie und Medizin sowie der Polarforschung. Ihre Grundfinanzierung erhalten die Helmholtz-Zentren zu 90 Prozent vom Bund und zu 10 Prozent von den jeweiligen Sitzländern. Die Helmholtz-



Zentren verfügen über ein Gesamtbudget von etwa 2,2 Milliarden Euro. Rund 24.000 Personen sind dort beschäftigt.

Internet: [www.bmbf.de/de/238.php](http://www.bmbf.de/de/238.php)

Zur Helmholtz-Gemeinschaft gehören:

- AWI, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung ([www.awi-bremerhaven.de](http://www.awi-bremerhaven.de))
- DESY, →[Deutsches Elektronen-Synchrotron](#), Hamburg ([www.desy.de](http://www.desy.de))
- DKFZ, →[Deutsches Krebsforschungszentrum](#), Heidelberg ([www.dkfz.de](http://www.dkfz.de))
- DLR, Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt ([www.dlr.de](http://www.dlr.de))
- FZJ, →[Forschungszentrum Jülich](#) ([www.fz-juelich.de](http://www.fz-juelich.de))
- FZK, →[Forschungszentrum Karlsruhe](#) ([www.fzk.de](http://www.fzk.de))
- GBF, Gesellschaft für Biotechnologische Forschung ([www.gbf.de](http://www.gbf.de))
- GFZ, GeoForschungsZentrum Potsdam ([www.gfz-potsdam.de](http://www.gfz-potsdam.de))
- →[GKSS-Forschungszentrum Geesthacht](#) ([www.gkss.de](http://www.gkss.de))
- GSI, →[Gesellschaft für Schwerionenforschung](#), Darmstadt ([www.gsi.de](http://www.gsi.de))
- →[HelmholtzZentrum München](#) ([www.helmholtz-muenchen.de](http://www.helmholtz-muenchen.de))
- HMI, →[Hahn-Meitner-Institut](#) Berlin ([www.hmi.de](http://www.hmi.de))
- IPP, →[Max-Planck-Institut für Plasmaphysik](#), Garching ([www.ipp.mpg.de](http://www.ipp.mpg.de))
- MDC, Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin ([www.mdc-berlin.de](http://www.mdc-berlin.de))
- UFZ, Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle ([www.ufz.de](http://www.ufz.de))

## Heterogene Photonenstrahlung

Begriff aus der Bestrahlungstechnik; Photonenstrahlung, bei der die zweite →[Halbwertschichtdicke](#)  $s_2$  größer als die erste Halbwertschichtdicke  $s_1$  ist. Die Photonen in der Strahlung haben unterschiedliche Energien. Siehe auch →[homogene Photonenstrahlung](#)

## Heterogener Reaktor

Kernreaktor, in dem der Brennstoff vom Moderator getrennt vorliegt; Gegenteil: →[homogener Reaktor](#). Die meisten Reaktoren sind heterogen.

## HFK-Monitor

Abk. für →[Hand-Fuß-Kleider-Monitor](#)

## HFR

Abk. für [Hochflußreaktor](#); Forschungsreaktor im →[ILL](#) in Grenoble; maximale Neutronenflußdichte:  $1,5 \cdot 10^{15}$  Neutronen/cm<sup>2</sup> s, Leistung: 57 MW.

## HGF

Abk. für →[Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren](#)



## HMI

Abk. für →[Hahn-Meitner-Institut](#)

### Hochschutzgerät

Nach Anlage 2 Nr. 2 RöV ist ein Hochschutzgerät eine Röntgeneinrichtung, die folgende Eigenschaften besitzt:

- Das Schutzgehäuse umschließt außer der Röntgenröhre oder dem Röntgenstrahler auch den zu behandelnden oder zu untersuchenden Gegenstand vollständig.
- Die Ortsdosisleistung im Abstand von 0,1 m von der berührbaren Oberfläche des Schutzgehäuses überschreitet bei den angegebenen maximalen Betriebsbedingungen nicht den Wert von 25  $\mu\text{Sv/h}$ .
- Die Röntgenröhre oder der Röntgenstrahler kann nur bei vollständig geschlossenem Schutzgehäuse betrieben werden. Dies gilt jedoch nicht für
  - Schutzgehäuse, in die ausschließlich hineingefasst werden kann, wenn die Ortsdosisleistung im Innern bei den angegebenen maximalen Betriebsbedingungen 0,25 mSv/h nicht überschreitet, oder
  - Untersuchungsverfahren, die einen kontinuierlichen Betrieb des Röntgenstrahlers erfordern, wenn die Ortsdosisleistung im Innern des geöffneten Schutzgehäuses 25  $\mu\text{Sv/h}$  nicht überschreitet.

### Hochtemperaturreaktor

Der Hochtemperaturreaktor (HTR) wurde in Deutschland als →[Kugelhaufenreaktor](#) entwickelt. Der Reaktorkern besteht aus einer Schüttung von kugelförmigen Brennelementen, die von einem zylindrischen Graphitaufbau als Neutronenreflektor umschlossen wird. Die Brennelemente von 60 mm Durchmesser bestehen aus Graphit, in den der Brennstoff in Form vieler kleiner beschichteter Teilchen eingebettet ist. Die Beschichtung der Brennstoffteilchen mit Pyrokohlenstoff und Siliziumkarbid dient zur Rückhaltung der Spaltprodukte. Die Brennelementbeschickung erfolgt kontinuierlich während des Leistungsbetriebes. Zur Kühlung des Reaktorkerns dient das Edelgas Helium, das beim Durchströmen der Kugelschüttung je nach Anwendungszweck auf 700 bis 950 °C erhitzt wird. Alle Komponenten des primären Helium-Kreislaufes sind in einem Reaktordruckbehälter eingeschlossen, der bei einer Leistungsgröße von über 200 MW als Spannbetonbehälter ausgeführt wird. Der Hochtemperaturreaktor ist eine universell einsetzbare Energiequelle, die Wärme bei hoher Temperatur bis 950 °C für den Strom- und gesamten Wärmemarkt bereitstellt. Weiteres Ziel der HTR-Entwicklung ist die direkte Nutzung der nuklear erzeugten Wärme bei hoher Temperatur für chemische Prozesse, insbesondere zur Kohlevergasung. Als erster deutscher HTR war das AVR-Versuchskraftwerk in Jülich von 1966 bis 1988 in Betrieb. Es hat die Technik des Kugelhaufenreaktors und seine Eignung für den Kraftwerksbetrieb bestätigt. Durch langjährigen Betrieb bei 950 °C Heliumtemperatur wurde die Eignung des HTR als Prozesswärmereaktor demonstriert. Als zweites deutsches Projekt war das THTR-300-Prototypkernkraftwerk in Hamm-Uentrop von 1985 bis 1988 im Leistungsbetrieb.

### Höhenstrahlung

→[kosmische Strahlung](#)

## Hofstadter

Robert Hofstadter (\* New York 5.2.1915, † Stanford 17.11.1990), studierte Physik an der University of Princeton und promovierte dort 1938. In Princeton forschte er später u.a. an Szintillationszählern und entdeckte 1948 die ausgezeichneten Szintillationseigenschaften von Natriumjodid (NaJ), das mit Tallium dotiert worden war. 1950 entwickelte er auf diese Grundlage zusammen mit J.A. MacIntyre den NaJ(Tl)-Szintillationsdetektor zur Messung der Energie von Gammastrahlen.



Robert Hofstadter

Quelle:

<http://th.physik.uni-frankfurt.de/~jr/gif/phys/hofstadt.jpg>

1950 wurde er Professor für Physik an der Stanford University in Kalifornien, wo er insbesondere mit Elektronen-Streuexperimentennachwies, dass die Kernbausteine Proton und Neutron keine homogene Struktur besitzen, sondern eine interne Ladungsverteilung aufweisen. Dafür erhielt er 1961 den Nobelpreis für Physik (zusammen mit Rudolf Mößbauer).

## Hohlraum-Ionendosis

In einem kleinen Messvolumen (Hohlraum) mit gewebeäquivalenten Wänden gemessene → [Ionendosis](#)

## Holzkecht

Guido Holzkecht (\* Wien 3.12.1872 , † Wien 30.10.1931) war Röntgenologe, Universitätsprofessor in Wien und Mitbegründer der Wiener Röntgengesellschaft. Als Pionier der Radiologie veröffentlichte er bereits 1901 ein Lehrbuch zur Röntgendiagnostik. Er erkannte den Zusammenhang zwischen der Schädigung der Haut und der applizierten Dosis und konstruierte das Chromradiometer (1902), bei dem die Farbänderung von Salzen infolge der Strahleneinwirkung zur Dosisabschätzung genutzt wurde. Obwohl diese Methode keine sehr genaue Ermittlung der Dosis ermöglichte, gelang es ihm damit, die Strahlenschäden in seiner Klinik deutlich zu reduzieren. Die nach ihm benannte Dosiseinheit „Holzkecht“ (1 H) wurde erst zwei Jahrzehnte später durch das Röntgen abgelöst.

Holzkecht starb 1931 nach langem Siechtum und mehreren Amputationen an den Folgen der bei seiner Arbeit erhaltenen Strahlenschäden.



Guido Holzknacht in seinem Labor

Quelle:

<http://www.aeiou.at/aeiou.encyclop.data.image.h/h849484a.jpg>

## Homogene Photonenstrahlung

Begriff aus der Bestrahlungstechnik; homogene Photonenstrahlung enthält im streng physikalischen Sinn Photonen gleicher Energie. In der Praxis wird die Homogenität der Strahlung über das Verhältnis zweier hintereinander liegender Halbwertschichtdicken  $s_1$  und  $s_2$  definiert. Besteht eine Strahlung aus Photonen annähernd gleicher Energie, so ist im kollimierten Strahl nach der ersten absorbierenden Schicht diese Energie erhalten. Eine zweite Schicht des gleichen Stoffes wird ein gleiches Absorptionsverhalten zeigen, so dass  $s_2 = s_1$  ist.

Eine Photonenstrahlung wird deshalb als homogen definiert, wenn die zweite Halbwertschichtdicke  $s_2$  annähernd gleich der ersten  $s_1$  ist. Im Gegensatz dazu ist bei heterogener Photonenstrahlung  $s_2 > s_1$ . Besteht der kollimierte einfallende Photonenstrahl aus Photonen unterschiedlicher Energie, so werden die niederenergetischen Photonen im ersten Absorber mehr geschwächt als die Photonen höherer Energie: das Spektrum wird härter. Zur Halbierung der Standard-Ionendosisleistung ist dann im zweiten Absorber eine größere Schichtdicke erforderlich.

## Homogenitätsgrad

Der Homogenitätsgrad  $H$  einer Photonenstrahlung ist definiert als Verhältnis zwischen der ersten Halbwertschichtdicke  $s_1$  und der zweiten Halbwertschichtdicke  $s_2$  (→homogene Photonenstrahlung).

$$H = \frac{s_1}{s_2}$$

Dabei ist  $H \leq 1$ . Bei ideal homogener Photonenstrahlung ist  $H=1$ . In der Praxis wird Strahlung mit  $H \approx 1$  als homogen bezeichnet. Für inhomogene Strahlung ist  $H < 1$ .

## Homogener Reaktor

Reaktor, in dem der Brennstoff als Gemisch mit Moderator oder Kühlmittel vorliegt; flüssig-homogener Reaktor: z. B. Uranylsulfat in Wasser; fest-homogener Reaktor: z. B. Mischung von Uran ( $UO_2$ ) in Polyäthylen.

## Homologe Rekombination

Begriff aus der Mikrobiologie; die homologe Rekombination ist der originalgetreue Reparaturweg für DNS-Doppelstrangbrüche. Die homologe Rekombination spielt auch bei der Zellenvervielfältigung und der Bildung von Keimzellen eine Rolle.

## Hormesis

→[Strahlenhormesis](#)

## HPGe-Detektor

Abk. für **H**igh **P**urity **G**ermanium Detector; →[Reinstgermanium-Detektor](#)

## HTR

Abk. für →[Hochtemperatur-Reaktor](#)

## Hyperonen

Gruppe kurzlebiger Elementarteilchen, deren Masse größer als die des Neutrons ist  
→[Elementarteilchen](#).

# I

## IAEA

Abk. für International Atomic Energy Agency, Wien.

Die internationale Atomenergie-Organisation IAEA wurde 1957 gegründet als Reaktion auf die tiefen Ängste, die mit der Anwendung der Kernenergie verbunden waren. Die IAEA sollte versuchen, den Beitrag der Kernenergie zu Frieden, Gesundheit und Wohlstand überall in der Welt zu beschleunigen, wobei militärische Anwendungen ausgeschlossen werden sollten.

Die Aufgaben der IAEA werden durch drei Schlagworte gekennzeichnet:

- Sicherheit und Schutz
- Wissenschaft und Technologie
- Sicherung und Überprüfung

Das IAEA-Sekretariat besteht aus 2200 multidisziplinären Fachleuten und Hilfskräften aus über 90 Staaten. Der Sitz ist in Wien.

Die IAEA publiziert Dokumente zur Sicherheit und zum Strahlenschutz in 6 unterschiedlichen Berichtsserien:

- Safety Standards Series (Strahlenschutzstandards mit Kennung RS-G-1.x)
- Safety Series
- Safety Reports Series
- Technical Reports Series
- IAEA Technical Documents
- Accident Response

					
Safety Standards Series	Safety Series	Safety Reports Series	Technical Reports Series	IAEA Technical Documents (IAEA-TECDOCs)	Accident Response

Quelle: [www.iaea.org](http://www.iaea.org)

## IAEO

Abk. für Internationale Atomenergie-Organisation (amtliche deutsche Übersetzung von IAEA).

## ICP-Massenspektrometrie

Verfahren zur Massenbestimmung, welches auch zum Nachweis von Uran in Analysenproben eingesetzt wird; die Probe wird in einem Plasma bei ca. 5000 °C ionisiert und die Bestandteile werden über elektrische und magnetische Linsen getrennt. Damit liegt z.B. die Nachweisgrenze für Uran-nat in Urinproben bei Messzeiten um 10 Minuten bei 0,01 µg/l. ICP = Abk. für Inductively Coupled Plasma (VOG04)

## ICRP

Abk. für International Commission on Radiation Protection (→[Internationale Strahlenschutzkommission](#))

## ICRP-Veröffentlichung 60

Die Internationale Strahlenschutzkommission gab ihre erst allgemeine Empfehlung zum Strahlenschutz im Jahre 1928 heraus. Weitere dem jeweiligen Kenntnisstand angepaßte allgemeine Empfehlungen folgten 1959 und 1966. Seit 1977, als die Kommission ihre grundsätzlichen Empfehlungen als ICRP-Veröffentlichung 26 herausgab, hat sie diese Empfehlungen jährlich überprüft und von Zeit zu Zeit in den Annalen der ICRP ergänzende Stellungnahmen herausgegeben. Mit der ICRP-Veröffentlichung Nr. 60 von 1991 wurde eine vollständig neue Fassung der Empfehlungen herauszugeben. Damit verfolgte die Kommission die Ziele,

- neuen biologischen Erkenntnissen und Entwicklungen beim Festlegen von Sicherheitsstandards Rechnung zu tragen,
- die Darstellung der Empfehlungen zu verbessern,
- die Beständigkeit in den Empfehlungen zu wahren, soweit es mit den neuen Erkenntnissen vereinbar ist.

Die Kommission möchte mit ihren grundlegenden Veröffentlichungen, zu denen auch die ICRP-Veröffentlichung 60 zählt, für Gesetzgeber, Behörden und beratende Stellen auf nationaler und internationaler Ebene eine Hilfe anbieten, indem sie die wesentlichen Prinzipien erläutert, mit denen ein angemessener Strahlenschutz begründet werden kann. Wegen der unterschiedlichen Verhältnisse, die in den verschiedenen Ländern anzutreffen sind, hat die Kommission nicht die Absicht, einen Gesetzestext vorzulegen. Den Behörden soll es überlassen bleiben, ihre eigenen Strukturen für Gesetzgebung, Verordnungen, Genehmigungen und verbindliche Vorschriften zu entwickeln. Außerdem hofft die Kommission, dass der Bericht für Betreiber, die Verantwortung im Strahlenschutz haben, eine Hilfe für eigenes Vorgehen ist und ebenso für einzelne Personen, z. B. Radiologen, die über die Anwendung ionisierender Strahlung selbst Entscheidungen treffen müssen. Die wesentlichen Inhalte dieser ICRP-Empfehlung sind in die im Mai 1996 verabschiedeten →[Euratom-Grundnormen](#) zum Strahlenschutz übernommen worden und wurden bei der Novellierung der deutschen Strahlenschutzverordnung im Jahr 2001 berücksichtigt. Eine Fortschreibung dieser grundsätzlichen Empfehlungen erfolgte 2007 mit der →[ICRP-Veröffentlichung 103](#).

## ICRP-Veröffentlichung 103

Aktualisierung und Fortschreibung der grundsätzlichen Aussagen zur Strahlenschutz aus der →[Veröffentlichung Nr. 60](#). Zu den wesentliche Aussagen gehören folgende:

Für die Krebsinduzierung und für Erbschäden aufgrund von Strahlenexpositionen mit niedrigen Dosen und niedrigen Dosisleistungen ist es eine wissenschaftlich plausible Annahme, von einer einfachen Proportionalität zwischen Dosis und Risiko auszugehen.

Für Zwecke des Strahlenschutzes sollte ein DDREF (Effektivitätsfaktor für Dosis und Dosisleistung) von 2, wie schon in ICRP 60 empfohlen, beibehalten werden. Der Effekt, der mit der Einführung einer Niedrig-Dosis-Schwelle für das Krebsrisiko verbunden sein könnte, wird gleichwertig zu dem Effekt eingeschätzt, den eine mögliche Erhöhung des DDREF bewirken würde.

Es werden Änderungen der Strahlungswichtungsfaktoren für Protonen und Neutronen vorgeschlagen.

Es werden neue Werte für Strahlenschäden und für Gewebewichtungsfaktoren vorgeschlagen. Die deutlichsten Änderungen gegenüber der ICRP 60 gibt es bei den Gonaden (von 0,2 auf 0,08), der Brust (von 0,05 auf 0,12) und den „restlichen Geweben“ (von 0,05 auf 0,12 mit neuer Art der Addition).

Basierend auf Krebsrisiko-Daten wurden unter Berücksichtigung des Schadensausmaßes nominelle Risikoeffizienten für Krebs abgeleitet. Sie betragen  $5,5 \cdot 10^{-2} / \text{Sv}$  für die gesamte Bevölkerung und  $4,1 \cdot 10^{-2} / \text{Sv}$  für Erwachsene Beschäftigte. Die entsprechenden Daten in ICRP 60 waren  $6,0 \cdot 10^{-2} / \text{Sv}$  bzw.  $4,8 \cdot 10^{-2} / \text{Sv}$ .

Die unter Berücksichtigung des Schadensausmaßes angepassten Wahrscheinlichkeitskoeffizienten für Erbschäden bis zur 2. Generation sind  $0,2 \cdot 10^{-2} / \text{Sv}$  für die gesamte Bevölkerung und  $0,1 \cdot 10^{-2} / \text{Sv}$  für erwachsenen Arbeitskräfte. Die entsprechenden Werte aus ICRP 60 waren  $1,3 \cdot 10^{-2} / \text{Sv}$  bzw.  $0,8 \cdot 10^{-2} / \text{Sv}$ , doch diese Werte bezogen sich auf einen theoretischen Gleichgewichtszustand, was nicht mehr gerechtfertigt erscheint.

Eine genetisch bedingte Empfänglichkeit für strahleninduzierten Krebs kommt so selten vor, dass sie das Risiko der betrachteten Population nicht merkbar beeinflussen kann.

Strahleninduzierte deterministische Effekte haben bei Erwachsenen und Kindern echte Dosis-schwellen, unter denen die Schäden nicht auftreten. Die Schwellendosis für die Erzeugung eines Katharaktes im Auge muss weiter untersucht werden.

Für In-utero-Expositionen zeigen strahleninduzierte Gewebereaktionen, Missbildungen und neurologische Effekte Dosis-schwellen oberhalb etwa 100 mGy. Unsicherheiten bestehen noch hinsichtlich der Induzierung von IQ-Defiziten, aber bei niedrigen Dosen hat dieses Risiko keine praktische Bedeutung.



## ICRU

Abk. für **I**nternational **C**ommission for **R**adiation **U**nits and **M**easurements

Das ICRU-Ziel ist die Entwicklung von international akzeptierten Vorgaben zu:

- Größen und Einheiten für Strahlung und Radioaktivität;
- Vorgehensweisen zur Anwendung und zur Messung dieser Größen/Einheiten in Diagnostik, Radiologie, Strahlentherapie, Strahlenbiologie und Industrie;
- physikalischen Daten, die bei der Anwendung und Messung nach diesen Vorgehensweisen für eine einheitliche Dokumentation benötigt werden.

Beispiel: Das ICRU-Weichteilgewebe ([→gewebeäquivalentes Material](#)), das für die Berechnung der [→Äquivalentdosis](#) definiert wurde.

## ICRU-Kugel

Kalibrierphantom für Ortsdosismessungen; Kugel aus [→gewebeäquivalentem Material](#) der Dichte  $1 \text{ g/cm}^3$  mit einem Durchmesser von 30 cm

## ICRU-Muskelgewebe

Normierte Gewebezusammensetzung zur Definition von Kalibrierphantomen; das ICRU-Muskelgewebe wird z.B. zur Definition der [→Kenndosisleistung](#) in der medizinischen Radiologie verwendet. Zurzeit ist die Normengebung noch nicht abgeschlossen.

## ICRU-Weichteilgewebe

[→Gewebeäquivalentes Material](#)

## IEC

Abk. für die [→Internationale elektrotechnische Kommission](#) (engl.: International **E**lectrotechnical **C**ommission)

## ILL

Abk. für Institut Max von **L**ae - **P**aul **L**angevin, Grenoble.

## IMIS

Abk. für Integriertes **M**ess- und **I**nformationssystem zur Überwachung der Radioaktivität; das IMIS wurde auf der Grundlage des [→Strahlenschutzvorsorgegesetzes](#) eingeführt und soll alle Aktivitäten der Umweltüberwachung auf Radioaktivität in einem einheitlichen, integrierten System zusammenfassen. IMIS ermöglicht es, durch permanente Messungen bereits geringfügige Änderungen der Umweltradioaktivität flächendeckend schnell und zuverlässig zu erfassen, zusammenzuführen und zu bewerten. Über aktuelle Ergebnisse der Umweltüberwachung kann sich die Öffentlichkeit jederzeit im Internet unter [www.bfs.de](http://www.bfs.de) informieren.

IMIS liefert dem Bundesumweltministerium die Entscheidungsgrundlagen, die für ein unverzügliches Handeln notwendig sind. Im IMIS stehen dafür die drei Ebenen „Datenerhebung“, „Datenaufbreitung“ und „Entscheidung“ zur Verfügung.

Quelle: [http://www.bfs.de/de/bfs/druck/strahlenthemen/STTH\\_IMIS.pdf](http://www.bfs.de/de/bfs/druck/strahlenthemen/STTH_IMIS.pdf)

## Immersion

Strahlenexposition von Personen bei Aufenthalt in einem aktivitätsführenden Medium, wobei die Strahlung aus allen Richtungen auf die Personen einwirkt. Die Immersion ist abgegrenzt gegen die →[Submersion](#), bei der die Einwirkung nur aus einem Halbraum erfolgt.

Die Dosis durch Immersion heißt Immersionsdosis, die Immersionsdosis je Zeiteinheit heißt Immersionsdosisleistung. Die Immersionsdosisleistung  $\dot{H}_I$  bei einer Aktivitätskonzentration  $a_V$  im umgebenden Medium lässt sich mit Hilfe der Dosisleistungskoeffizienten für Immersion  $g_I$  berechnen:

$$\dot{H}_I = g_I \cdot a_V$$

Die Dosisleistungskoeffizienten für Immersion sind in der Fachliteratur tabelliert. Für einen unendlich ausgedehnten Raum und Luft sind sie etwa doppelt so groß wie die für die →[Submersion](#). (VOG04)

## Immission

Einwirkung von Luftfremdstoffen, Geräuschen und Erschütterungen auf Menschen, Tiere und Vegetation. In Strahlenschutz wird hierunter die Einwirkung luftgetragener radioaktiver Stoffe oder die Direktstrahlung aus einer Strahlenquelle verstanden.

## Immunantwort

Reaktion des →[Immunsystems](#) auf eine Infektion oder einen Schadstoff

## Immunsystem

Das Immunsystem schützt den Organismus vor Infektionen, z.B. durch Bakterien, Viren oder Pilzen. Die Reaktion des Immunsystems auf eine Infektion oder einen Schadstoff nennt man Immunantwort. Die Immunantwort kann auf zwei Arten ausfallen:

- Spezielle Zellen (z.B. Lymphozyten) werden direkt aktiv.
- Es werden Antikörper (Immunglobuline) gebildet, die gegen körperfremde Substanzen gerichtet sind.

Das Immunsystem hat die Fähigkeit, dem Organismus fremde Zellen und die von ihnen produzierten Schadstoffe zu erkennen. Ein geschädigtes Immunsystem kann auch gegen die Zellen des eigenen Körpers reagieren (Autoimmunerkrankung) oder es kann schädlich veränderte körpereigene Zellen (z.B. Krebs, AIDS) nicht mehr zerstören.

Durch die Einwirkung ionisierender Strahlen kann das Immunsystem geschädigt werden. Die für das Immunsystem wichtigen Lymphozyten sind sehr strahlenempfindlich. Durch eine Strahlenexposition kann auch die Antikörperbildung unterdrückt

werden. Die damit verbundene erhöhte Anfälligkeit gegen Infektionskrankheiten wird in der Regel begleitend zur akuten Strahlenkrankheit nach hohen Strahlenexpositionen beobachtet.

Zur Unterdrückung der Immunantwort bei Organverpflanzungen oder Knochenmarkstransplantationen wird ionisierende Strahlung gezielt eingesetzt. Damit soll die Abstoßung des körperfremden Gewebes verhindert werden.

## Impulsformdiskriminierung

Aufgrund der unterschiedlichen Energieabgabe im Detektormaterial ergeben sich bei dicht ionisierender Strahlung (z.B. Alphateilchen) und locker ionisierender Strahlung (z.B. Betateilchen) unterschiedliche Impulsformen nach der Ladungssammlung und elektronischen Verstärkung. Anhand der Impulsform (z.B. der Anstiegszeit des Impulses) kann deshalb unterschieden werden, ob der Impuls von einem Alphateilchen oder Betateilchen verursacht wurde. Eine elektronische Impulsformdiskriminierung ist z.B. in einigen Großflächendurchflusszählrohren zur Trennung der Alpha- und Beta-Anzeige eingebaut.

## Impulshöhenanalysator

Gerät, das die von einem Detektor und mit nachgeschalteter Verstärkereinheit gelieferten Impulse entsprechend deren Höhe sortiert und somit ein Spektrum erzeugt.

→[Impulshöhenanalyse](#)

## Impulshöhenanalyse

Verfahren zur Gewinnung des Energiespektrums einer Strahlung; die Impulse eines Detektors, der energieproportionale Ausgangsimpulse liefert, werden elektrisch verstärkt und entsprechend ihrer Amplitude sortiert und gezählt. Aus der so gewonnenen Impulshöhenverteilung (→[Impulshöhenspektrum](#)) lässt sich das Energiespektrum gewinnen.

## Impulshöhenspektrum

Primäres Spektrum als Ergebnis der →[Impulshöhenanalyse](#); das Impulshöhenspektrum wird beeinflusst von den Eigenschaften des verwendeten Detektors und der Auswerteelektronik. Es ist nur in Sonderfällen direkt als Energiespektrum verwertbar, sondern muss in der Regel von diesen Einflüssen bereinigt werden. Diesen Prozess nennt man →[Entfaltung](#).

## In-situ-Gammaspektrometrie

Messverfahren zur nuklidspezifischen Aktivitätsbestimmung, das auf der direkten Messung des zu untersuchenden Materials vor Ort beruht, im Gegensatz zur Analyse repräsentativer Materialproben. Das Material ist dabei so groß oder umfangreich, dass sich eine Analyse im Labor verbietet (z.B. ganze Räume, Bodenflächen, Abfallgebäude). Als Messgeräte kommen meistens Reinstgermanium-Detektoren kollimiert oder unkollimiert zum Einsatz. Die Kollimatoren zur Eingrenzung des bei der Messung erfassten Raumwinkels sind in der Praxis meistens aus Blei oder Wolfram gefertigt. Wegen des Gewichtes der gesamten Messanordnung sind beim Einsatz stabile Halterungen und Tragkonstruktionen erforderlich. Die Kalibrierung der In-situ-

Gammamesseinrichtung erfolgt vor Ort mittels geeigneter Kalibrierstrahler. Ergänzend sind theoretische Kalibrier-Rechencodes auf dem Markt verfügbar (z.B. →[I-SOCS](#)), mit denen die Effizienz-Funktionen für spezielle Geometrien berechnet werden können. In der Praxis empfiehlt es sich, solche theoretisch berechneten Kalibrierungen stichprobenartig durch Messungen zu überprüfen.

## **Indikation, rechtfertigende**

Entscheidung eines Arztes oder Zahnarztes mit der erforderlichen Fachkunde im Strahlenschutz, dass und in welcher Weise radioaktive Stoffe oder ionisierende Strahlung am Menschen in der Heilkunde oder Zahnheilkunde angewendet werden. (Def. § 3 Abs.2 Nr.17 StrlSchV; eine entsprechende Definition für die Anwendung von Röntgenstrahlung enthält § 2 Nr.10 RöV)

## **Indikator**

Element oder Verbindung, das oder die radioaktiv gemacht wurde, so dass es/sie sich in biologischen, chemischen und industriellen Prozessen leicht verfolgen lassen; die vom Radionuklid ausgehende Strahlung zeigt dann dessen Lage und Verteilung an.

## **Indikatormessung**

Begriff aus der Inkorporationsüberwachung; die Indikatormessung dient zur Eingrenzung des Inkorporationszeitpunktes. Hierzu können z.B. die Ergebnisse von regelmäßigen →[Schwellenwertmessungen](#) herangezogen werden (BMU07).

## **Indirekt ionisierende Strahlung**

Neutrale Materieteilchen (z.B. Neutronen) können verhältnismäßig große Strecken durch Materie zurücklegen, bevor sie durch einen Stoß einen Teil ihrer Energie an ein anderes Teilchen abgeben. Ist dieses Teilchen geladen oder entsteht durch eine Kernreaktion ein geladenes Teilchen, kann dieses weitere Teilchen direkt ionisieren. Die neutralen Materieteilchen ionisieren daher mittelbar, ihre Strahlung wird als indirekt ionisierende Strahlung bezeichnet.

Für Photonen gilt Ähnliches. Sie können zwar beim Photoeffekt direkt eine Ionisation erzeugen, diese ist aber ein Einzelereignis und erst die freien Elektronen oder das erzeugte Ion wirken wie direkt ionisierende Strahlung.

## **Induzierte Radioaktivität**

Radioaktivität, die in der Regel durch Beschuss einer Substanz mit Neutronen in einem Kernreaktor oder mit geladenen Teilchen in Teilchenbeschleunigern entsteht.

## **Inelastische Streuung**

Richtungsänderung eines Teilchens bei einem Stoß mit einem anderen Teilchen, bei der ein Teil der kinetischen Energie der Stoßpartner vor dem Stoß zur Anregung eines Stoßpartners oder zu dessen Ionisation verwendet wird. Die Summe der kinetischen Energien der Partner bleibt daher nicht erhalten (im Gegensatz zur →[elastischen Streuung](#)); Reaktionsymbol (für Neutronen):  $(n, n')$

## INES

Abk. für **I**nternational **N**uclear **E**vent **S**cale; von der IAEA vorgeschlagene siebenstufige Skala, um Ereignisse in kerntechnischen Anlagen insbesondere unter dem Aspekt einer Gefährdung der Bevölkerung nach international einheitlichen Kriterien zu bewerten. Die Bewertung hat sieben Stufen. Die oberen Stufen (4 bis 7) umfassen Unfälle, die unteren Stufen (1 bis 3) Störungen und Störfälle. Meldepflichtige Ereignisse ohne sicherheitstechnische oder radiologische Bedeutung im Sinn der internationalen Skala werden als "unterhalb der Skala" bzw. "Stufe 0" bezeichnet. Die Ereignisse werden nach drei übergeordneten Aspekten bewertet:

1. "Radiologische Auswirkungen außerhalb der Anlage",
2. "Radiologische Auswirkungen in der Anlage" und
3. "Beeinträchtigung der Sicherheitsvorkehrungen"

Der erste Aspekt umfasst die Ereignisse, welche zur Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung der Anlage führen. Die höchste Stufe entspricht einem katastrophalen Unfall, bei dem in einem weiten Gebiet Schäden für die Gesundheit und die Umwelt zu erwarten sind. Die niedrigste Stufe dieses Aspekts - Stufe 3 - entspricht einer sehr geringen Radioaktivitätsabgabe, welche bei den am stärksten betroffenen Personen außerhalb der Anlage zu einer Strahlenexposition von etwa einem Zehntel der natürlichen Strahlenbelastung führt.

Der zweite Aspekt umfasst die Stufen 2 bis 5 und betrifft die radiologischen Auswirkungen, welche ein Ereignis innerhalb der Anlage hat, von schweren Schäden am Reaktorkern bis zu größeren Kontaminationen innerhalb der Anlage und unzulässig hohe Strahlenexpositionen des Personals.

Der dritte Aspekt - zugeordnet sind die Stufen 0 bis 3 - umfasst die Ereignisse, bei denen Sicherheitsvorkehrungen beeinträchtigt worden sind, die die Freisetzung radioaktiver Stoffe verhindern sollen.

Die IAEA gibt folgende Beispiele für einzelne Stufen an:

Stufe 7:

Tschernobyl-Unfall von 1986; bei der Explosion des Reaktors in Tschernobyl (damals Sowjetunion, jetzt Ukraine) infolge unzulässiger Betriebsweise in Verbindung mit sicherheitstechnischen Mängeln in der Reaktorauslegung gab es weitreichende Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen und die Umwelt.

Stufe 6:

Kyshtym-Unfall von 1957; bei dem Unfall in der Wiederaufarbeitungsanlage in der Sowjetunion gab es große Aktivitätsfreisetzungen in die Umgebung. Notfallmaßnahmen einschließlich der Evakuierung der Bevölkerung wurden durchgeführt, um schwere Gesundheitsschäden zu begrenzen.

Stufe 5:

Windscale-Unfall von 1957; bei einem Unfall am Graphit-gekühlten Reaktor in Windscale (heute Sellafield) in Großbritannien wurden radioaktive Spaltprodukte freigesetzt.

Three-Mile-Island-Unfall von 1979; die Unterbrechung der Reaktorkühlung führte zur Schmelze des Reaktorkerns im Kernkraftwerk Three Mile Island (USA). Obwohl die Freisetzungen aus der Anlage sehr begrenzt waren, wird der Störfall wegen seiner Auswirkungen innerhalb der Anlage in die Stufe 5 eingeordnet.

#### Stufe 4:

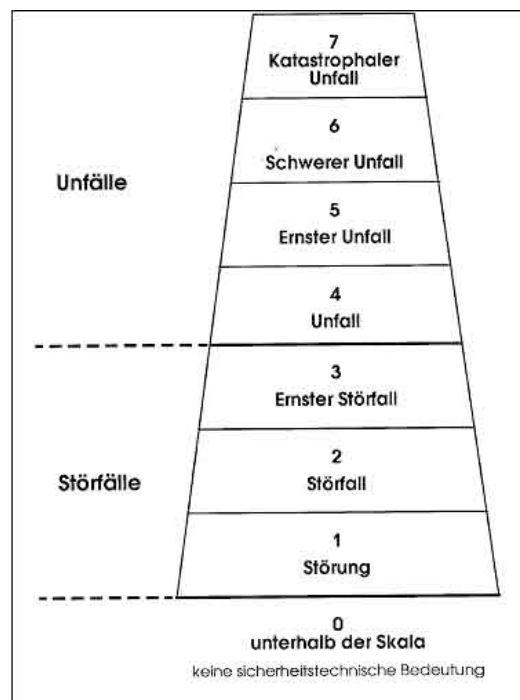
Windscale-Unfall von 1973; in der Wiederaufarbeitungsanlage in Windscale (heute Sellafield, Großbritannien) wurden im Zuge einer exothermen Reaktion in einem Prozess-Tank radioaktive Stoffe in Bedienungsbereiche freigesetzt. Wegen der Auswirkungen in der Anlage wird der Unfall in die Stufe 4 eingruppiert.

Saint-Laurent-Unfall von 1980; im Kernkraftwerk Saint-Laurent (Frankreich) wurde der Reaktorkern teilweise zerstört. Es kam zu keinen Aktivitätsfreisetzungen; deshalb wird der Unfall in die Stufe 4 eingruppiert.

RA-2-Unfall in Buenos Aires 1983; bei der kritischen Anordnung RA-2 in Buenos Aires (Argentinien) kam es wegen Nichtbeachtung von Sicherheitsvorschriften zu einer plötzlichen Leistungsexkursion, die zum Tod eines Operators führte, der nur 3 – 4 Meter entfernt stand. Dieser wurde mit Dosen von 21 Gy (Gamma) und 22 Gy (Neutronen) exponiert. Die Einstufung in die Stufe 4 erfolgt wegen dieser internen Auswirkungen.

#### Stufe 3

Vandellós-Störfall 1989; bei einem Störfall im Kernkraftwerk Vandellós (Spanien) wurde das Sicherheitssystem des Kraftwerks durch Feuer signifikant beschädigt. Obwohl keine Aktivität freigesetzt und der Reaktor nicht beschädigt wurde, erfolgt die Einstufung wegen der Beeinträchtigung des Sicherheitssystems in die Stufe 3.



INES-Skala zur Klassifizierung von Ereignissen in kerntechnischen Einrichtungen

Internet:

[www.iaea.org/Publications/Factsheets/English/ines.pdf](http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/English/ines.pdf)

## **Informationskreis KernEnergie**

Im Jahr 1975 von den Betreibern und Herstellern von Kernkraftwerken gegründete Einrichtung, der neben Vertretern der Elektrizitätsversorgungsunternehmen Repräsentanten aus den unterschiedlichsten Institutionen und Gremien, darunter Wissenschaftler von unabhängigen Institutionen der Umwelt- und Sicherheitsforschung, angehören. Der Informationskreis Kernenergie (IK) hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Diskussion über die friedliche Nutzung der Kernenergie durch die Vermittlung von Fakten zu objektivieren und darüber hinaus Perspektiven einer zuverlässigen Energieversorgung aufzuzeigen. Grundlage der IK-Arbeit ist die ständige Bereitschaft zum Dialog mit der Öffentlichkeit, um die öffentliche Akzeptanz der Kernenergie zu fördern. Anschrift:

Informationskreis KernEnergie  
Robert-Koch-Platz 4  
10115 Berlin

## **Ingestion**

Aufnahme von - radioaktiven - Stoffen über den Magen-Darm-Trakt in den Körper, z.B. durch Nahrungsmittel und Trinkwasser.

## **Inhalation**

Aufnahme von - radioaktiven - Stoffen durch Einatmen.

## **inhärent sicher**

Ein technisches System wird als inhärent sicher bezeichnet, wenn es aus sich selbst heraus, also ohne Hilfsmedien, Hilfsenergie und aktive Komponenten, sicher arbeitet. Beispielsweise kühlt ein Kühlwassersystem inhärent sicher, wenn die Wärmeabfuhr über ausreichend große Wärmetauscher bei Schwerkraftumwälzung des Kühlwassers (Naturkonvektion) erfolgt, da die Schwerkraft immer zur Verfügung steht.

## **INIS**

Abk. für **I**nternational **N**uclear **I**nformation **S**ystem der IAEA.

## **INKFORM**

Formatanforderung für die Übermittlung von Inkorporationsfeststellungen auf Datenträgern an das Strahlenschutzregister beim BfS nach § 112 Abs.7 StrISchV. In der INKFORM sind Daten, Formate und EDV-technische Übermittlungsverfahren festgelegt. (BMU07)

## **Inkohärente Streuung**

→Compton-Streuung, →Compton-Effekt



## Inkorporation

Allgemein: Aufnahme in den Körper; besonders: Aufnahme radioaktiver Substanzen in den menschlichen Körper. Man unterscheidet die drei Pfade →[Inhalation](#), →[Ingestion](#) und →[Permeation](#) (durch die Haut). Aktivitätsangaben bei der Inkorporation sind Bruttozufuhren, welche auch die anschließend wieder ausgeschiedene Aktivität beinhaltet (z.B. beim Ausatmen nach Inhalation).

Inkorporierte radioaktive Stoffe werden, in der Regel nach Zwischenstufen, vom Blut aufgenommen und von diesem zu den verschiedenen Organen transportiert. Die Speicherung in den Organen hängt von der chemischen Form des Radionuklids ab. Die verschiedenen chemischen Formen werden in drei →[Absorptionsklassen](#) eingeteilt. Eine Ausscheidung erfolgt im Zuge des Stoffwechsels über den Urin oder den Stuhl. Der zeitliche Verbleib im Körper wird über sog. Retentionsfunktionen beschrieben (→[Retention](#)).

Daraus leitet sich eine biologische Halbwertszeit ab, die zusammen mit der physikalischen Halbwertszeit zu einer effektiven Halbwertszeit führt (→[Halbwertszeit, biologische](#), →[Halbwertszeit, effektive](#)).

Die Verteilung inkorporierter radioaktiver Stoffe im Körper und die daraus resultierende Dosis werden mathematisch durch →[biokinetische Modelle](#) beschrieben, in denen die Organe und Transportmedien durch sogen. Kompartimente beschrieben werden, zwischen denen ein Austausch der radioaktiven Stoffe stattfindet.

Lit.: ICRP66, ICRP78, ICRG03, VOG04

## Inkorporationsfaktor

Begriff aus der Inkorporationsüberwachung; der Inkorporationsfaktor dient zur Abschätzung der im Kalenderjahr infolge von Tätigkeiten mit offenen radioaktiven Stoffen maximal inkorporierbaren Aktivität. Unter Berücksichtigung der Art des Umgangs mit radioaktiven Stoffen und den getroffenen Strahlenschutzmaßnahmen ist der Inkorporationsfaktor  $a_k$  der relative Anteil der Arbeitsplatzaktivität, der je Arbeitsprozess  $k$  maximal inkorporiert werden kann. (BMU07)

## Inkorporationsmessstelle

Inkorporationsmessstellen können sein

- a) eine behördlich bestimmte Messstelle zur Ermittlung der Körperdosis nach § 41 Abs.1 StrlSchV

oder

- b) eine betriebliche Messstelle zur innerbetrieblichen Messung der Aktivitätskonzentration in der Raumluft, ausschließlich zum Zweck der Dosisermittlung unterhalb der →[Nachforschungsschwelle](#)

(Def. nach BMU07)

## Inkorporationsrisiko

Im Allgemeinen des Risiko für eine Inkorporation radioaktiver Stoffe; speziell für die Anforderungen an die Inkorporationsüberwachung (→[Richtlinie zur physikalischen Strahlenschutzkontrolle](#)) definiert als die Wahrscheinlichkeit für die Inkorporation ra-

dioaktiver Stoffe infolge beruflicher Tätigkeit, ohne Berücksichtigung der Höhe möglicher Aktivitätszufuhren (BMU07)

## **Inkorporationsrisiko, potentielles**

Definition aus der →[Richtlinie zur physikalischen Strahlenschutzkontrolle](#) ; personenbezogener Wert des Inkorporationsrisikos pro Kalenderjahr in Einheiten der Körperdosis zur Feststellung des Erfordernisses sowie Art und Umfang der Inkorporationsüberwachung (BMU07)

## **Inkorporationsüberwachung**

Anwendung von Verfahren zur Feststellung von Art und Aktivität inkorporierter radioaktiver Stoffe; die Überwachung kann mit →[Ganzkörperzählern](#) als Gesamt-Gamma-Messung (Körperaktivitätsmessung), mit Messeinrichtungen zur nuklidspezifischen Gammamessung oder über die Analyse von Ausscheidungen (z.B. Stuhl, Urin) erfolgen.

Nach der →[Richtlinie zur physikalischen Strahlenschutzkontrolle](#) ist die Inkorporationsüberwachung definiert als die Gesamtheit aller Maßnahmen zur Feststellung einer möglichen, stattfindenden oder bereits erfolgten Inkorporation radioaktiver Stoffe einschließlich deren dosimetrischer Bewertung. Dabei werden zwei Überwachungsarten unterschieden (BMU07):

1. Regelmäßige Überwachung: Überwachung bei einem konstanten und zeitlich nicht eingrenzbaren Inkorporationsrisiko; dabei sind vorgegebenen Überwachungsintervalle einzuhalten
2. Überwachung aus besonderem Anlass: z.B. Überwachung nach außergewöhnlichen Ereignissen, bei zeitlich begrenztem Umgang sowie Ein- und Ausgangsmessungen

## **Inkorporationsvermeidung**

Um Inkorporationen radioaktiver Stoffe zu vermeiden, müssen beim Aufenthalt in Bereichen mit offenen radioaktiven Stoffen folgende Grundregeln beachtet werden:

- Die angeordnete Schutzkleidung ist zu tragen (insbesondere Atemschutzeinrichtungen)
- Es ist zu verbieten, im Bereich mit offenen radioaktiven Stoffen zu essen, zu trinken, zu rauchen und Kosmetika anzuwenden.
- Personenkontaminationen sind so zu beseitigen, dass eine Inkorporation vermieden wird.
- Personen mit Hautverletzungen oder Hautkrankheiten, die eine erhöhte Durchlässigkeit der Haut für radioaktive Stoffe bewirken, ist der Aufenthalt in Bereichen mit offenen radioaktiven Stoffen zu untersagen. Im Zweifel ist ein ermächtigter Arzt zu Rate zu ziehen.

## **Innere Konversion**

Bei der inneren Konversion (Zeichen: IC für internal conversion) übertragen angeregte Atomkerne ihre Anregungsenergie strahlungsfrei auf ein Hüllenelektron, welches

dann mit scharfer Energie emittiert wird. Die Energie des Elektrons ist gleich der übertragenen Anregungsenergie abzüglich seiner Bindungsenergie in der Elektronenhülle. Der Prozess kann nur stattfinden, wenn die Anregungsenergie des Kerns mindestens so groß ist wie die Bindungsenergie des Elektrons. Das freigesetzte Elektron heißt auch Konversionselektron.

## **Innere Paarbildung**

Bei der inneren Paarbildung (Zeichen  $\pi$ ) führt die Anregungsenergie eines Kerns direkt zur Bildung eines Elektron-Positron-Paares. Dazu muss die Anregungsenergie mindestens gleich der Ruheenergie beider Teilchen sein, d.h. mindestens 1,022 MeV.

## **Instandhaltung**

Sammelbegriff für Inspektion, Wartung und Reparatur

## **Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC)**

Die Internationale elektrotechnische Kommission (engl.: International Electrotechnical Commission – IEC) ist das internationale Normierungsgremium mit Sitz in Genf für Normen im Bereich der Elektrotechnik und Elektronik. Einige Normen werden gemeinsam mit der →ISO entwickelt. Die Normen umfassen auch elektrische und elektronische Anforderungen an Strahlenschutzeinrichtungen (z.B. an Messgeräte). Der →DIN hat einige für den Strahlenschutz wichtige Normen als DIN IEC-Normen übernommen und herausgegeben. →DIN-Normen zum Strahlenschutz

## **Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP)**

Die Internationale Strahlenschutzkommission, „International Commission on Radiological Protection“, wurde 1928 unter dem Namen „International X-ray and Radium Protection Committee“ auf Beschluß des 2. Internationalen Kongresses für Radiologie gegründet. 1950 wurde sie umstrukturiert und umbenannt. Die Kommission arbeitet eng mit der Internationalen Kommission für radiologische Einheiten und Messungen (ICRU) zusammen und hat offizielle Verbindungen zur Weltgesundheitsorganisation (WHO), zur Internationalen Arbeitsorganisation (ILO) und anderen Körperschaften der Vereinten Nationen, einschließlich des Wissenschaftlichen Komitees der Vereinten Nationen über die Wirkungen atomarer Strahlung (UNSCEAR) und des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP) sowie der Kommission der Europäischen Gemeinschaften, der Kernenergiebehörde der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (NEA), der Internationalen Normenorganisation (ISO), der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) und der Internationalen Assoziation für Strahlenschutz (IRPA). Die Internationale Strahlenschutzkommission besteht aus einem Vorsitzenden, zwölf weiteren Mitgliedern und dem Sekretär. Die Wahl der Mitglieder erfolgt durch die ICRP aus Nominierungen, die ihr von den nationalen Delegationen des Internationalen Kongresses für Radiologie und aus den eigenen Reihen vorgelegt werden. Die Mitglieder der ICRP werden aufgrund ihrer anerkannten Leistungen auf den Gebieten medizinische Radiologie, Strahlenschutz, Physik, medizinische Physik, Biologie, Genetik, Biochemie und Biophysik ausgewählt.

Internet: [www.icrp.org](http://www.icrp.org)

## Intervention

Eingriff zur Ausführung von Instandhaltungsmaßnahmen in Anlagenbereichen mit erhöhter Strahlung oder um Einfluss auf bestehenden Expositionspfade mit dem Ziel zu nehmen, die Expositionen zu senken; eine Intervention wird unter Hinzuziehung von Strahlenschutzpersonal vorbereitet und während des Ablaufes überwacht. Interventionen sind z.B. bei Expositionen durch natürliche Strahlenquellen oder nach Störfällen oder Unfällen im Rahmen der technischen Nutzung radioaktiver Quellen möglich.

## Interventionelle Radiologie

Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen durchgeführt werden; ein Hauptanwendungsbereich ist die Aufdehnung verschlossener oder verengter Blutgefäße (BUN11).

## Interventionsschwelle

Werte der Körperdosis, der Aktivitätszufuhr, der Kontamination oder anderer aktivitäts- oder dosisbezogener Werte, bei deren Überschreitung ein Eingreifen in den normalen Betriebs- bzw. Bestrahlungsablauf für erforderlich gehalten wird.

## In-vitro-Analyseverfahren

Aktivitätsmessverfahren zur Ermittlung der Körperdosis durch inkorporierte radioaktive Stoffe; beim in-vitro-Verfahren erfolgt die Aktivitätsmessung an Ausscheidungsproben, z.B. an Stuhl- oder Urinproben (in vitro = lat.: im Glas). Im Gegensatz dazu werden Direktmessungen am Menschen als in-vivo-Messungen bezeichnet (in vivo = lat.: am Lebenden).

## In-vivo-Messungen

Messungen am lebenden Subjekt; →[in-vitro-Analyseverfahren](#)

## Iod

Chemisches Element, Element-Zeichen: I

Es gibt eine Reihe radioaktiver Iodisotope mit unterschiedlichen Halbwertszeiten.

Beispiele:

I-121  $T_{1/2} = 21 \text{ h}$

I-125  $T_{1/2} = 59,4 \text{ d}$

I-129  $T_{1/2} = 1,6 \cdot 10^7 \text{ a}$

I-131  $T_{1/2} = 8 \text{ d}$

I-134  $T_{1/2} = 52 \text{ min}$

## Iodfilter

Filter, in denen iodhaltige Luft oder iodhaltiges Abgas gereinigt werden kann; das Iod lagert sich dabei an das Filtermaterial an. Dies kann z.B. Aktivkohle sein. Eine andere Methode, die auch in kerntechnischen Anlagen Anwendung findet, ist die Reinigung durch Adsorber (silbernitratimprägnierte Silikagelträger oder Molekularsiebzeolithen), die das Iod durch Chemisorption in am Trägermaterial haftendes Silberiodid überführen und damit Iod aus dem Abgas filtern.

## Iodmessung, Raumluft

Radioaktives Iod in der Raumluft wird gemessen, indem die Luft über ein Filtermaterial gesaugt wird, an dem das Iod adsorbiert und das anschließend gemessen wird. Als Filtermaterial wird häufig Aktivkohle oder →[Zeolith](#) verwendet. Die Messung kann integral (Gesamtbeta, Gesamtgamma) oder nuklidspezifisch erfolgen.

## Ion

Elektrisch geladenes atomares oder molekulares Teilchen, bei dem die Anzahl der Elektronen in der Hülle von der Anzahl der Protonen im Kern abweicht; ein Ion kann aus einem neutralen Atom oder Molekül durch Abspaltung oder Anlagerung von Elektronen oder durch elektrolytische Dissoziation von Molekülen in Lösungen entstehen.

## Ionenaustauscher

Chemische Stoffe (unlösliche, meist hochmolekulare Polyelektrolyte) mit austauschfähigen Ankergruppen, deren Ionen gegen andere Ionen ausgetauscht werden können; Ionenaustauscher werden z.B. zur Dekontamination von Flüssigkeiten eingesetzt, wenn die radioaktiven Stoffe als Ionen in der Flüssigkeit vorliegen. Ein Beispiel ist der Entzug von Cäsium (Cs-134, Cs-137) aus dem Primärkühlmittel eines Druckwasserreaktors.

## Ionendosis

Dosisgröße, die auf den messtechnischen Nachweis zugeschnitten ist: die Messung der in einem Luftvolumen erzeugten elektrischen Ladung; definiert ist die Ionendosis  $J$  als Verhältnis von der in einem Luftvolumen erzeugten elektrischen Ladung  $Q$  eines Vorzeichens und der Masse  $m$  der (trockenen) Luft in diesem Volumen:

$$J = \frac{Q}{m}$$

Die Einheit der Ionendosis ist Coulomb durch Kilogramm (C/kg). Bis Ende 1985 war als Einheit Röntgen (Kurzzeichen: R) zugelassen.

1 R = 258  $\mu\text{C}/\text{kg}$ , das entspricht  $1,61 \cdot 10^{12}$  Ionenpaare in 1 g trockener Luft.

Die in Luft gemessene Ionendosis kann unter definierten Bedingungen als Maß für die im Gewebe erzeugte Energiedosis dienen. Die Ionendosis muss dazu unter Standardbedingungen im freien Luftvolumen gemessen werden (Standard-Ionendosis). In der Praxis wird dies für Photonen durch ein Zählrohr mit annähernd luftäquivalenten Wänden realisiert. Damit sind für Photonen Energiedosismessungen bis zu Photonenenergien von 3 MeV möglich. Bei höheren Photonenenergien und bei anderen Strahlenarten erfolgt die Messung in kleinen gasgefüllten Messkammern (Hohlräumen) mit gewebeäquivalenten Wänden. Man spricht dann von Hohlraum-Ionendosis. Im praktischen Strahlenschutz gilt näherungsweise folgende Umrechnung:

$$1 \text{ R (Luft)} \approx 0,01 \text{ Gy (Weichteilgewebe)}$$

$$1 \text{ C/kg (Luft)} \approx 38,8 \text{ Gy (Weichteilgewebe)}$$

Heute wird anstelle der Ionendosis meistens die →[Kerma](#) verwendet.

## **Ionenmikrostrahlen**

Spezieller, sehr feiner Ionenstrahl mit einer Strahlfleckgröße im Mikrometer- oder Submikrometerbereich; Ionenmikrostrahlen werden in den meisten Fällen mit speziellen Einrichtungen an Ionenbeschleunigern erzeugt. Sie werden zur Untersuchung von Strahlenschäden und Reparaturprozessen in einzelnen Zellen eingesetzt und ermöglichen es, einzelne Zellbereiche gezielt zu bestrahlen.

## **Ionenstrahlung**

Nach DIN 6814.2 (→[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)) definiert als Korpuskularstrahlung, die aus Atomkernen oder aus Ionen mit der Mindestmasse eines Deuterons besteht (z.B. Deuteronen, Alphateilchen, C12-Ionen, O-16-Ionen)

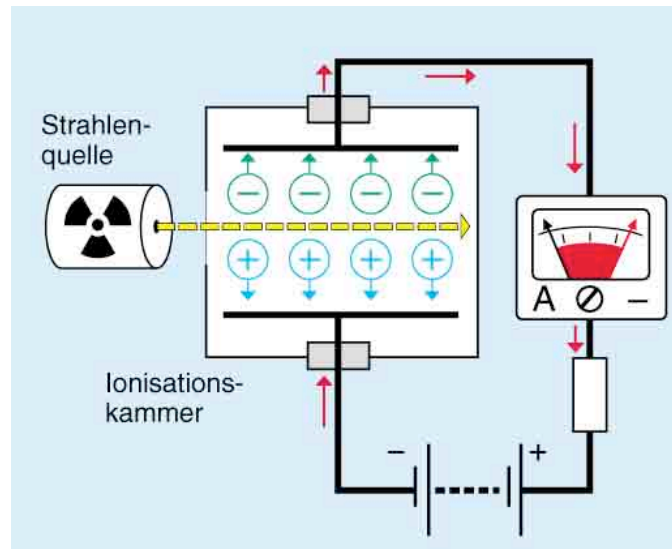
## **Ionisation**

Aufnahme oder Abgabe von Elektronen durch Atome oder Moleküle, die dadurch in Ionen umgewandelt werden; hohe Temperaturen, elektrische Entladungen und energiereiche Strahlung können zur Ionisation führen.

## **Ionisationskammer**

Messgerät zum Nachweis ionisierender Strahlung durch Messung des elektrischen Stromes, der entsteht, wenn Strahlung das Gas in der Kammer ionisiert und damit elektrisch leitend macht; die Kammer ist als Kondensator aufgebaut, wobei in der Praxis häufig zwei ineinander stehende Zylinder die Kondensatorplatten bilden. Die freien Ladungsträger werden durch das elektrische Feld im Kondensator aus dem Gasvolumen abgesaugt. Der elektrische Strom wird als Stromstoß (Impulskammer) oder kontinuierlich (Stromkammer) gemessen und ist ein Maß für die Dosisleistung. Insbesondere die Ionendosisleistung kann zuverlässig gemessen werden, bei geeigneter Kalibrierung werden aber auch Energiedosisleistung oder Äquivalentdosisleistung direkt angezeigt. Der Impulskammerbetrieb ist bei sehr geringen Dosisleistungen geeignet. Eine spezielle Betriebsart ist die Messung der Veränderung der Gesamtladung auf dem Kondensator (Integrationskammer), die ein Maß für die integrale Dosis ist. (→[Stabdosisimeter](#))

Für den Nachweis von Alpha- und Betastrahlung müssen die Kammerwände oder das Eintrittsfenster sehr dünn sein, damit der Energieverlust in den Wänden vernachlässigbar ist. Für den Nachweis von Photonenstrahlung werden dicke Wände gewählt, damit durch Wechselwirkung in den Kammerwänden zusätzliche freie Ladungsträger erzeugt werden. Um Neutronen nachweisen zu können, werden die Kammerwände häufig mit einem Material versetzt, mit dem die Neutronen durch Kernreaktionen freie Ladungsträger erzeugen (z.B. B-10 und die Kernreaktion  $^{10}\text{B}(n,\alpha)^6\text{Li}$ ). Ionisationskammern sind besonders geeignet für die Messung in gepulsten Strahlenfeldern (z.B. an Beschleunigern).



Prinzip einer Ionisationskammer im üblichen Stromkammerbetrieb

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021\\_lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021_lexikon2010_01.pdf)

## Ionisierende Strahlung

Jede Strahlung, die direkt oder indirekt ionisiert, z. B. Alpha-, Beta-, Gamma-, Neutronenstrahlung. Man unterscheidet im Hinblick auf den Ionisierungsprozess →**direkt ionisierende Strahlung** und →**indirekt ionisierende Strahlung** sowie im Hinblick auf die erzeugte Ionisation →**dicht ionisierende Strahlung** und →**locker ionisierende Strahlung**.

## Ionisierungskonstante (in Gasen)

Die Ionisierungskonstante ist der Quotient aus dem über ein Teilchenspektrum gemittelten mittleren Energieaufwand zur Bildung eines Ionenpaares  $\bar{W}$  und der Elementarladung  $e$ :  $\bar{W} / e$ . Der mittlere Energieaufwand  $\bar{W}$  zur Erzeugung eines Ionenpaares ist dabei definiert als die Energie  $E$ , die ein geladenes Teilchen bei vollständiger Abbremsung auf ein Teilchen überträgt, geteilt durch die dabei erzeugte mittlere Anzahl  $\bar{N}$  der Ionenpaare:  $\bar{W} = E / \bar{N}$ . (s. DIN 6814-2, →**DIN-Normen zum Strahlenschutz**)

## IPP

→**Max-Planck-Institut für Plasmaphysik**

## IRPA

Abk. für **I**nternational **R**adiation **P**rotection **A**ssociation; Zusammenschluß nationaler und regionaler Strahlenschutzgesellschaften, gegründet 1966 zur Förderung interna-



tionaler Kontakte und Zusammenarbeit und zur Diskussion wissenschaftlicher und praktischer Aspekte auf den Gebieten des Schutzes von Menschen und Umwelt vor ionisierender Strahlung. Die IRPA hat über 16.000 Mitglieder aus 42 Staaten. Die deutschen Fachleute sind durch den deutsch-schweizerischen →Fachverband für Strahlenschutz (FS) vertreten. Internet: [www.irpa.net](http://www.irpa.net)

## ISO

Kurzbezeichnung für die Internationale Organisation für Normung; die ISO ist die internationale Vereinigung von Normungsorganisationen aus über 150 Ländern. Die Organisation wurde am 23. Februar 1947 in Genf gegründet. Jedes Mitglied der ISO vertritt ein Land und jedes Land ist nur durch ein Mitglied vertreten. Der DIN, Deutsches Institut für Normung e. V., ist seit 1951 Mitglied der ISO für die Bundesrepublik Deutschland.

Die ISO erarbeitet internationale Normen, u.a im Strahlenschutz (ISO-Normen). Manche Normen werden vom DIN als deutsche Norm übernommen und als DIN ISO-Norm herausgegeben.

## Isobare

In der Kernphysik Kerne mit gleicher →**Massenzahl**; Beispiel: N-17, O-17, F-17. Alle drei Kerne haben 17 Nukleonen, der Stickstoffkern (N) jedoch 7, der Sauerstoffkern (O) 8 und der Fluorkern (F) 9 Protonen.

## Isochronzyklotron

→**Zyklotron**

## ISOCS

Abk. für **In-Situ-Object-Counting-System**; von der Fa. Canberra entwickelter Rechen-code zur Ermittlung von Effizienzfunktionen für nuklidspezifische Messeinrichtungen (→**Effizienz**). Der Code wird häufig bei In-situ-Gammaspektrometrie eingesetzt, weil dabei wegen der räumlichen Verhältnisse eine Kalibrierung mit Prüfstrahlern oft schwierig ist. (<http://www.canberra.com/products/710.asp>)

## Isodosenkurve

Geometrischer Ort für alle Punkte, an denen eine Dosisgröße den gleichen Wert hat.

## Isoliergeräte

Spezielle Unterart der →**Atemschutzgeräte**

## Isomere

Isomere sind Nuklide, deren Atomkerne einen gegenüber dem Grundzustand erhöhten Energieinhalt besitzen (angeregter Zustand) und die in diesem angeregten Zustand (isomerer Zustand) so lang verharren, dass sie als eigenständige Radionuklide angesehen werden können. In der symbolischen Schreibweise wird für diese Isomere an die Massenzahl ein „m“ angehängt. Beispiele: Co-58m  $T_{1/2} = 10,5$  m, Kr-85m  $T_{1/2} = 4,48$  h, Xe-133m  $T_{1/2} = 2,19$  d.

Physikalisch wird diese „Stabilität“ der angeregten Kernzustände damit erklärt, dass die Übergangswahrscheinlichkeit vom angeregten isomeren Zustand in den Grundzustand des Kerns wegen großer Drehimpulsunterschiede beider Zustände sehr gering ist.

## Isomerer Übergang

Übergang eines Kerns von einem metastabilen (isomeren) Zustand in einen energetisch tiefer liegenden Zustand (meistens den Grundzustand) des Kerns; dabei wird ein Gammaquant emittiert.

## Isotone

Atomkerne mit gleicher Neutronenzahl; Beispiel: S-36, Cl-37, Ar-38, K-39, Ca-40. Diese Kerne enthalten jeweils 20 Neutronen, aber eine unterschiedliche Anzahl von Protonen: Schwefel 16, Chlor 17, Argon 18, Kalium 19 und Kalzium 20 Protonen.

## Isotope

Nuklide derselben Kernladungszahl (d. h. desselben chemischen Elementes), jedoch unterschiedlicher Nukleonenzahl, z. B. Co-58 und Co-60. Beide Nuklide gehören zum selben chemischen Element, dem Kobalt (Kurzzeichen: Co). Sie haben dieselbe Protonenzahl (27) aber unterschiedliche Neutronenzahlen: 31 bei Co-58 und 33 bei Co-60.

## Isotopenanreicherung

Prozess, durch den die relative Häufigkeit eines Isotops in einem Element vergrößert wird; Beispiel: Anreicherung des Isotops Uran-235 im Uran; →[angereichertes Uran](#)

## Isotopenaustausch

Vorgänge, die zur Veränderung der Isotopenzusammensetzung in einer Substanz führen; z. B.:  $\text{H}_2\text{S} + \text{HDO} \rightarrow \text{HDS} + \text{H}_2\text{O}$  (H = 'normaler' Wasserstoff, D = Deuterium = 'schwerer' Wasserstoff, S = Schwefel). Das Gleichgewicht wird durch die unterschiedlichen relativen Atommassen beeinflusst.

## Isotopenhäufigkeit

Quotient aus der Anzahl der Atome eines bestimmten Isotops in einem Isotopengemisch eines Elementes und der Anzahl aller Atome dieses Elementes.

## Isotopenhäufigkeit, natürliche

Isotopenhäufigkeit in einem in der Natur vorkommenden Isotopengemisch; in der Natur kommen jene Elemente, von denen es mehrere Isotope gibt, in einem Isotopengemisch vor, das - von wenigen besonders begründeten Ausnahmen abgesehen - überall auf der Erde gleich ist. Es können mehrere Isotope in etwa gleichem Verhältnis auftreten, z. B. Cu-63 mit 69% und Cu-65 mit 31% im Falle des Kupfers. Häufig überwiegt allerdings ein Isotop, die anderen sind nur in Spuren vorhanden, z. B. beim Sauerstoff: 99,759% O-16; 0,0374% O-17; 0,2039% O-18.

## Isotopenlaboratorium

Arbeitsräume, in denen durch räumliche und instrumentelle Ausstattung ein sicherer Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen möglich ist; in Anlehnung an Empfehlungen der IAEA werden Isotopenlaboratorien nach der Aktivität, mit der in ihnen umgegangen werden darf, in die drei Labortypen A, B und C eingeteilt. Dabei wird als Maß für die Aktivität das Vielfache der Freigrenze nach der Strahlenschutzverordnung gewählt. Der Labortyp C entspricht dabei einer Umgangsmenge bis zum  $10^2$ fachen, der Labortyp B bis zum  $10^5$ fachen und der Labortyp A oberhalb des  $10^5$ fachen der Freigrenze. Im Typ-C-Laboratorium sind Abzüge zu installieren, wenn die Gefahr einer unzulässigen Kontamination der Raumluft besteht. Eine Abluftfilterung ist im allgemeinen nicht erforderlich. In Typ-B- und -A-Laboratorien sind neben Abzügen in vielen Fällen Handschuhkästen oder sonstige Arbeitszellen für den Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen vorzusehen. Eine Abluftfilterung ist erforderlich. Details sind in DIN 25 425 enthalten (→[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)).

## Isotopentrennung

Verfahren zur Abtrennung einzelner Isotope aus Isotopengemischen; →[elektromagnetische Isotopentrennung](#), →[Diffusionstrennverfahren](#), →[Trenndüsenverfahren](#), →[Gaszentrifugenverfahren](#), →[Isotopenaustausch](#)

## Isotopenverdünnungsanalyse

Methode zur quantitativen Bestimmung eines Stoffes in einem Gemisch durch Zugabe des gleichen, jedoch radioaktiven Stoffes. Aus der Änderung der spezifischen Aktivität des zugegebenen radioaktiven Stoffes lässt sich die Menge der gesuchten Substanz errechnen.

## ITER

Mit dem Projekt ITER arbeiten die großen Fusionsprogramme der Welt - China, die EU, Japan, Russland, Südkorea und die USA - gemeinsam daran, einen Internationalen Thermonuklearen Experimentalreaktor (ITER) zu bauen. ITER soll zeigen, dass es physikalisch und technisch möglich ist, die Energieerzeugung der Sonne auf der Erde nachzuvollziehen und durch Kernverschmelzung Energie zu gewinnen. Aufgabe von ITER ist es, zum ersten Mal ein für längere Zeit energielieferndes Plasma zu erzeugen. Eingeleitet wurde diese bisher einzigartige Wissenschaftskooperation 1985. Im Frühjahr 1988 begannen am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik als Gastlabor die Planungsarbeiten. An der im Juli 1992 begonnenen Detailplanung waren rund 240 Mitarbeiter aus aller Welt beteiligt. 1998 wurde der Abschlußbericht an die damaligen vier ITER-Partner weitergeleitet. Nach der Genehmigung des Berichts war damit aus wissenschaftlich-technischer Sicht eine ausreichende Planungsgrundlage vorhanden, um den Bau der Anlage zu beschließen. Die Partner beschlossen, den ITER-Entwurf kostensparend zu überarbeiten. Dem kostenreduzierenden Entwurf wurde im Januar 2000 zugestimmt. Ungefähr zehn Jahre nach der Baugenehmigung könnte ITER das erste Plasma erzeugen. ITER wird als Fusionsanlage vom Typ →[Tokamak](#) geplant; seine Daten:

- Gesamtradius:	10,7 Meter,
- Höhe:	15 Meter,
- Plasmaradius:	6,2 Meter,
- Plasmavolumen:	873 Kubikmeter,
- Magnetfeld:	5,3 Tesla,
- maximaler Plasmastrom:	15 Megaampere,
- Heizleistung:	73 Megawatt,
- Fusionsleistung:	500 Megawatt,
- mittlere Temperatur:	100 Millionen Grad,
- Brenndauer:	>300 Sekunden.

Einige technische Daten des geplanten Fusionsreaktors ITER

Ende Juni 2005 wurde beschlossen, ITER in Cadarache, Südfrankreich zu errichten. Die Fertigstellung der Anlage ist für 2014 geplant.

## IWRS

Abk. für **I**nspektion, **W**artung, **R**eparatur und **S**trahlenschutz

## IWRS-Richtlinie

Richtlinie zum Strahlenschutz bei Instandhaltungsarbeiten in Kernkraftwerken; es gibt zwei IWRS-Richtlinien: IWRS-I und IWRS-II.

Die IWRS-I-Richtlinie wurde 1978 vom damals für die Reaktorsicherheit zuständigen Bundesinnenminister (BMI) erlassen und betrifft die Strahlenschutzvorsorgemaßnahmen, die bei der Planung eines Kernkraftwerks mit Leichtwasserreaktor zu beachten sind:

Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei der Durchführung von Instandhaltungsarbeiten in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor: Die während der Planung der Anlage zu treffende Vorsorge (BMI78).

Die IWRS-II-Richtlinie wurde erstmals 1982 vom damals zuständigen Bundesumweltminister (BMU) erlassen und betraf die Strahlenschutzmaßnahmen bei der Inbetriebsetzung und beim Betrieb der Anlage. Mit der Revision aus 2004 wurden auch Stilllegungs- und Entsorgungsarbeiten in den Regelungsbereich einbezogen und der Geltungsbereich wurde auf allgemein kerntechnische Anlagen erweitert (BMU04b).

# J

## Jahresdosis

Im Strahlenschutz gebräuchlicher Ausdruck für die effektive Dosis, die eine Person innerhalb eines Kalenderjahres erhalten hat.

## JET

Abk. für **J**oint **E**uropean **T**orus; Großexperiment zur kontrollierten Kernfusion; Culham, England. Zum ersten Mal in der Geschichte der Fusionsforschung ist es 1991 mit JET gelungen, nennenswerte Energie durch kontrollierte Kernfusion freizusetzen. Für die Dauer von zwei Sekunden erzeugte die Anlage eine Fusionsleistung von 1,8 Megawatt. 1997 hat JET mit einer Brennstoffmischung aus gleichen Teilen von Deuterium und Tritium bei einer Rekord-Fusionsleistung von 13 Megawatt eine Fusionsenergie von 14 Megajoule erzeugt. Ein wichtiger Maßstab für diesen Erfolg ist auch das Verhältnis von erzeugter Fusionsleistung zur aufgewendeten Heizleistung, das mit 65 Prozent mehr als das Doppelte des bis dahin erreichten Wertes betrug.

- Großer Plasmaradius	2,96 Meter,
- Kleine Radien	1,25/2,10 Meter,
- Magnetfeld	3,4 Tesla,
- Plasmastrom	3-7 Megaampere,
- Plasmaheizung	50 Megawatt,
- Plasmatemperatur	250 Millionen Grad

Wesentliche technische Daten des JET

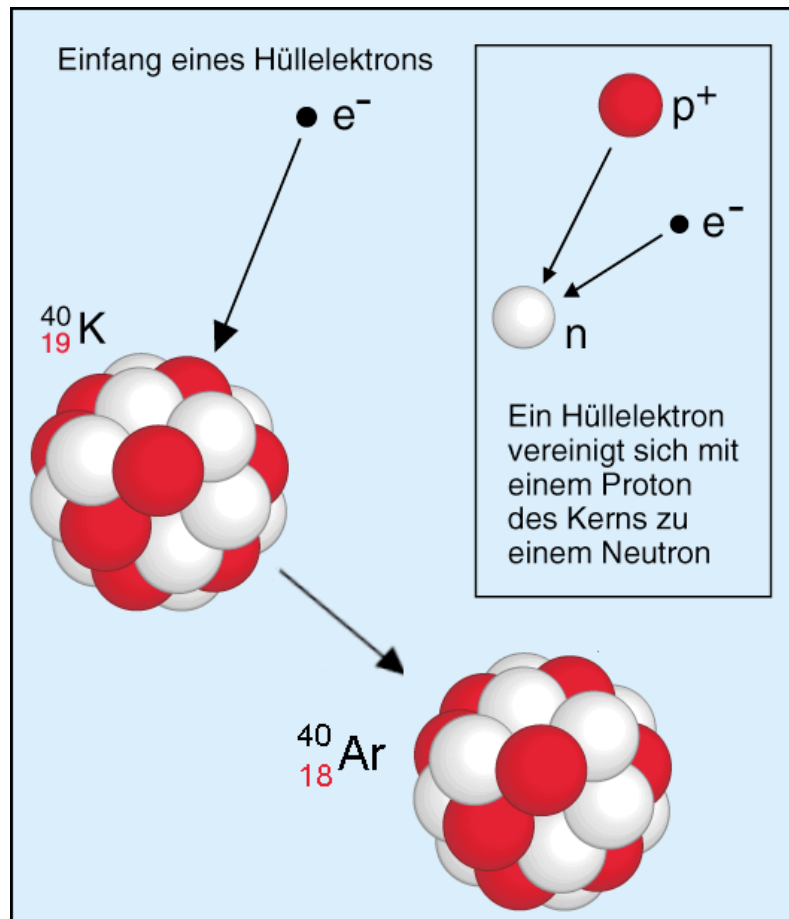
## Jod

Alter deutscher Name für das international und inzwischen auch in Deutschland mit →[Iod](#) bezeichnete Element; Chemisches Element-Zeichen: I

# K

## K-Einfang

Einfang eines Bahnelektrons aus der innersten Elektronenschale eines Atoms (K-Schale) durch den Atomkern. → [Elektroneneinfang](#)



K-Einfang, Umwandlung von Kalium-40 durch Elektroneneinfang in Argon-40

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021\\_lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021_lexikon2010_01.pdf)

## K-Meson

Elementarteilchen aus der Gruppe der Mesonen. → [Elementarteilchen](#)

## K-Strahlung

K-Strahlung ist die charakteristische Röntgenstrahlung, die beim Wiederauffüllen der K-Schale, z. B. nach einem  $\rightarrow$ K-Einfang, ausgesandt wird. Die Wiederauffüllung einer inneren Schale kann auch strahlungslos verlaufen; die freiwerdende Energie wird in diesem Fall auf ein Elektron auf einer weiter außen liegenden Schale übertragen, das die Atomhülle verlässt ( $\rightarrow$ Auger-Effekt).

## Kalibriernuklide

Zur Kalibrierung von Messeinrichtungen sollten Kalibrierstrahler verwendet werden, die möglichst mit den nachzuweisenden Nukliden identisch sind. Da dies nicht immer möglich ist, werden in der Praxis geeignete Kalibrierstrahler eingesetzt, welche dieselbe Strahlenart mit gleicher oder ähnlicher Energie emittieren. Für Messgeräte zum Nachweis von Beta- oder Alphakontaminationen haben sich folgende Kalibriernuklide als geeignet erwiesen:

Betastrahler:

Maximalenergie < 200 keV	C-14
Maximalenergie 200 keV – 500 keV	Tc-99, Co-60
Maximalenergie > 500 keV	Cl-36, Sr-90, Tl-204

Alphastrahler: Am-241, Pu-238

(Lit.: ISO8789)

## Kalibrierung

Mit der Kalibrierung eines Messgeräts wird ein quantitativer Zusammenhang zwischen der Messwertanzeige und dem richtigen  $\rightarrow$ Messwert hergestellt. Dies erfolgt in der Regel durch Kalibriermessungen an einem bekannten Kalibrierstrahler, über den der richtige Messwert bekannt ist. Das Ergebnis ist in der Regel ein Kalibrierfaktor, der direkt am Messgerät eingestellt werden kann oder mit dem die Messwertanzeige zu multiplizieren ist, um den richtigen Messwert zu erhalten. Der Kehrwert des Kalibrierfaktors wird oft als  $\rightarrow$ Ansprechvermögen bezeichnet.

## Kalibrierung, Kontaminationsmonitore

Großflächenzählrohre zur Messung der Oberflächenkontamination werden mit großflächigen Kalibrierquellen kalibriert, welche die Zählrohrfläche vollständig abdecken. Häufig werden Quellen mit 100 cm<sup>2</sup> - 300 cm<sup>2</sup> aktiver Fläche verwendet. Der Abstand Quelle – Detektoreintrittsfenster soll die Realität bei den späteren Messungen abbilden. Er darf daher nicht zu gering sein, da sonst das Ansprechvermögen des Detektors überschätzt wird. Vorgeschrieben sind minimal 0,5 cm bei Alphastrahlung und 1 cm bei Betastrahlung. Falls für die Kalibrierquelle nur die flächenbezogene Aktivität, nicht aber die flächenbezogene Teilchenemissionsrate angegeben ist, wird üblicherweise eine Quellenwirkungsgrad von  $\epsilon_k = 0,5$  angesetzt, d.h. nur die Hälfte aller in der Kalibrierquelle erzeugten Strahlungsteilchen treten aus der Quellenoberfläche in Richtung Detektor aus. Beträgt bei der späteren Messung kontaminierter Flächen der Quellenwirkungsgrad  $\epsilon_s$  ( $\rightarrow$ Ansprechvermögen), so ergibt sich für den Kalibrierfaktor  $f_k$  des Kontaminationsmessgerätes



$$f_K = \frac{a_k}{R_k - R_0} \cdot \frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_s}$$

$a_k$  = flächenbezogene Aktivität der Kalibrierquelle in Bq/cm<sup>2</sup>

$R_k$  = gemessene Impulsrate in s<sup>-1</sup>

$R_0$  = Untergrundimpulsrate in s<sup>-1</sup>

Falls der Quellenwirkungsgrad  $\varepsilon_s$  der zu messenden Flächen nicht bekannt ist, wird für Alphastrahler und für Betastrahler mit Betaenergien unter 400 keV ein Wert von 0,25 empfohlen. Für Betastrahler mit Energien > 400 keV sollte  $\varepsilon_s = 0,5$  verwendet werden.

(Lit.: VOG04, ISO7503-1)

## Kaliumiodidverordnung - KIV

Verordnung zur Abgabe von kaliumiodidhaltigen Arzneimitteln zur Iodblockade der Schilddrüse bei radiologischen Ereignissen

vom 5.6.2003; BGBl. I Nr. 25 vom 17.6.2003, S. 850

zuletzt geändert 2005 (BGBl. I Nr. 39 vom 30.6.2005, S. 1818ff)

Die Verordnung soll die Versorgung der Bevölkerung mit kaliumiodidhaltigen Arzneimitteln bei radiologischen Ereignissen sicherstellen. Diese Arzneimittel werden verabreicht, um Aufnahme radioaktiven Iods in die menschliche Schilddrüse zu vermindern.

## Kalorimetrische Dosismessung

Verfahren zu Messung sehr hoher Photonendosen; das Messprinzip beruht auf der Temperaturerhöhung eines Messkörpers infolge des Energieeintrags durch die Strahlung. Die Temperaturerhöhung ist ein Maß für die Energiedosis. Der Effekt ist allerdings sehr klein und sein Nachweis daher aufwändig. Beispiel: Durch die absorbierte Energiedosis von 1 Gy erhöht sich die Temperatur von 1 Liter Wasser um 0,24 mK, von 1 kg Graphit um 1,4 mK.

## Kanal

Begriff aus der →[Spektrometrie](#); Kanal ist in der spektrometrischen Messtechnik die spezielle Bezeichnung für einen Impulsspeicher, in den Detektorimpulse eingezählt werden. Ein Kanal wird definiert über zwei Impulshöhen-Schwellen. Alle Detektorimpulse, deren Höhen (und damit die Energien der zugehörigen Teilchen) die untere Schwelle über- und die obere Schwelle unterschreiten, werden in den Kanal eingezählt. In der Spektrometrie werden viele aneinandergrenzende Kanäle verwendet, die somit ein Raster bilden, in das die Detektorimpulse entsprechend ihrer Höhe (und damit entsprechend der Teilchenenergie) eingezählt werden. →[Vielkanalanalysator](#)

## Karzinogenese

Krebserzeugung

## Kaskadenbeschleuniger

Gleichspannungsbeschleuniger, bei dem die Hochspannung aus einer Wechselspannung mit Hilfe von Transformatoren und Gleichrichtern erzeugt wird.

## Katastrophenschutzpläne

Die Behörden sind verpflichtet, für ein Kernkraftwerk wie für jede andere großtechnische Anlage - chemische Fabrik, Raffinerie, Tanklager - oder wie auch für Naturkatastrophen eine Gefahrenabwehrplanung durchzuführen und einen Katastrophenschutzplan aufzustellen. Je nach den örtlichen Gegebenheiten kann ein solcher Plan Evakuierungsmaßnahmen für die in unmittelbarer Nähe wohnende Bevölkerung vorsehen. Die Innenministerkonferenz hat hierzu gemeinsam mit dem Länderausschuss für Atomkernenergie entsprechend einem Vorschlag der Strahlenschutzkommission 1988 'Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen' beschlossen.

## Kategorie

Die Strahlenschutzverordnung führt Kategorien beruflich strahlenexponierter Personen ein (Kategorie A oder B), die sich in den Anforderungen an die Überwachung dieser Personen unterscheiden. Geregelt ist dies in § 54 StrlSchV. → [Beruflich strahlenexponierte Personen](#)

## Keimzelle

Oberbegriff für die männliche Samenzelle und die weibliche Eizelle

## Kenndosisleistung

Kenngröße für einen Strahler; die Kenndosisleistung ist die Dosisleistung, die unter Einhaltung vereinbarter Bezugsbedingungen ermittelt wurde (DIN 6814-3, → [DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)):

Bei Röntgendiagnostikeinrichtungen ist die Kenndosisleistung  $\dot{K}_{a,100}$  definiert; sie ist die Luftkermaleistung frei in Luft in 100 cm Fokusabstand auf dem Zentralstrahl. Mit dieser Definition ist auch der Einfluss der Schwächung und Streuung der Strahlung im Strahler oder in der Luft auf dem Weg zum Aufpunkt erfasst.

Bei Elektronenbeschleunigern, Gammabestrahlungseinrichtungen und Röntgenbestrahlungseinrichtungen ist die Kenndosisleistung  $\dot{D}_{w,100}$  definiert. Sie ist der Maximalwert der Wasser-Energiedosisleistung, gemessen auf dem Zentralstrahl, in einem quasi-halbinendlichen Wasserphantom oder wasseräquivalenten Phantom bei 100 cm Abstand des Messorts vom Fokus und einer geometrischen Feldgröße von 10 cm x 10 cm in diesem Abstand vom Fokus.

In der Praxis wird der Abstand zwischen Fokus und der Phantomoberfläche so gewählt, dass sich am Messort die höchste Energiedosisleistung ergibt. Die Phantomgröße wird so gewählt, dass eine weitere Vergrößerung des Phantoms den Messwert  $\dot{D}_{w,100}$  nicht mehr verändert.

Bei Gammabestrahlungseinrichtungen wird die Kenndosisleistung für den Fokus-Messort-Abstand 80 cm angegeben.

Bei umschlossenen Strahlenquellen für die Brachytherapie, die ausschließlich Gammastrahlung emittieren, ist die Kenndosisleistung  $\dot{K}_{a,100}$  definiert als die Luftkermaleistung frei in Luft in 100 cm Abstand vom Schwerpunkt der Aktivitätsverteilung des Strahlers.

Bei Neutronenbestrahlungseinrichtungen ist die Kenndosisleistung  $\dot{D}_{m,100}$  definiert; sie ist der Maximalwert der Summe der auf ICRU-Muskelgewebe bezogenen Energiedosisleistungen für Neutronenstrahlung und begleitende Photonenstrahlung. Gemessen wird auf dem Zentralstrahl in einem quasi halbunendlichen, weichteilgewebeäquivalenten Phantom bei 100 cm Fokus-Messort-Abstand und einer geometrischen Feldgröße am Messort von 10 cm x 10 cm. Zusätzlich wird für den gleichen Messort die auf ICRU-Muskelgewebe bezogene Energiedosisleistung der begleitenden Photonenstrahlung angegeben.

(s. DIN 6814-3, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## **Kennzeichnungspflicht**

Die Kennzeichnungspflicht ist in der Strahlenschutzverordnung (§§ 36, 68) und in der Röntgenverordnung (§ 19) geregelt. Sie bezieht sich auf

- Kontrollbereiche und Sperrbereiche,
- Geräte, Vorrichtungen, Schutzbehälter und Aufbewahrungsbehältnisse,
- Kontaminierte Bereiche und
- bauartzugelassene Vorrichtungen.

Die Kennzeichnung soll folgende Angaben enthalten:

**VORSICHT - STRAHLUNG,  
RADIOAKTIV,  
KERNBRENNSTOFFE  
oder  
KONTAMINATION**

Zusätzlich muss bei Kontroll- und Sperrbereichen folgende Kennzeichnung erfolgen:

**KONTROLLBEREICH  
oder  
SPERRBEREICH - KEIN ZUTRITT**

Kontrollbereiche nach **RöV** sind abzugrenzen und während der Einschaltzeit zu kennzeichnen (§ 19 RöV). Die Kennzeichnung muss deutlich sichtbar mindestens die Worte

**Kein Zutritt - Röntgen**

enthalten; sie muss auch während der Betriebsbereitschaft vorhanden sein.



Beispiele für Kennzeichnungen im Strahlenschutz

## Kerma

Abk. für **K**inetic energy released per unit **m**ass; die Kerma  $K$  ist eine Dosisgröße. Sie ist definiert als der Quotient aus  $dE_{tr}$  und  $dm$ ; dabei ist  $dE_{tr}$  die Summe der Anfangswerte der kinetischen Energien aller geladenen Teilchen, die von indirekt ionisierender Strahlung aus dem Material in einem Volumenelement  $dV$  freigesetzt werden, und  $dm$  die Masse des Materials in diesem Volumenelement. Die SI-Einheit der Kerma ist das Gray (Gy).

Die Kerma ist damit nur von der Strahlenart und der Wechselwirkung im betrachteten Materievolumen abhängig, nicht von der Umgebung dieses Volumens. Ihre besondere Bedeutung liegt darin, dass sie unter definierten Bedingungen leicht zu berechnen ist und einfach zur Energiedosis in Beziehung gesetzt werden kann. Die Kerma ist immer nur für ein spezielles Bezugsmaterial definiert. Die Luftkerma  $K_a$  wird heute oft anstelle der Standard-Ionendosis ( $\rightarrow$  Ionendosis) verwendet. Sie ist in der Röntgendiagnostik eine gebräuchliche Größe. Mit der früher gebräuchlichen Photonen-Äquivalentdosis  $H_x$  ist sie über folgende Beziehung verknüpft:

$$H_x = 1,141 \text{ Sv/Gy} \cdot K_a$$

## Kermafaktor

Der Kermafaktor  $k_f$  verknüpft die auf eine Materieschicht auftreffende Neutronen-Teilchenfluenz ( $N/A$  = Anzahl der auftreffenden Neutronen je Flächeneinheit) mit der je Masseneinheit  $dm$  auf geladene Sekundärteilchen übertragenen kinetischen Energie  $dE_{tr}$  ( $= dE_{tr} / dm$ ):

$$k_f \cdot \frac{N}{A} = \frac{dE_{tr}}{dm}$$

Der Kermafaktor ist energieabhängig. Die Kerma erhält man durch Multiplikation des über das Teilchenspektrum gemittelten Kermafaktors mit der Neutronenfluenz. (s. auch DIN 6814-2)

## Kernanlage

Für die Anwendungen der Vorschriften über die Haftung definiert das Atomgesetz als Kernanlage:

- Reaktoren, ausgenommen solche, die Teil eines Beförderungsmittels sind;
- Fabriken für die Erzeugung oder Bearbeitung von Kernmaterialien,
- Fabriken zur Trennung der Isotope von Kernbrennstoffen,
- Fabriken für die Aufarbeitung bestrahlter Kernbrennstoffe;
- Einrichtungen für die Lagerung von Kernmaterialien, ausgenommen die Lagerung solcher Materialien während der Beförderung.

Eine Kernanlage kann auch aus zwei oder mehr Kernanlagen eines einzigen Inhabers bestehen, die sich auf demselben Gelände befinden, zusammen mit anderen Anlagen auf diesem Gelände, in denen sich radioaktive Materialien befinden.

## Kernbrennstoff

Nach der Definition des Atomgesetzes (§ 2 Abs.1 AtG) sind Kernbrennstoffe besondere spaltbare Stoffe in Form von

- Plutonium-239 und Plutonium-241,
- mit den Isotopen 235 oder 233 angereichertes Uran,
- Stoffen, die einen oder mehrere der vorerwähnten Stoffe enthalten,
- Stoffen, mit deren Hilfe in einer geeigneten Anlage (Reaktor) eine sich selbst tragende Kettenreaktion aufrechterhalten werden kann und die in einer Rechtsverordnung bestimmt werden.

Der Ausdruck „mit den Isotopen 235 oder 233 angereichertes Uran“ bedeutet Uran, das die Isotope U-235 oder U-233 oder diese beiden Isotope in einer solchen Menge enthält, dass die Summe dieser beiden Isotope größer ist als die Menge des Isotops U-238 multipliziert mit dem in der Natur auftretenden Verhältnis des Isotops U-235 zum Isotop U-238 ( $0,72 \% / 99,2745 \% = 0,00725$ ).

## Kernbrennstoff-Kreislauf

Eine Reihe von Verfahrensstufen bei der Versorgung und Entsorgung von Kernreaktoren mit Kernbrennstoff. In allen Verfahrensstufen müssen wegen der Radioaktivität des gehandhabten Materials Strahlenschutzaspekte beachtet werden.

- Versorgung: Ausgangspunkt der Kernenergienutzung ist die Versorgung der Kernreaktoren mit Uran. In einem Aufbereitungsverfahren wird das im Erz enthaltene Uran aufkonzentriert. Es entsteht das Handelsprodukt 'Yellow Cake', das etwa 70-75% Uran enthält. Das im Yellow Cake enthaltene Uran weist die natürliche Isotopenzusammensetzung von 0,7% U-235 und 99,3% U-238 auf. Kernkraftwerke benötigen Uran mit einem Anteil von rund 3% des spaltbaren Isotops U-235. Daher muss das Uran an U-235 'angereichert' werden. Dazu wird das Uran in die chemische Verbindung  $UF_6$  umgewandelt, die leicht in die Gasphase überführt werden kann, da nur in der Gasphase eine Anreicherung einfach möglich ist. Anreicherungsverfahren - [→Gaszentrifuge](#) oder [→Diffusionstrennverfahren](#) - nutzen den geringen Massenunterschied der U-235- und U-238-Moleküle des  $UF_6$ , um diese beiden Komponenten zu trennen. In der

Brennelementfabrik wird das  $UF_6$  in  $UO_2$  umgewandelt. Aus  $UO_2$ -Pulver werden Tabletten gepresst, die bei Temperaturen über  $1.700\text{ }^\circ\text{C}$  gesintert und dann in nahtlos gezogene Hüllrohre aus einer Zirkonlegierung gefüllt und gasdicht verschlossen werden. Man erhält so einzelne Brennstäbe, die zu Brennelementen zusammengesetzt werden. Brennelemente eines Druckwasserreaktors enthalten rund 340 kg Uran, eines Siedewasserreaktors rund 190 kg Uran. Wegen der relativ geringen Ortsdosisleistung des Urans liegt das Schwergewicht der Strahlenschutzmaßnahmen bei der Versorgung auf der Vermeidung von Kontaminationen und Inkorporationen.

- Entsorgung: Die Einsatzzeit der Brennelemente im Reaktor beträgt drei bis vier Jahre. Durch Kernspaltung wird Kernenergie in Wärme und nachfolgend in elektrischen Strom umgewandelt. Dabei nimmt der Anteil des spaltbaren  $U-235$  ab, und es entstehen die zumeist radioaktiven Spaltprodukte sowie nennenswerte Mengen des neuen, spaltbaren Kernbrennstoffs Plutonium. Alle Tätigkeiten zur Behandlung, Aufarbeitung und Beseitigung der ausgedienten Brennelemente werden zusammenfassend als Entsorgung bezeichnet. Wegen der sehr hohen Ortsdosisleistung der bestrahlten Brennelemente ist neben der Inkorporationsvermeidung der Schutz vor Direktstrahlung bei der Entsorgung von besonderer Bedeutung. Zwei Arten der Entsorgung sind möglich: → **Wiederaufarbeitung** mit Rückgewinnung und Wiederverwendung der nutzbaren Anteile Plutonium und Uran oder → **direkte Endlagerung**, bei der die ausgedienten Brennelemente insgesamt als Abfälle deponiert werden. Die ausgedienten Brennelemente kommen zunächst in ein Zwischenlager, in dem ihre Aktivität abklingt. Bei der dann folgenden Wiederaufarbeitung werden wiederverwertbares Uran und Plutonium von den radioaktiven Spaltprodukten getrennt. Für die Wiederverwendung im Kernkraftwerk müssen Plutonium und Uran - dieses u. U. nach erneuter Anreicherung - wieder zu Brennelementen verarbeitet werden. Mit ihrem Einsatz im Kernkraftwerk schließt sich der Brennstoffkreislauf. Bei der direkten Endlagerung wird das gesamte Brennelement einschließlich der Wertstoffe Uran und Plutonium nach einer Zwischenlagerung zum Zerfall der kurzlebigen Radionuklide und damit verbundener Reduzierung der zerfallsbedingten Wärmeentwicklung als radioaktiver Abfall entsorgt. In einer Konditionierungsanlage werden die Brennelemente zerlegt, in endlagerfähige Gebinde verpackt und dann als radioaktiver Abfall endgelagert. Beide Wege - Wiederaufarbeitung und direkte Endlagerung - sind in Deutschland eingehend untersucht und die dafür erforderlichen Verfahren und Komponenten entwickelt worden.

Die im Brennstoffkreislauf anfallenden radioaktive Abfälle müssen auf Dauer sicher gelagert und aus der Biosphäre ferngehalten werden. Schwach- und mittelaktive flüssige radioaktive Abfälle werden u. U. nach vorheriger Volumenreduktion durch Verdampfen mit Zement fixiert. Feste radioaktive Abfälle werden zur Volumenreduzierung verbrannt oder kompaktiert. Zur Endlagerung werden diese Produkte in speziellen Fässern oder Containern verpackt. Die hochaktiven, wärmeentwickelnden Spaltproduktlösungen aus der Wiederaufarbeitung werden in einem seit Jahren erprobten Verfahren unter Zusatz von glasbildenden Stoffen in Glas eingeschmolzen und in Edelstahlbehälter gefüllt. Für die Endlagerung werden stabile geologische Formationen benutzt. In der Schweiz werden Granitgestein oder Opalinuston als Wirtsgesteine für die Endlagerung untersucht, in Schweden ist Granitgestein vorgesehen. In Deutschland werden insbesondere Salzstöcke für eine Endlagerung untersucht. Für die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle weist Steinsalz

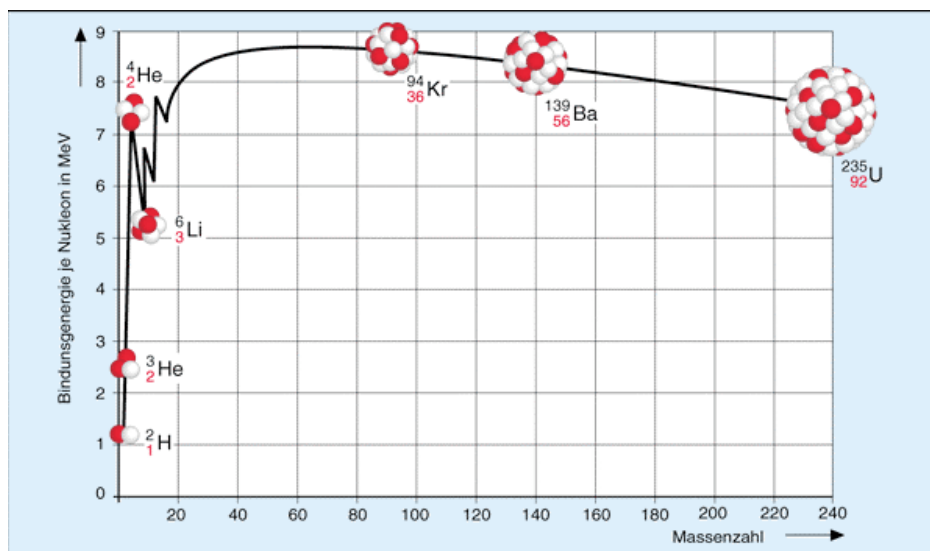
sehr gute Eigenschaften auf, da es die Wärme gut abführt und sich plastisch verhält, d. h., Hohlräume schließen sich allmählich wieder und die Abfälle werden sicher eingehüllt.

## Kernchemie

Teilgebiet der Chemie, das sich mit dem Studium von Atomkernen und Kernreaktionen unter Verwendung chemischer Methoden befasst. →[Radiochemie](#).

## Kernenergie

Innere Bindungsenergie der Atomkerne. Die Kernbausteine sind von einer Atomsorte zur anderen verschieden stark aneinander gebunden. Das Maximum der Bindungsenergie je Kernbaustein liegt im Bereich der Massezahl 60. Durch Kernumwandlungen kann man deshalb Energie entweder durch Spaltung (Fission) schwerer Kerne wie Uran oder durch Verschmelzung (Fusion) leichter Kerne wie Wasserstoff gewonnen werden. Bei der Fusion von Deuterium und Tritium (DT-Reaktion) zu 1 kg Helium wird eine Energie von rund 120 Mio. kWh frei, die Spaltung von 1 kg U235 liefert rund 23 Mio. kWh. Die Verbrennung von 1 kg Steinkohle liefert dagegen nur etwa 10 kWh. →[Fusion](#), →[Kernspaltung](#)



Kernbindungsenergie in Abhängigkeit von der Massenzahl des Atomkern

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie

## Kernfusion

→[Fusion](#)

## Kernkraftwerk

Wärmeleistung, überwiegend zur Stromversorgung, bei dem die bei der →[Kernspaltung](#) in einem →[Reaktor](#) freigesetzte →[Kernenergie](#) in Wärme und über einen



Wasser-Dampf-Kreislauf mittels Turbine und Generator in elektrische Energie umgewandelt wird. Die durch Kernkraftwerke erzeugten Strahlenexpositionen setzen sich aus der beruflichen Strahlenexposition der Beschäftigten, die im Wesentlichen durch Direktstrahlung bestimmt wird, und der Strahlenexposition der Bevölkerung infolge der Ableitungen über Luft und Wasser zusammen. (→[Strahlenexposition, zivilisatorische](#))

## Kernladungszahl

Die Kernladungszahl  $Z$  gibt die Anzahl der Protonen im Atomkern an; sie ist damit ein Maß für die elektrische Ladung des Kerns; →[Ordnungszahl](#). In der Physik ist es üblich, die Kernladungszahl unten links an das Elementsymbol zu schreiben, während die →[Massenzahl](#) links oben steht. Beispiel:  ${}_{27}^{60}\text{Co}$

## Kernmaterial

Der Begriff Kernmaterial ist umfassender als der Begriff →[Kernbrennstoff](#) und im nationalen Atomgesetz und im internationalen Bereich der →[Kernmaterialüberwachung](#) unterschiedlich definiert:

### Atomgesetz

Für die Anwendung der Vorschriften über die Haftung und Deckung entsprechend Atomgesetz sind Kernmaterialien Kernbrennstoffe (ausgenommen natürliches und abgereichertes Uran) sowie radioaktive Erzeugnisse und Abfälle.

### Euratom-Sicherheitsmaßnahmen:

Unter Kernmaterial werden folgende Stoffe subsummiert:

- "Erze":  
alle Erze, die mit mittleren Konzentrationen Stoffe enthalten, die durch geeignete chemische und physikalische Aufbereitung die Gewinnung des nachfolgend genannten Ausgangsmaterials ermöglichen; die vorstehende mittlere Konzentration wird durch den Rat auf Vorschlag der Kommission mit qualifizierter Mehrheit bestimmt;
- "Ausgangsmaterial":  
Uran, welches das in der Natur vorkommende Isotopengemisch enthält; Uran, dessen Gehalt an Uran-235 unter dem natürlichen Gehalt liegt; Thorium; jedes oben genannte Material in Form von Metall, Legierungen, chemischen Verbindungen oder Konzentraten, jedes andere Material, das ein oder mehrere des oben genannten Materials in Konzentrationen enthält, welche der Rat auf Vorschlag der Kommission mit qualifizierter Mehrheit bestimmt, sowie jedes andere Material, das der Rat mit qualifizierter Mehrheit auf Vorschlag der Kommission bestimmen wird. Das Wort "Ausgangsmaterial" wird nicht als auf Erze oder Erzurückstände bezüglich ausgelegt;
- "mit Uran-235 oder Uran-233 angereichertes Uran":  
Uran, welches entweder Uran-235 oder Uran-233 oder diese beiden Isotope in einer solchen Menge enthält, dass das Verhältnis zwischen der Summe dieser beiden Isotope und dem Isotop 238 über dem Verhältnis zwischen dem Isotop 235 und dem Isotop 238 in natürlichem Uran liegt. "Anreicherung" ist das Ver-

hältnis zwischen dem kombinierten Gewicht der Isotope Uran-233 und Uran-235 und dem Gesamtgewicht des betrachteten Urans;

- "besonderes spaltbares Material":

Plutonium-239, Uran-233, mit Uran-235 oder Uran-233 angereichertes Uran, jedes Erzeugnis, in dem eines oder mehrere der oben genannten Isotope enthalten sind, sowie sonstiges spaltbares Material, das durch den Rat auf Vorschlag der Kommission mit qualifizierter Mehrheit bestimmt wird; Ausgangsmaterial sowie Erze und Erzurückstände zählen jedoch in keinem Fall zu "besonderem spaltbarem Material".

## Kernmaterialüberwachung

Organisatorische und physikalische Prüfmethode, die eine Überwachung des spaltbaren Materials ermöglichen und die unerlaubte Entnahme entdecken; in Deutschland wird die Kernmaterialüberwachung von Euratom und IAEA durchgeführt.

## Kernphotoeffekt

Beim Kernphotoeffekt wird ein hochenergetisches Photon von einem Atomkern absorbiert, der dadurch energetisch angeregt wird. Die anschließende Abregung kann über Gammaemission oder Teilchenemission erfolgen. So entstehen z.B. Neutronen an Elektronenbeschleunigern hauptsächlich über den Kernphotoeffekt der Bremsstrahlung. Reaktionssymbol (bei Neutronenemission):  $(\gamma, n)$

## Kernreaktion

Eine Kernreaktion ist i.A. jede Wechselwirkung zwischen einem Strahlungsteilchen (incl. Photon) und einem Atomkern. In der Physik gibt es verschiedene Schreibweisen für eine Kernreaktion, in der ein Strahlungsteilchen  $x$  auf einen Kern  $X$  einwirkt und danach der Kern  $Y$  und das Strahlungsteilchen  $y$  beobachtet werden. Zwei gebräuchliche Schreibweisen sind:

$$1) X(x, y)Y, E$$

$$2) X + x \rightarrow Y + y + E$$

$E$  ist die Reaktionsenergie oder Energietönung der Kernreaktion. Wird bei der Reaktion Energie frei ( $E > 0$ ), heißt die Reaktion exotherm, ist  $E < 0$ , bezeichnet man sie als endotherm. Bei endothermen Reaktionen muss das Strahlungsteilchen  $x$  mindestens eine Schwellenenergie besitzen, um die Reaktion auslösen zu können. Bei der Schwellenenergie kann unter den gegebenen Reaktionsverhältnissen die Reaktionsenergie auf den Stoßpartner  $X$  übertragen werden. Schwellenenergien sind für eine Reihe von Kernreaktionen in der Fachliteratur tabelliert.

Für den Strahlenschutz sind insbesondere solche Reaktionen von Bedeutung, bei denen mindestens eins der Reaktionsprodukte  $y$  oder  $Y$  radioaktiv ist.

## Kernreaktor

→Reaktor

## Kernreaktor-Fernüberwachungssystem

Messsystem zur Erfassung von Emissions- und Strahlendosiswerten sowie Betriebsparametern von Kernkraftwerken und Fernübertragung zur zentralen Datenverarbeitung und Auswertung bei der Überwachungsbehörde.

## Kernschmelzen

Fällt die Kühlung des Reaktorkerns z. B. bei einem großen Leck im Reaktorkühlkreislauf und gleichzeitigem Versagen der Notkühlung aus, so heizt die im Brennstoff durch den radioaktiven Zerfall der Spaltprodukte entstehende Nachwärme den Reaktorkern auf. Dabei kann der Brennstoff bis auf Schmelztemperatur erhitzt werden. Beim Schmelzen des Brennstoffs versagen auch die Kerntragestrukturen. Die gesamte Schmelzmasse stürzt in den unteren halbkugelförmigen Bereich des Reaktordruckbehälters. Es ist davon auszugehen, dass die in der Schmelze enthaltene Wärme den Boden des Reaktordruckbehälters durchschmilzt. Für das Ausmaß der Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung bei einem solchen Kernschmelzunfall ist die Dichtheit des Sicherheitsbehälters von Bedeutung.

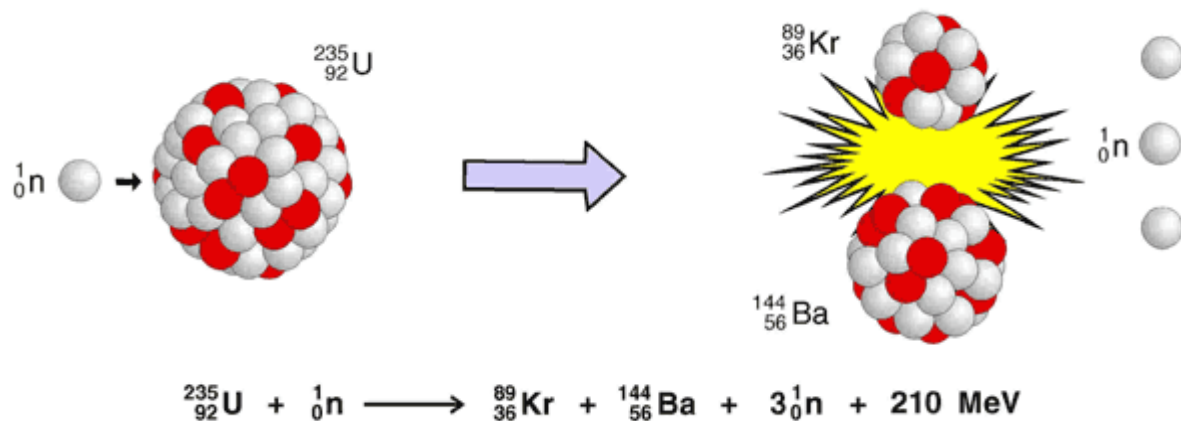
## Kernschmelzrückhalteeinrichtung

Konstruktion in einem Reaktor zum Auffangen und Kühlen eines geschmolzenen Reaktorkerns. Die Reaktorgrube ist dabei für die Aufnahme der bei einem Kernschmelzunfall entstehenden flüssigen Metallschmelze ausgelegt, die durch die Schwerkraft in einen tiefer liegenden Bereich aus feuerfestem Material geleitet wird, auf dem sich die Metallschmelze von selbst so ausbreitet, dass die in ihr enthaltene Energie durch Kühlung entzogen werden kann und die Schmelze erstarrt.

## Kernspaltung

Spaltung eines Atomkernes in zwei (ggf. auch drei) Teile etwa derselben Größe durch den Stoß eines Teilchens. Die Kernspaltung kann bei sehr schweren Kernen auch spontan auftreten; →[Spaltung](#), [spontane](#). Kernspaltungen schwerer Kerne werden häufig durch eine Kernreaktion mit einem Neutron als Stoßpartner initiiert. Der Wirkungsquerschnitt hängt dabei von der Neutronenenergie ab. Durch thermische Neutronen sind vor allem Kerne mit ungerader Nukleonenzahl spaltbar (z.B. U-233, U-235, Pu-239), während Kerne mit gerader Nukleonenzahl von energiereichen Neutronen gespalten werden (z.B. Th-232, U-238, Pu-240).

Bei der Kernspaltung von Uran-235 wird durch Einfang eines Neutrons der Urankern zur Spaltung angeregt. Dabei entstehen im Allgemeinen zwei - seltener drei - →[Spaltprodukte](#), zwei bis drei Neutronen und Energie.



Beispiel für Kernspaltung an U-235

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie

[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

Im Urankern sind die →**Nukleonen** mit einer mittleren Energie von etwa 7,6 MeV pro Nukleon gebunden. In den Spaltproduktkernen beträgt die mittlere Bindungsenergie je Nukleon etwa 8,5 MeV. Diese Differenz in der Bindungsenergie von 0,9 MeV je Nukleon wird bei der Kernspaltung freigesetzt. Da der Urankern 235 Nukleonen besitzt, wird pro Spaltung ein Energiebetrag von rund 210 MeV frei. Er setzt sich aus folgenden Teilbeträgen zusammen:

kinetische Energie der Spaltprodukte	175 MeV
kinetische Energie der Spaltneutronen	5 MeV
Energie der unmittelbar bei der Spaltung auftretenden Gamma-Strahlung	7 MeV
Energie der Beta- + Gamma-Strahlung beim Zerfall der radioaktiven Spaltprodukte	13 MeV
Energie der Neutrinos	10 MeV

Durch die bei der Kernspaltung freigesetzten Neutronen ist prinzipiell eine →**Kettenreaktion** möglich. Anlagen, in denen Spaltungskettenreaktionen kontrolliert ablaufen, nennt man Kernreaktoren.

## Kernspurdetektor

Detektor zum Nachweis schwerer, dicht ionisierender Partikelstrahlung, insbesondere schwere Ionen, Rückstoßkerne und Reaktionsprodukte aus Kernreaktionen mit Neutronen; das Detektormaterial ist ein fester, nicht leitender Stoff, z.B. spezielle Gläser oder Kunststoffe, in dem die Partikel Materialschäden verursachen, die später durch Ätzen erkennbar gemacht werden. Die Anzahl der Spuren je Flächeneinheit ist ein Maß für die Fluenz der Strahlung (→**Teilchenfluenz**). Bei bekannter Energieverteilung kann daraus die Dosis ermittelt werden. Die Auszählung der Spuren erfolgt mit dem Auge unter dem Mikroskop, aber auch über spezielle, automatisierte Bilderkennungsverfahren. Als Ätzmittel werden für anorganische Detektormaterialien starke Säuren und für organische Materialien Laugen verwendet.

Kernspurdetektoren werden im praktischen Strahlenschutz u.a. zum Nachweis von Alphastrahlen und Neutronen eingesetzt. Beim Nachweis von Neutronen werden in so genannten Konverterfolien durch die Neutronen dicht ionisierende geladene Teilchen erzeugt. Geeignete Konverter sind z.B. für schnelle Neutronen Th-232 und für thermische Neutronen Li-6. Bei speziellen organischen Feststoffen kann auf Konverter verzichtet werden, wenn durch Kernreaktionen mit dem Detektormaterial selbst dicht ionisierende Reaktionsprodukte erzeugt werden. Kernspurdetektoren können zur Ermittlung der Neutronendosis im Energiebereich zwischen 0,15 MeV und 70 MeV eingesetzt werden; der Dosismessbereich liegt zwischen 0,1 mSv und 2 Sv. (Lit.: VOG04)

## **Kernspurfilm**

→[Kernspurdetektor](#) aus photonenempfindlichen Material; der Einsatzbereich zum Nachweis von Neutronenstrahlung liegt bei Neutronenenergien zwischen etwa 0,8 MeV und 15 MeV, der Dosismessbereich liegt zwischen 0,2 mSv und 500 mSv. Nachteilig ist die zusätzliche Empfindlichkeit gegen Photonenstrahlung.

## **Kerntechnische Anlage**

Anlage oder Einrichtung, die in direktem Zusammenhang mit der Energieerzeugung durch Kernspaltung stehen; dazu gehören neben den →[Kernanlagen](#) selbst auch die Anlagen zur Lagerung der in den Kernanlagen entstehenden Abfälle einschließlich der Endlager.

Gegenüber dieser, im fachlichen Sprachgebrauch üblichen Definition ist die rechtliche Definition entsprechend dem Strafgesetzbuch eingeschränkter:

Eine kerntechnische Anlage ist eine Anlage zur Erzeugung oder zur Bearbeitung oder Verarbeitung oder zur Spaltung von Kernbrennstoffen oder zur Aufarbeitung bestrahlter Kernbrennstoffe (§ 330d StGB)

## **Kerntechnischer Ausschuss (KTA)**

Der KTA hat die Aufgabe, auf Gebieten der Kerntechnik, bei denen sich aufgrund von Erfahrungen eine einheitliche Meinung von Fachleuten der Hersteller, Ersteller und Betreiber von Atomanlagen, der Gutachter und Behörden abzeichnet, für die Aufstellung sicherheitstechnischer Regeln zu sorgen und deren Anwendung zu fördern. Der KTA hat u.a. auch Regeln zum Strahlenschutz im kerntechnischen Bereich herausgegeben. →[KTA-Regeln zum Strahlenschutz](#)

## **Kerntechnischer Hilfsdienst**

Die Kerntechnische Hilfsdienst GmbH in Eggenstein-Leopoldshafen ist eine von Betreibern kerntechnischer Anlagen gegründete Gesellschaft zur Gewährleistung der Schadensbekämpfung bei Unfällen oder Störfällen in kerntechnischen Anlagen und beim Transport radioaktiver Stoffe. Zur Eindämmung und Beseitigung der durch Unfälle oder Störfälle entstandenen Gefahren werden die erforderlichen speziellen Hilfsmittel und entsprechend ausgebildetes Personal vorgehalten.

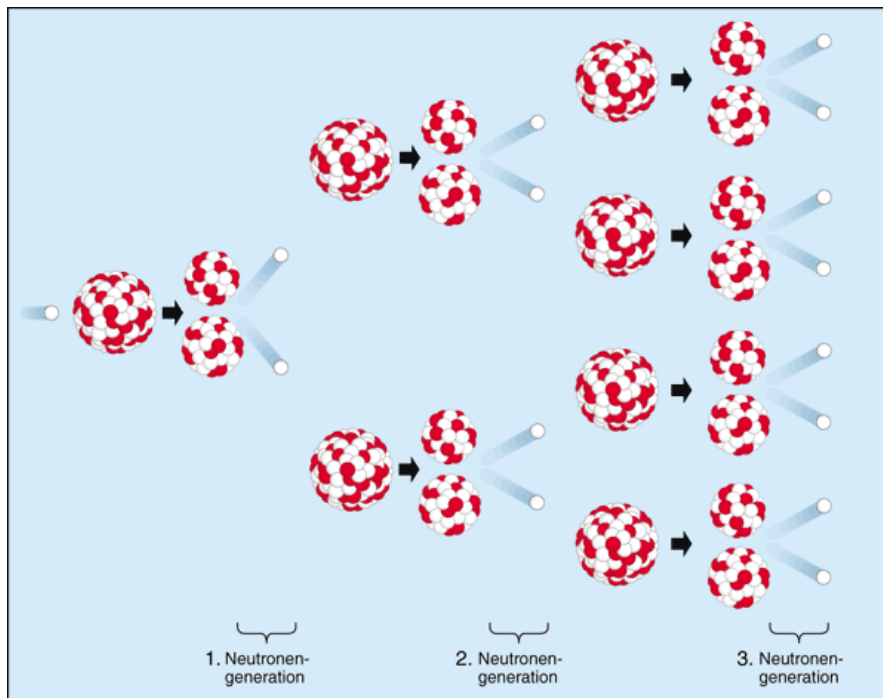
## Kernumwandlung

Als Kernumwandlung wird allgemein eine spontan erfolgende (Radioaktivität) oder durch äußere Einflüsse initiierte Umwandlung (Reaktion) eines Atomkerns in einen Kern eines anderen Nuklids bezeichnet.

Speziell im Zusammenhang mit Neutronenstrahlung wird damit die Absorption eines Neutrons durch einen Atomkern mit anschließender Emission eines materiebehafteten Teilchens bezeichnet. Wird anstelle des materiebehafteten Teilchens ein Gammaquant emittiert, liegt →**Neutroneneinfang** vor.

## Kettenreaktion

Reaktion, die sich von selbst fortsetzt; in einer Spaltungskettenreaktion absorbiert ein spaltbarer Kern ein Neutron, spaltet sich und setzt dabei mehrere Neutronen frei (bei U-235 im Mittel 2,46). Diese Neutronen können ihrerseits wieder durch andere spaltbare Kerne absorbiert werden, Spaltungen auslösen und weitere Neutronen freisetzen.



Prinzip einer Kettenreaktion

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## keV

Abk. für Kiloelektronvolt;  $1 \text{ keV} = 1.000 \text{ eV}$ ; →**Elektronvolt**

## KFÜ

Abk. für →**Kernreaktor-Fernüberwachungssystem**

## KHG

Abk. für →[Kerntechnische Hilfsdienst GmbH](#)

## KiKK-Studie

Epidemiologische Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken; die 2007 veröffentlichte Studie wurde im Auftrag des Bundesamts für Strahlenschutz vom Deutschen Krebsregister in Mainz durchgeführt und zeigt, dass bei Kindern unter fünf Jahren ein erhöhtes Krebsrisiko in der Umgebung von Kernkraftwerken existiert, welches mit der Entfernung vom Kraftwerk abnimmt. Eine wissenschaftliche Erklärung dafür gibt es jedoch nicht, weil die ermittelten Fallzahlen nicht mit den radioaktiven Emissionen der Kraftwerke erklärbar sind. Diese müssten, um die beobachteten Erhöhungen zu erzeugen, mindestens um drei Größenordnungen höher sein.

Quelle KiKK-Studie: [www.bfs.de/en/bfs/publikationen/broschueren/kerntechnik/stth\\_kinderkrebs.html](http://www.bfs.de/en/bfs/publikationen/broschueren/kerntechnik/stth_kinderkrebs.html)

## Kilogramm, effektives

Eine besondere bei der Anwendung von Sicherungsmaßnahmen von Kernmaterial verwendete Einheit; die Menge in effektiven Kilogramm entspricht:

- bei Plutonium seinem Gewicht in Kilogramm,
- bei Uran mit einer Anreicherung von 1% und darüber seinem Gewicht in Kilogramm multipliziert mit dem Quadrat seiner Anreicherung,
- bei Uran mit einer Anreicherung unter 1% und über 0,5% seinem Gewicht in Kilogramm multipliziert mit 0,0001,
- bei abgereichertem Uran (0,5% und darunter) und für Thorium ihrem Gewicht in Kilogramm multipliziert mit 0,00005.

## KIV

Abk. für →[Kaliumiodidverordnung](#)

## Kleinste nachweisbare Kontamination

→[Kontamination, kleinste nachweisbare](#)

## Knochensucher

Ein Stoff, der im menschlichen und tierischen Körper bevorzugt in Knochen abgelagert wird; bei radioaktiven Stoffen z.B. Sr-90 oder Ra-226.

## Kohärente Streuung

Besondere Art der Streuung von Photonen; bei der kohärenten Streuung von Photonen bleibt die Photonenenergie erhalten. Dadurch besteht eine feste Phasenbeziehung zwischen der einfallenden und der gestreuten elektromagnetischen Welle.



## Kohlenstoff-14 (C-14)

Radioaktives Isotop des Elementes Kohlenstoff, Betastrahler, Halbwertszeit: 5.730 Jahre; natürlicher Kohlenstoff-14 (C-14) entsteht durch eine (n,p)-Reaktion von Neutronen der kosmischen Strahlung mit Stickstoff-14 in der oberen Atmosphäre. Messungen an Holz von Bäumen aus dem 19. Jahrhundert ergaben rund 230 Becquerel C-14 pro Kilogramm Kohlenstoff. Dieses natürliche (vorindustrielle) Verhältnis zwischen dem radioaktiven Kohlenstoff-14 und dem stabilen Kohlenstoff-12 in der Atmosphäre ist heutzutage durch zwei gegenläufige Effekte beeinflusst:

- Die massive Erzeugung von CO<sub>2</sub> durch das Verbrennen fossiler, C-14-freier Energieträger führt zu einer Vergrößerung des C-12-Anteils. Damit kommt es zu einer Verringerung des vorindustriellen Verhältnisses von C-14 zu C-12. Mitte der 50er Jahre ergab sich durch diesen sogenannten Suess-Effekt bereits eine Reduktion der C-14-Aktivität pro kg Kohlenstoff in der Atmosphäre um fünf Prozent.
- Kernwaffentests in der Atmosphäre und Ableitungen aus kerntechnischen Einrichtungen bedingen eine Erhöhung des C-14-Anteils in der Atmosphäre.

Die natürliche Konzentration an C-14 führt im menschlichen Körper zu einer C-14-Aktivität von rund 3 kBq. Die resultierende effektive Dosis beträgt 12 µSv/Jahr.

## Kohortenstudie

Methode zur Untersuchung der Abhängigkeit stochastischer Strahlenschäden von der Dosis; eine möglichst große Gruppe gleichartig exponierter Personen (Kohorte) wird mit einer möglichst gleichen, nicht exponierten Gruppe verglichen. Basis für die im Strahlenschutz verwendeten Dosis-Wirkungs-Beziehungen sind im Wesentlichen die Kohortenstudien an den Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki.

## Koinzidenz

Zeitlicher Zusammenfall zweier Ereignisse; Koinzidenz bedeutet nicht, dass zwei Ereignisse absolut gleichzeitig eintreten, sondern nur, dass beide Ereignisse innerhalb einer kurzen Zeitspanne auftreten, die im Nachweisgerät vorgegeben werden kann oder die durch das zeitliche Auflösungsvermögen des Nachweisgerätes bestimmt ist.

Die Koinzidenz zweier nahezu gleichzeitig auftretender Ereignisse wird in der Messtechnik genutzt, um störende Untergrundsignale auszublenden. So können z.B. die beiden in sehr kurzem Abstand hintereinander emittierten Gammaquanten des Co-60 in einer Detektoranordnung (mindestens zwei Detektoren) nachgewiesen werden. Nur wenn der zeitliche Abstand der durch beide Gammaquanten in verschiedenen Detektoren erzeugten Messsignale mit dem zeitlichen Emissionsabstand verträglich ist (die Signale sind dann koinzident), wird das Ereignis einem Zerfall im Messgut zugeordnet und als echt registriert. Gammaquanten von Co-60-Zerfällen aus der Umgebung der Messanordnung erzeugen in der Regel größere Signalabstände und werden verworfen (Antikoinzidenz). Der Einfluss zufälliger Koinzidenzen zwischen Messgut-Gammaquanten und Umgebungs-Gammaquanten muss über Kalibriermessungen berücksichtigt werden.

## Koinzidenzmessung

Im Strahlenschutz ein Messverfahren, das die Gleichzeitigkeit (oder Nahezu-Gleichzeitigkeit) zweier Ereignisse ausnutzt, um bei Strahlungsmessungen störende Untergrundeffekte auszublenden und damit die Messempfindlichkeit zu steigern (→[Koinzidenz](#)). Die Koinzidenzmessung wurde von W. Bothe in Zusammenarbeit mit W. Kohlhörster 1929 im Zusammenhang mit der Untersuchung kosmischer Strahlung entwickelt.

## Kokille

In der Kerntechnik Bezeichnung für den Glasblock - einschließlich seiner gasdicht verschweißten Metallumhüllung aus korrosionsbeständigem Stahl - des verglasten hochaktiven Abfalls. Eine Kokille enthält etwa 400 kg Glasprodukt mit 16% radioaktivem Abfall.

## Kollektivdosis

Produkt aus der Anzahl der Personen einer exponierten Personengruppe und der mittleren Dosis pro Person; alternativ die Summe aller Individualdosen der Personengruppe. Als Einheit für die Kollektivdosis ist das "Personen-Sievert" üblich.

## Kompaktlager

Einrichtung zur Lagerung bestrahlter Brennelemente im Reaktorgebäude unter - verglichen mit der Normallagerung - dichterem Belegung der Lagerbecken bei Verwendung technischer Maßnahmen zur Wahrung der Kritikalitätssicherheit.

## Kompartiment

Element aus der mathematischen Beschreibung des Verhaltens radioaktiver Stoffe im menschlichen Körper; →[biokinetisches Modell](#)

## Kondensationsbecken

Wasservorlage innerhalb des →[Sicherheitsbehälters](#) eines Siedewasserreaktors zur Kondensation des beim Bruch einer Frischdampfleitung ausströmenden Dampfes. Durch die Kondensation des Dampfes wird ein hoher Druck innerhalb des Sicherheitsbehälters abgebaut.

## Konditionierung

Behandlungsschritt im Rahmen des Umgangs mit radioaktiven Abfällen; unter Konditionierung werden die Maßnahmen zusammengefasst, die den Rohabfall in einen zwischen- oder endlagerfähigen Zustand überführen.

## Konditionierungsanlage

Eine Konditionierungsanlage dient dazu, radioaktive Abfälle oder abgebrannte Brennelemente so zu zerlegen und zu verpacken, dass die entstehenden Gebinde für die Endlagerung geeignet sind.

## Konrad

1976 stillgelegte Eisenerzgrube in Salzgitter; vorgesehen zur Endlagerung radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung sowie für Großkomponenten aus kerntechnischen Anlagen. Am 31. August 1982 wurde der Antrag auf Einleitung des Planfeststellungsverfahrens für die Endlagerung gestellt und am 5. Juni 2002 die Genehmigung zur Einlagerung eines Abfallgebinderolumens von ca. 300.000 m<sup>3</sup> von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung erteilt. Da der Antrag auf Sofortvollzug der Genehmigung im Juli 2000 vom Antragsteller, dem Bundesamt für Strahlenschutz, zurückgezogen worden war, hatten Klagen gegen diese Genehmigung eine aufschiebende Wirkung. Das VG Lüneburg hat die Klagen gegen die Genehmigung des Endlagers Konrad zurückgewiesen und keine Revision dagegen zugelassen. Die Beschwerden dagegen wurden am 03.04.2007 vom Bundesverwaltungsgericht zurückgewiesen. Der Rechtsweg der Verwaltungsgerichtsbarkeit ist damit erschöpft. Ein rechtskräftiger und unanfechtbarer Planfeststellungsbeschluss zum Endlager Konrad liegt jetzt vor.

An die Abfallgebinder, die in das Endlager Konrad eingelagert werden sollen, werden Anforderungen gestellt, die in den →[Endlagerungsbedingungen](#) für die Schachanlage Konrad niedergelegt sind.

## Konservativität

Der Begriff „konservativ“ wird im Strahlenschutz im Sinne von „das Schutzziel erhalten“ oder „den Strahlenschutz sicherstellen“ verwendet. Eine Vorgehensweise ist konservativ, wenn sie, obwohl nicht an realistischen Randbedingungen orientiert, den erforderlichen Schutz auf jeden Fall sicherstellt. Man geht konservativ vor, wenn die realen Randbedingungen nicht bekannt sind oder wenn sie sich in nicht vorhersehbarer Weise ändern können. Beispiel: Die Kontamination an einer freizumessenden Oberfläche setzt sich aus Co-60 und Cs-137 zusammen, deren Anteile an der Gesamtkontamination jedoch in einem weiten Bereich schwanken können. Eine Kalibrierung des Großflächenzählrohres mit der Annahme 100 % Co-60 ist konservativ, weil das Großflächenzählrohr für Co-60 das geringere Ansprechvermögen hat und deshalb die ermittelte Aktivität auf keinen Fall unterschätzt wird.

## Konstanzprüfung von Röntgeneinrichtungen

Röntgeneinrichtungen für die Behandlung am Menschen müssen nach § 18 RöV in regelmäßigen Abständen, mindestens jedoch halbjährlich, einer Konstanzprüfung unterzogen werden. Dabei ist zu prüfen, ob die Dosisleistung im Nutzstrahlenbündel noch den Angaben der letzten Aufzeichnungen entspricht. Die Prüfung muss ohne mechanische oder elektrische Eingriffe in die Röntgeneinrichtung möglich sein.

## Konsumgüter

Im Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung sind Konsumgüter definiert als für den Endverbraucher bestimmte Bedarfsgegenstände im Sinne des Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuches sowie Güter und Gegenstände des täglichen Gebrauchs zur Verwendung im häuslichen und beruflichen Bereich. Ausgenommen sind Baustoffe und bauartzugelassene Vorrichtungen, in die sonstige radioaktive Stoffe nach § 2 Abs.1 AtG eingefügt sind.

Der Schutz vor radioaktiven Stoffen, die Konsumgütern zugesetzt werden, ist in den §§ 105 – 110 StrlSchV geregelt.

## Kontamination

Verunreinigung von Arbeitsflächen, Geräten, Räumen, Wasser, Luft usw. durch radioaktive Stoffe. Im täglichen Strahlenschutzvokabular wird Kontamination oft verkürzt für Oberflächenkontamination verwendet. Die StrlSchV unterscheidet zwischen fest haftender und nicht festhaftender Oberflächenkontamination, bei der eine Weiterverbreitung der radioaktiven Stoffe möglich ist.

Die Beseitigung einer Kontamination wird als →[Dekontamination](#) bezeichnet.

## Kontamination, kleinste nachweisbare

Für Kontaminationsmessgeräte wurde von der SSK der Begriff der kleinsten nachweisbaren Kontamination  $k_{\min}$  eingeführt, die bei Messungen nach § 44 StrlSchV unterhalb der Werte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 4 StrlSchV liegen muss. Sie entspricht sinngemäß der Nachweisgrenze nach DIN 25482 Teil 10 (→[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)).

Zur Definition der kleinsten nachweisbaren Kontamination wird eine Wahrscheinlichkeit für die Fehler 1. und 2. Art von jeweils 5 % angenommen. Die folgenden Angaben gelten für statische Messungen.

Für Kontaminationsmessgeräte mit Impulszähler ergibt sich:

$$k_{\min} = \frac{3,3}{S} \cdot \sqrt{\frac{2N_0}{t^2}}$$

S = Oberflächenansprechvermögen in  $\frac{1}{s \text{ Bq cm}^2}$

$N_0$  = Mittelwert der Anzahl der Impulse des Nulleffekts während der Messzeit t

t = Messzeit im Routinebetrieb in s

Der Nulleffekt muss in einer Messzeit  $t_0$  bestimmt werden, die groß gegen die Messzeit t ist ( $t_0 \geq 10 t$ )

Für Kontaminationsmessgeräte mit Ratemetern ergibt sich:

$$k_{\min} = \frac{3,3}{S} \cdot \sqrt{\frac{n_0}{\tau}}$$

S = Oberflächenansprechvermögen in  $\frac{1}{s \text{ Bq cm}^2}$

$n_0$  = Zählrate des Nulleffekts in 1/s

$\tau$  = Zeitkonstante des Ratemeters in s für den Routinebetrieb im Anzeigebereich des Nulleffekts

Das Ablesen des Wertes darf frühestens nach einer Zeit erfolgen, die dem Dreifachen der Zeitkonstanten entspricht. Literatur: SSK02, DIN25482-10

## Kontaminationsmessung an Personen

An Personen, die Kontrollbereiche verlassen, in denen offene radioaktive Stoffe vorhanden sind, ist nach § 44 Abs.1 StrlSchV zu prüfen, ob diese kontaminiert sind. Wenn in anderen Strahlenschutzbereichen offene radioaktive Stoffe vorhanden sind und Personen dadurch kontaminiert werden können, ist eine entsprechende Kontrolle auch ohne explizite Verpflichtung durch die Strahlenschutzverordnung gute Strahlenschutzpraxis. Die Alarmschwellen der Kontaminationsmessgeräte sind dabei so niedrig wie möglich einzustellen. Andererseits sollen Fehlalarme, die durch die statistische Schwankung des Nulleffekts verursacht werden, möglichst vermieden werden, weil dadurch beim ausgemessenen Personal das Vertrauen in die Messeinrichtung herabgesetzt wird. Die SSK empfiehlt dazu, die Alarmschwellen so einzustellen, dass Fehlalarme höchstens in 5 % der Fälle auftreten. Dies ist der Fall, wenn die Alarmschwelle als Summe aus dem Nulleffekt und den 1,65-fachen der Standardabweichung des Nulleffekts festgelegt wird. Dann ergeben sich für die Alarmschwellen folgende Werte:

Messung der Impulszahl: Alarmschwelle =  $N_0 + 1,65 \sqrt{N_0}$

Messung der Impulsrate: Alarmschwelle =  $R_0 + 1,65 \sqrt{\frac{R_0}{2\tau}}$

$N_0$  = Impulszahl des Nulleffekts in der Messzeit

$R_0$  = Nulleffektzählrate in 1/s

$\tau$  = Zeitkonstante des Messgeräts in s

Literatur: SSK02, VOG04

## Kontaminationsverschleppung

In der Regel ungewollte Ausbreitung von Kontamination in nicht dafür vorgesehene Bereiche; eine Kontaminationsverschleppung kann durch Komponentenversagen in aktivitätsführenden Systemen verursacht werden oder durch menschliches Fehlverhalten. Die Wahrscheinlichkeit für das Versagen einer Komponente wird durch eine geeignete Auslegung der Komponente und ggf. durch redundante und/oder diversitäre Schutzeinrichtungen auf akzeptablem Niveau gehalten. Zum menschlichen Verhalten gibt es einige grundsätzliche Regeln, die zu beachten sind:

- In kontaminierten Bereichen ist geeignete Schutzkleidung zu tragen.
- Kontaminationsschutzzonen und an deren Grenzen vorgeschriebene Kleiderwechsel (oder die Verwendung von Zusatzkleidung) sind zu beachten.
- Beim Verlassen von Kontaminationszonen ist die Schutzkleidung zu wechseln (mindestens Überschuhe und Handschuhe).
- Beim Wechsel der Schutzkleidung ist ein Kontaminationsübertrag auf die saubere Kleidung zu vermeiden
- Schutzkleidung ist von ziviler Privatkleidung zu trennen.
- Kontaminierte Schutzkleidung ist in den dafür vorgesehenen Behältnissen abzuliegen

- Einrichtungen, die ohne Schutzhandschuhe angefasst werden, dürfen nicht auch mit Schutzhandschuhen benutzt werden (z.B. Telefone).
- Die Freisetzung kontaminierter oder potentiell kontaminierter Medien (z.B. bei Leckagen) ist dem Strahlenschutzpersonal zu melden.
- Festgestellte Kontaminationen sind möglichst unverzüglich zu beseitigen (sofern nicht andere Schutzziele dagegen sprechen).

## Kontaminationsspitze

Als Kontaminationsspitze wird nach DIN 6814-5 (→[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)) eine Kontamination bezeichnet, die in einem kleinen Teilbereich einer kontaminierten Fläche mehr als 10mal höher liegt als die mittlere Kontamination auf der ganzen Fläche. Kleinflächige, hohe Aktivitätsansammlungen werden im praktischen Strahlenschutz auch als „hot spot“ bezeichnet, ohne dass dazu notwendigerweise eine quantitative Definition vorhanden ist. Abweichend von der Definition der DIN 6814-5 werden in der Praxis auch andere Überhöhungsfaktoren zur Quantifizierung eines „hot spot“ herangezogen.

## Kontrollbereich

Der Kontrollbereich ist ein Strahlenschutzbereich. Er ist einzurichten, wenn in ihm Personen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 6 Millisievert oder höhere Organdosen als 45 Millisievert für die Augenlinse oder 150 Millisievert für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel erhalten können. Dabei sind die äußere und die innere Strahlenexposition zu berücksichtigen. Maßgebend bei der Festlegung der Grenze des Kontrollbereichs ist eine Aufenthaltszeit von 40 Stunden je Woche und 50 Wochen im Kalenderjahr, soweit keine anderen begründeten Angaben über die Aufenthaltszeit vorliegen. Kontrollbereiche sind abzugrenzen und zu kennzeichnen. Der Zutritt ist nur unter Beachtung besonderer Strahlenschutzvorschriften zulässig. Die gesetzlichen Anforderungen an Kontrollbereiche sind in § 35 StrlSchV enthalten.

## Konversion

- a) Strahlungslose Übertragung der Anregungsenergie eines Atomkerns auf ein Hüllenelektron, auch innere Konversion genannt, infolge dessen das Elektron freigesetzt wird. →[Konversionselektron](#)
- b) In der Reaktortechnik die Umwandlung eines Stoffes in eine spaltbare Substanz, z.B.  $U-238 \rightarrow Pu-239$  oder  $Th-232 \rightarrow U-233$ . →[Brutstoff](#)

## Konversionselektron

Elektron, das aus der Atomhülle losgelöst wurde, indem die Anregungsenergie eines Kerns auf dieses Elektron übertragen wurde (→[inneren Konversion](#)); die kinetische Energie des Konversionselektrons ist gleich der Anregungsenergie des Kerns, vermindert um die Bindungsenergie des Elektrons.

## Konversionsfaktor

Der Konversionsfaktor ist der Proportionalitätsfaktor zwischen einer Dosisleistung und der Teilchenflussdichte  $\varphi$ .

$$\text{Beispiel: } \dot{H} = k \cdot \varphi$$

Konversionsfaktoren können auf der Basis unterschiedlicher Dosisgrößen definiert werden, z.B. für die Umgebungsäquivalentdosisleistung  $H^*(10)$ , die Richtungsäquivalentdosisleistung  $H'(0,07)$  oder die effektive Dosis  $E$ .  $k$  ist abhängig von der Teilchenart und der Teilchenenergie. (ICRP74)

## Konversionskoeffizient

Der Konversionskoeffizient (oder Konversionszahl)  $\alpha$  ist der Quotient aus der Wahrscheinlichkeit  $w_e$  für die Emission eines [→Konversionselektrons](#) und der Wahrscheinlichkeit  $w_\gamma = 1 - w_e$  für die Emission eines Gammaquants, jeweils für den gleichen Übergang zwischen zwei Energiezuständen (Def. DIN 6814-4, [→DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)).

$$\alpha = \frac{w_e}{w_\gamma} = \frac{w_e}{1 - w_e}$$

Konversionskoeffizienten, die sich nur auf die Wechselwirkung mit den Elektronen einer Elektronenschale (K, L, M, ...) beziehen, werden partielle Konversionskoeffizienten  $\alpha_K, \alpha_L, \alpha_M \dots$  genannt. Die Summe der partiellen Konversionskoeffizienten ist der totale Konversionskoeffizient (oder kurz Konversionskoeffizient).

## Konverterreaktor

Kernreaktor, der spaltbares Material erzeugt, jedoch weniger als er verbraucht; der Begriff wird auch auf einen Reaktor angewandt, der ein spaltbares Material erzeugt, das sich von dem verbrannten Brennstoff unterscheidet. In beiden Bedeutungen heißt der Vorgang Konversion. Siehe auch [→Brutreaktor](#).

## Körperaktivitätsmessung

Verfahren der Inkorporationsüberwachung; die Messung beruht auf der Detektion der Gammastrahlung, die von den inkorporierten Radionukliden emittiert wird.

## Körperbelastung

Die Körperbelastung ist die Aktivität eines bestimmten Radionuklides in einem menschlichen oder tierischen Körper.

## Körperdosis

Körperdosis ist der Sammelbegriff für effektive [→Dosis](#) und [→Organdosis](#). Die Körperdosis für einen Bezugszeitraum (z.B. Kalenderjahr, Monat) ist die Summe aus der durch äußere Strahlenexposition während dieses Zeitraums erhaltenen Körperdosis und der [→Folgedosis](#), die durch Aktivitätszufuhr während dieses Zeitraums bedingt ist.



## Körperschutzmittel

Schutzkleidung und Schutzeinrichtungen zur Verhinderung von Personenkontaminationen und von Inkorporationen radioaktiver Stoffe; Körperschutzmittel sind z.B. Schutzanzüge, Atemschutzmasken, Handschuhe, Überschuhe etc. →[Schutzkleidung](#)

## Korpuskularstrahlung

Teilchenstrahlung aus →[Korpuskeln](#)

## Korpuskel

Als Korpuskel wird ein Teilchen mit einer von Null verschiedenen Ruheenergie bezeichnet. Dies dient zur Abgrenzung gegenüber dem Begriff „Teilchen“, der in der Regel allgemein verwendet wird und z.B. auch Photonen einschließt.

## Kosmische Strahlung

Strahlung, die direkt oder indirekt aus Quellen außerhalb der Erde herrührt; die kosmische Strahlung ist Teil des natürlichen Strahlungsuntergrundes. Entsprechend ihrer Herkunft unterscheidet man bei der primären kosmischen Strahlung einen galaktischen Teil (Hintergrundstrahlung aus dem Milchstraßensystem) und einen solaren Teil (direkt von der Sonne kommend) der kosmischen Strahlung, wobei der galaktische Anteil überwiegt. Die primäre kosmische Strahlung besteht im Wesentlichen aus hochenergetischen Protonen (86%) und Heliumkernen (12%). Schwere Kerne und Elektronen sind mit etwa je 1% von untergeordneter Bedeutung. Durch Wechselwirkung mit den Atomen der oberen Atmosphärenschichten entstehen energiereiche Nukleonen, Elektronen und andere Elementarteilchen, die insgesamt die sekundäre kosmische Strahlung ausmachen. Beim Durchgang durch die Atmosphäre finden weitere Wechselwirkungen statt, welche die Zusammensetzung der Strahlung verändern und ihre Intensität schwächen. In Meereshöhe dominieren Myonen, Elektronen und Neutronen. Die mittlere Ortsdosisleistung in Meereshöhe beträgt in Europa ca. 32 nSv/h, die zu etwa 50% von Myonen und zu jeweils ca. 25% von Neutronen und Elektronen/Positronen erzeugt wird.

Die Ortsdosisleistung steigt mit der Höhe und verdoppelt sich etwa alle 1500 m. Sie ist zudem wegen des Einflusses des Erdmagnetfeldes von der geographischen Breite abhängig. So beträgt z.B. die Ortsdosisleistung in 12.000 m Höhe (Flughöhe bei Langstreckenflügen) in Polnähe etwa 8  $\mu$ Sv/h und am Äquator nur ca. 2  $\mu$ Sv/h. Die Ortsdosisleistung an einem bestimmten Ort hängt zudem von der Sonnenaktivität ab. Bei hoher Sonnenaktivität ist sie niedriger, weil die mit hoher Sonnenaktivität verknüpften elektromagnetischen Felder die dominierende galaktische Strahlungskomponente abschirmen.

Die durch die kosmische Strahlung hervorgerufene jährliche Dosis beträgt in Meereshöhe 0,3 mSv/Jahr, in 3.000 m Höhe etwa 1,2 mSv/Jahr. Bei Flugreisen bewirkt die kosmische Strahlung eine zusätzliche Dosis, z.B. auf einem Flug Frankfurt - New York - Frankfurt etwa 0,1 mSv. →[Strahlenexposition, natürliche](#) (Lit.: SSK03)

## Kostenverordnung

Die Kostenverordnung zum Atomgesetz (AtKostV) vom 17. Dezember 1981, zuletzt geändert durch die Verordnung zur Umsetzung von Euratom-Richtlinien vom 20. Juli 2001, regelt die Erhebung von Gebühren und Auslagen durch die nach §§ 23 und 24 des Atomgesetzes zuständigen Behörden für deren Entscheidungen über Anträge nach dem Atomgesetz und die Maßnahmen der staatlichen Aufsicht.

## Kreisbeschleuniger

In Kreisbeschleunigern werden geladenen Teilchen auf Kreisbahnen beschleunigt, die wiederholt durchlaufen werden können. Dadurch werden bei kompakter Bauweise längere Beschleunigungsstrecken erreicht als bei Linearbeschleunigern.

Das Prinzip des Kreisbeschleunigers schlug Ernest Orlando Lawrence erstmals 1930 vor. Ende 1930 baute er das erste →[Zyklotron](#). Es beschleunigte Protonen auf eine Energie von 80 keV, sein Durchmesser betrug ca. 9 cm.

## Kritikalität

Der Zustand eines Kernreaktors, in dem eine sich selbst erhaltende Kettenreaktion abläuft.

### Kritikalität, prompte

Der Zustand eines Reaktors, in dem die Kettenreaktion allein durch prompte Neutronen aufrechterhalten wird, d.h. ohne Hilfe verzögerter Neutronen. →[Neutronen, prompte](#); →[Neutronen, verzögerte](#)

## Kritikalitätssicherheit

Sicherheit gegen unzulässiges Entstehen kritischer oder überkritischer Anordnungen oder Zustände.

## Kritikalitätssicherheitskennzahl (CSI)

Kenngroße im Zusammenhang mit der Beförderung spaltbarer Stoffe, welche die Beurteilung der Kritikalitätssicherheit des Transportes erlaubt; sie ergibt sich aus der Anzahl und der Anordnung der Versandstücke mit spaltbaren Stoffen. Die Vorgaben zur Ermittlung der Kritikalitätskennzahl sind im ADR, Randnummern 2.2.7.6.2, 6.4.11.11 und 6.4.11.12, enthalten. Lit.: ADR

## Kritikalitätsstörfall

Störfall als Folge des ungewollten Entstehens einer kritischen Anordnung spaltstoffhaltiger Bauteile. Ein Kritikalitätsstörfall hat im betroffenen Anlagenbereich kurzfristig eine hohe Neutronenstrahlung sowie eine Energiefreisetzung aus den Kernspaltungen zur Folge. Ein Beispiel für einen Kritikalitätsstörfall ist das Ereignis in der japanischen Uran-Konversionsanlage Tokai Mura. Dort wurde am 30.9.1999 fehlerhaft höher angereichertes Uran (18,8 % U-235) in zu großer Masse in einen Behälter gefüllt, so dass im Behälter eine kritische Masse entstand und es zu einer unkontrollierten Kettenreaktion kam, in deren Folge mehrere Arbeitskräfte hoch exponiert wurden.

## **kritisch**

Ein Reaktor ist kritisch, wenn ebenso viele Neutronen erzeugt werden wie durch Absorption im Brennstoff und Strukturmaterial und Entweichen verloren gehen. Der kritische Zustand ist der normale Betriebszustand eines Reaktors.

## **Kritische Energie**

Energie  $E_k$ , oberhalb der der Energieverlust von Elektronen in Materie hauptsächlich über stoßartige Erzeugung von Bremsstrahlungsphotonen erfolgt; die Bremsstrahlungsphotonen erzeugen wiederum sekundäre Elektronen etc. Dadurch entstehen Teilchenkaskaden, solange die Energie der Einzelteilchen oberhalb der kritischen Energie bleibt. Dies führt zu einer starken Erhöhung der Teilchenflussdichte, die bei der Auslegung von Abschirmungen berücksichtigt werden muss. Bei einem Material der Ordnungszahl  $Z$  gilt näherungsweise  $E_k = 800/Z$  MeV.

## **kritische Masse**

Kleinste Spaltstoffmasse, die unter festgelegten Bedingungen (Art des Spaltstoffs, Geometrie, moderiertes/unmoderiertes System etc.) eine sich selbst erhaltende Kettenreaktion in Gang setzt. Die Tabelle enthält für einige Nuklide die minimale kritische Masse für bestimmte Bedingungen.

Isotop	kleinste kritische Masse in Kugelform für wässrige Lösung bei optimaler Moderation		kleinste kritische Masse in Kugelform für Metall (schnelle unmoderierte Systeme)	
	unreflektiert (kg)	wasser-reflektiert (kg)	unreflektiert (kg)	wasser-reflektiert (kg)
U-233	1,08	0,568	15,8	6,1
U-235	1,42	0,784	46,7	16,8
Np-237	-	-	63,6	38,6
Pu-238	-	-	9,5	4,7
Pu-239	0,877	0,494	10,0	4,5
Pu-240	-	-	35,7	19,8
Pu-241	0,511	0,246	12,3	5,1
Am-241	-	-	57,6	33,8
Am-242	0,042	0,02	8,8	3,1
Cm-243	0,28	0,127	8,4	13,2
Cm-244	-	-	26,6	13,2
Cm-245	0,116	0,054	9,1	3,5
Cm-247	4,06	2,18	6,9	2,8
Cf-249	0,129	0,06	5,9	2,4
Cf-251	0,048	0,025	5,5	2,3

Kleinste kritische Massen für einige Spaltstoffe unter bestimmten Randbedingungen

Quelle: W.Koelzer, Lexikon zur Kernenergie  
[http://iwrwww1.fzk.de/kernenergielexikon/Lexikon\\_zur\\_Kernenergie\\_2008-11-2.pdf](http://iwrwww1.fzk.de/kernenergielexikon/Lexikon_zur_Kernenergie_2008-11-2.pdf)

## Kryostat

Kühleinrichtung; im Strahlenschutz zur Kühlung von Detektoren in der Spektrometrie eingesetzt. Zur Kühlung von Halbleiterdetektoren bei der Photonenspektrometrie besteht der Kryostat z.B. aus einem Becher mit angeschlossenem Rohr. Becher und Rohr sind zur Isolierung evakuiert. Im Becher sind der Detektor und der Vorverstärker angeordnet. Im Rohr befindet sich ein Kühlfinger (z.B. aus Kupfer), der am unteren Ende aus dem Rohr herausragt und in flüssigen Stickstoff eintaucht. Am oberen Ende hat der Kühlfinger Kontakt zum Detektor und zum Vorverstärker. Die so erfolgende Kühlung des Detektor-Vorverstärker-Systems dient zur Verringerung des Rauschens und somit zur Verbesserung des Energie-Auflösungsvermögens (→[Spektrometrie](#)).

## KTA

Abk. für →[Kerntechnischer Ausschuss](#)

## **KTA-Regeln zum Strahlenschutz**

Der Kerntechnische Ausschuss hat Anforderungen zum Strahlenschutz in kerntechnischen Anlagen in KTA-Regeln zusammengestellt. Die folgenden berühren direkt Maßnahmen zum Strahlenschutz:

### ***Organisation***

KTA 1201 Anforderungen an das Betriebshandbuch

### ***Radiologischer Arbeitsschutz***

KTA 1301 Berücksichtigung des Strahlenschutzes der Arbeitskräfte bei Auslegung und Betrieb von Kernkraftwerken

### ***Überwachung***

KTA 1501 Ortsfestes System zur Überwachung von Ortsdosisleistungen innerhalb von Kernkraftwerken

KTA 1502 Überwachung der Radioaktivität in der Raumluft von Kernkraftwerken

KTA 1503 Überwachung der Ableitung gasförmiger und aerosolgebundener radioaktiver Stoffe

KTA 1504 Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser

KTA 1505 Nachweis der Eignung von Strahlungsmessgeräten

KTA 1507 Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe bei Forschungsreaktoren

KTA 1508 Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre

### ***Umgang mit radioaktiven Stoffen***

KTA 3602 Lagerung und Handhabung von Brennelementen und zugehörigen Einrichtungen in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren

KTA 3603 Anlagen zur Behandlung von radioaktiv kontaminiertem Wasser in Kernkraftwerken

KTA 3604 Lagerung, Handhabung und innerbetrieblicher Transport radioaktiver Stoffe (mit Ausnahme von Brennelementen) in Kernkraftwerken

KTA 3605 Behandlung radioaktiv kontaminierter Gase in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren

## **KTG**

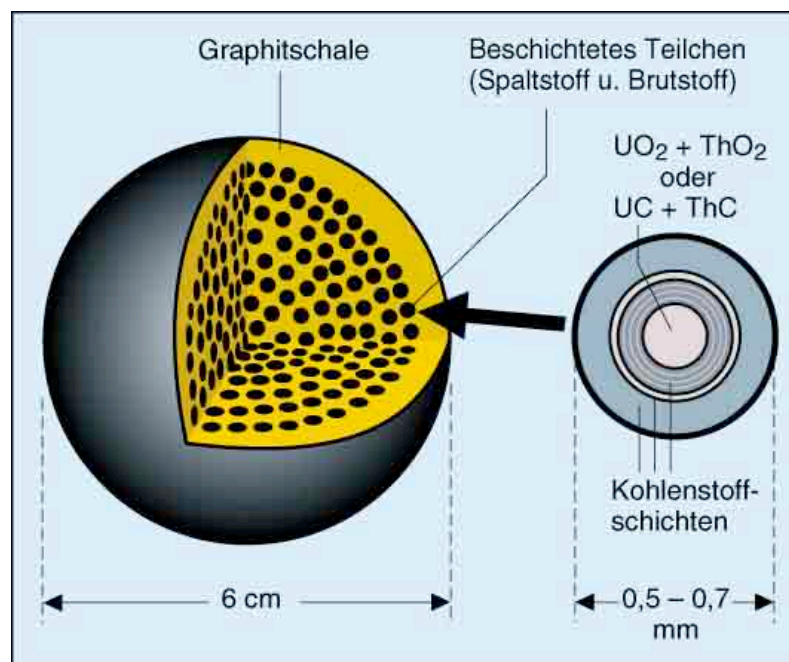
Abk. für **Kerntechnische Gesellschaft**, Robert-Koch-Platz 4, 10115 Berlin; die Kerntechnische Gesellschaft e. V. ist ein gemeinnütziger Zusammenschluss von Wissenschaftlern, Ingenieuren, Technikern, Wirtschaftlern und anderen Personen mit dem Ziel, den Fortschritt von Wissenschaft und Technik auf dem Gebiet der friedlichen Nutzung der Kernenergie und verwandter Disziplinen zu fördern.

## Künstliche radioaktive Stoffe

Radioaktive Stoffe, deren Radioaktivität durch menschlichen Einfluss erzeugt wurde  
→ [Radioaktivität, künstliche](#)

## Kugelhaufenreaktor

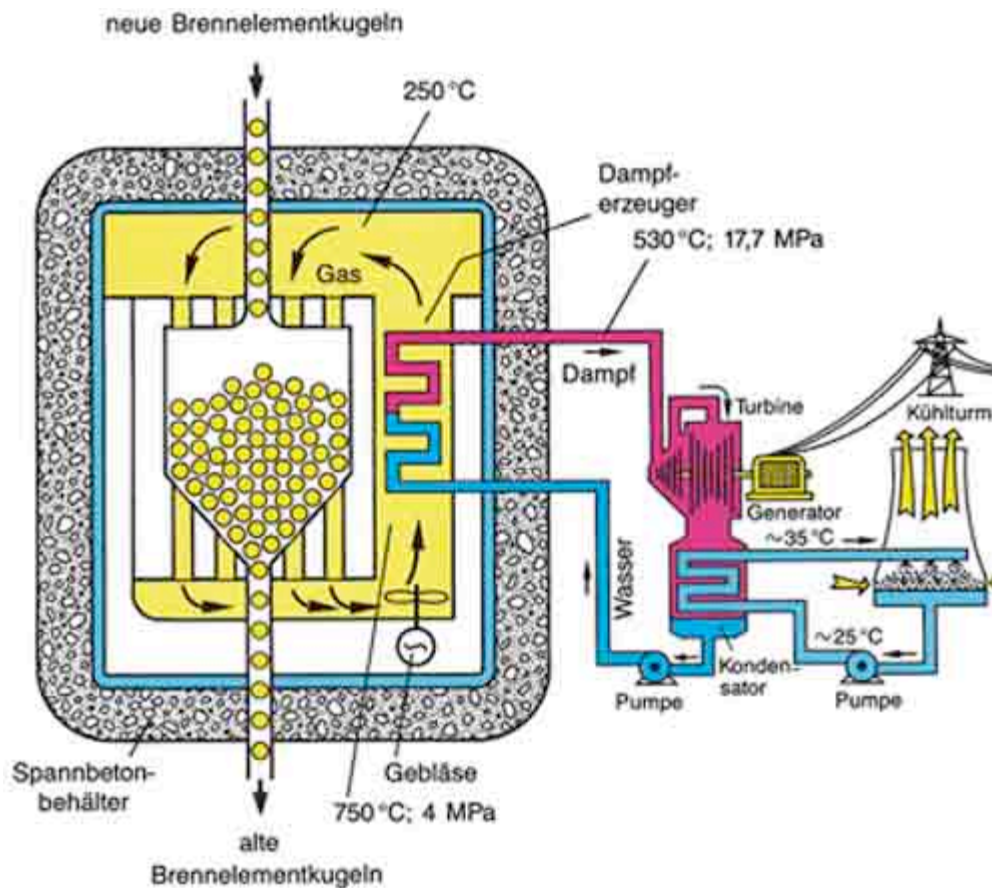
Gasgekühlter Hochtemperaturreaktor, dessen Spaltzone aus einer Kugelschüttung von Brennstoff- und Moderator-(Graphit-)Kugeln besteht. Die stillgelegten Kernkraftwerke AVR in Jülich und THTR-300 in Hamm-Uentrop hatten einen Kugelhaufenreaktor. Der THTR-300 enthielt etwa 600.000 Brennstoff- und Moderatorkugeln. Die Brennstoffkugeln bestehen aus einem Kern aus U-235 und Thorium, der von einer Graphitkugel mit 6 cm Durchmesser umgeben ist.



Schematische Darstellung der Brennstoffkugel des Kugelhaufenreaktors

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie

[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)



Kernkraftwerk mit Kugelhaufenreaktor

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie

[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Kühlmittel

Stoff, der der Wärmeableitung dient; übliche Kühlmittel in einem Kernreaktor sind leichtes und →schweres Wasser, Kohlendioxid, Helium und flüssiges Natrium. Kühlmittel für Detektoren ist häufig flüssiger Stickstoff.

## Kupferschiefer

Der Kupferschiefer aus dem Mansfelder Raum enthält in erheblichem Umfang natürliche radioaktive Stoffe, die sich bei der Verhüttung in der Schlacke anreichern. Bei der Weiterverarbeitung der Schlacke, die früher zu Pflastersteinen oder auch zum Hausbau verwendet wurde, traten Strahlenexpositionen von zum Teil über 1 mSv im Jahr auf. Für den Aufenthalt in Häusern aus Schlackesteinen wurden unter der Annahme realistischer Aufenthaltszeiten effektive Dosen von maximal 3,2 mSv abgeschätzt. (SSK97)

## Kurzlebige Radionuklide

Die Strahlenschutzverordnung definiert als kurzlebige Radionuklide radioaktive Stoffe mit einer Halbwertszeit bis zu 100 Tagen.



## **Kurzzeitausbreitung**

Begriff für die Ermittlung der Strahlenexposition durch kurzzeitige Emission; die Umgebungsbelastung durch kurzzeitige Schadstofffreisetzung von bis zu etwa einer Stunde Dauer, während der sich die meteorologischen Einflussgrößen wie Windgeschwindigkeit und -richtung sowie die Diffusionskategorie nicht ändern, lässt sich durch den Kurzzeitausbreitungsfaktor bei der Ausbreitungsrechnung berücksichtigen.

## **Kyschtym-Unfall**

Kerntechnischer Unfall mit Freisetzung großer Mengen radioaktiver Stoffe; in der Anlage Majak nahe der Stadt Kyschtym in der russischen Provinz Tscheljabinsk wurden hochradioaktive flüssige Rückstände aus der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Kernbrennstoffen in Tanks gelagert. Die Wärme entwickelnden Lösungen mussten gekühlt werden. Nach Ausfall der Kühlung bei einem Tank begannen die Rückstände zu trocknen. Ein Funke in einem elektrischen Gerät löste am 29.9.1957 eine chemische Explosion der auskristallisierten Nitratsalze aus, bei der nach den Angaben der Betreiberfirma insgesamt eine Aktivität von  $4 \cdot 10^{17}$  Bq freigesetzt wurde (u.a. Sr-90, Cs-137 und Pu-239). Der größte Teil verblieb zwar auf dem Betriebsgelände, aber etwa 10 % wurde über ein großes Gebiet (ca. 20.000 km<sup>2</sup>) verteilt und mit dem Wind bis zu 400 km nach Nordosten getragen.

Wegen der hohen Kontaminationen des Gebiets und vor allem der Nahrung wurden in der Folge mehr als 10.000 Personen umgesiedelt.

# L

## **Landessammelstelle**

Einrichtungen der Bundesländer für die Sammlung und Zwischenlagerung der in ihrem Gebiet angefallenen radioaktiven Abfälle, soweit diese nicht aus einer genehmigungspflichtigen Tätigkeit nach dem AtG stammen. Inhaber einer Umgangsgenehmigung nach § 7 StrlSchV sowie Betreiber einer genehmigungspflichtigen Einrichtung zur Erzeugung ionisierender Strahlen sind nach § 76 StrlSchV verpflichtet, ihre radioaktiven Abfälle an eine Landessammelstelle abzuliefern. Ausnahmen von der Ablieferungspflicht sind über die Freigabe nach § 29 StrlSchV möglich. Landessammelstellen sind z.B. im Forschungszentrum Jülich (Nordrhein-Westfalen), im ZLN in Greifswald (Mecklenburg-Vorpommern) und in Mitterteich (Bayern) eingerichtet.

## **Langlebige Radionuklide**

Die Strahlenschutzverordnung definiert als langlebige Radionuklide radioaktive Stoffe mit einer Halbwertszeit von mehr als 100 Tagen. Für Sicherheitsbetrachtungen bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle zählen Radionuklide mit Halbwertszeiten von mehr als 30 Jahren als langlebig.

## **Langzeitausbreitungsfaktor**

Rechenfaktor der Ausbreitungsrechnung bei der Emission von Schadstoffen in die Atmosphäre, der die horizontale und vertikale Ausdehnung der Schadstoffwolke sowie die effektive Quellhöhe (Kaminhöhe und thermische Überhöhung) berücksichtigt. Der Langzeitausbreitungsfaktor wird durch den Kurzzeitausbreitungsfaktor in der Ausbreitungsrechnung ersetzt, wenn die Emission nicht länger als eine Stunde dauert.

## **Latenzzeit**

Zeitspanne zwischen Strahlenexposition und Auftreten des dadurch bedingten Schadens; die mittlere Latenzzeit für strahleninduzierte Leukämie beträgt etwa 8 Jahre und 15 – 25 Jahre für andere Krebsarten. Die minimale Latenzzeit für Leukämie liegt bei 2 Jahren und für andere Krebsarten bei 5 – 10 Jahren.

## **Laufendes Gleichgewicht**

→[Gleichgewicht, radioaktives](#)

## **LAVA**

Anlage zur Lagerung der hochaktiven flüssigen radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung in der →[Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe](#).

## LAW

Abk. für **Low active waste**; schwach aktiver Abfall; üblicherweise mit einer Aktivitätskonzentration von weniger als  $10^{10}$  Bq/m<sup>3</sup>.

## LD50

→[Letaldosis](#)

## Lebensdauer, mittlere

Auch kurz Lebensdauer  $\tau$  genannte Zeit, in der die Anzahl der Kerne eines Radionuklids auf  $1/e$  ( $e = 2,718...$ , Basis der natürlichen Logarithmen) abnimmt; die Lebensdauer ist gleich dem Reziprokwert der →[Zerfallskonstanten](#)  $\lambda$ . Zwischen der Lebensdauer und der →[Halbwertszeit](#)  $T$  besteht die Beziehung:

$$\tau = 1 / \lambda \quad \lambda = \ln 2 / T = 0,69 / T \quad \tau = T / \ln 2 = T / 0,69$$

## Lebensmittelbestrahlungsverordnung - LMBestV

Verordnung über die Behandlung von Lebensmitteln mit Elektronen-, Gamma- und Röntgenstrahlen, Neutronen oder ultravioletten Strahlen; veröffentlicht im BGBl. I Nr. 25 vom 17.6.2006, S. 860; zuletzt geändert 2005 (BGBl. I Nr. 39 vom 30. 6. 2005, S. 1818ff)

Die Verordnung regelt, welche Lebensmittel unter welchen Randbedingungen bestrahlt werden dürfen. außerdem enthält sie Vorgaben zum In-Verkehr-bringen von bestrahlten Lebensmitteln aus Drittländern, zur Kenntlichmachung, zu Aufzeichnungspflichten und zu Analysenmethoden.

## Leichtwasserreaktor

Sammelbezeichnung für alle H<sub>2</sub>O-moderierten und -gekühlten Reaktoren; →[Siedewasserreaktor](#), →[Druckwasserreaktor](#) (H<sub>2</sub>O = "leichtes" Wasser, im Gegensatz zu D<sub>2</sub>O = "schweres" Wasser). Im Leichtwasserreaktor wird Wärme durch die kontrollierte Kernspaltung erzeugt. Der aus Brenn- und Steuerelementen bestehende Reaktorkern ist von einem wassergefüllten stählernen Druckbehälter umschlossen. Die bei der Spaltung entstehende Wärme geht an das Wasser über. Im Siedewasserreaktor verdampft das Wasser im Druckbehälter, während es beim Druckwasserreaktor im Dampferzeuger eines zweiten Kreislaufes verdampft. Die Energie des Dampfes wird in Drehbewegungen der Turbine umgewandelt, an die ein Generator zur Erzeugung der elektrischen Energie gekoppelt ist. Nach Durchströmen der Turbine kondensiert der Dampf im Kondensator zu Wasser, das wieder dem Druckbehälter bzw. Dampferzeuger zugeführt wird. Das zur Kühlung des Kondensators nötige Wasser wird einem Fluss entnommen und erwärmt in den Fluss zurückgeleitet oder es gibt seine Wärme über einen Kühlturm an die Atmosphäre ab.

## Leistungsreaktor

Ein für die Verwendung in einem Kernkraftwerk geeigneter Kernreaktor, im Gegensatz zu Reaktoren, die hauptsächlich für die Forschung oder zur Erzeugung von Spaltstoffen dienen; Leistungsreaktoren haben thermische Leistungen bis zu 5.000

MW, das entspricht einer elektrischen Leistung von 1.500 MW.  
→[Siedewasserreaktor](#), →[Druckwasserreaktor](#)

## Leitnuklid

Für Abschirmungsrechnungen, Ausbreitungsrechnungen, zur Ermittlung von Ortsdosisleistungen, bei Messungen der Körperaktivität oder zur Bewertung der Freigabefähigkeit von Stoffen genügt es oft, nur einige wenige spezielle Radionuklide, die Leitnuklide, zu berücksichtigen. Die Leitnuklide verfügen über chemische Ähnlichkeit und/oder so hohe spezifische Zerfallsenergie, dass sie schwächer strahlende Radionuklide in ihrer Wirkung überdecken, so dass deren rechnerische Vernachlässigung keine Fehler bei Strahlenschutzrechnungen hervorruft. Leitnuklide werden auch genutzt, um bei bekannter Vorgeschichte des Materials, in dem sich das oder die Leitnuklide befinden, die Menge an anderen Nukliden zu berechnen.

## Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS

Einrichtung im Bundesamt für Strahlenschutz mit folgenden Aufgaben:

- Qualitätssicherung sowie Vereinheitlichung der Mess-, Analyse- und Dosisberechnungsverfahren
- Initiierung von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten
- Beratung und Berichterstattung zur Inkorporationsüberwachung

## LMBestV

Abk. für →[Lebensmittelbestrahlungsverordnung](#)

## Lepton

"Leichtes" →[Elementarteilchen](#); zu den Leptonen gehören die Elementarteilchen, die nur der schwachen und der elektromagnetischen Wechselwirkung unterliegen: die Neutrinos, das Elektron, das Myon und das  $\tau$ -Teilchen.

## LET

Abk. für linear energy transfer (linearer Energietransfer, →[lineares Energieübertragungsvermögen](#))

## Letaldosis

Dosis ionisierender Strahlung, die zum Tod des bestrahlten Individuums infolge akuter Strahlenschäden führt; die mittlere Letaldosis ( $LD_{50}$ ) ist die Dosis, bei der die Hälfte der Individuen, die ähnlich bestrahlt wurden, stirbt. Mit  $LD_1$  wird die Dosis bezeichnet, die zu einer Mortalität von einem Prozent der bestrahlten Personen führt; entsprechend führt die  $LD_{99}$  bei praktisch allen (99%) Bestrahlten zum Tod. Unter Berücksichtigung einer erhöhten Strahlenempfindlichkeit bestimmter Bevölkerungsgruppen einerseits und der Fortschritte der ärztlichen Versorgung andererseits ergibt sich beim Menschen bei einer weitgehend homogenen Bestrahlung des Ganzkörpers - von Bedeutung ist hier insbesondere die Knochenmarkdosis - eine  $LD_1$  von 2,5 Gy,  $LD_{50}$  von 5 Gy und  $LD_{99}$  von 8 Gy.

## Linac

Kurzform für →[Linearbeschleuniger](#) (linear accelerator).

## Linearbeschleuniger

Ein langes gerades Rohr, in dem geladene Teilchen durch elektrostatische Felder oder elektromagnetische Wellen beschleunigt werden und dadurch sehr hohe Energien erreichen; es gibt Gleichspannungsfeld-Beschleuniger und Wechselfeld-Beschleuniger (→[Beschleuniger](#)). Bei den Wechselfeld-Beschleunigern gibt es neben Linearbeschleunigern auch →[Ringbeschleuniger](#). Zu den Linearbeschleunigern gehören der →[Driftröhren-Beschleuniger](#), der →[Stehwellen-Beschleuniger](#), der →[Wanderwellen-Beschleuniger](#) und das →[Rhododron](#).

Ein Haupteinsatzgebiet der Linearbeschleuniger ist neben der Forschung die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung und die Materialanalyse. Hierfür werden Elektronen auf typische Energien von etwa 4 – 18 MeV beschleunigt. Die Beschleuniger fallen damit in den Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung. Für den Strahlenschutz sind insbesondere die Abschirmmaßnahmen von Bedeutung.

## Linearer Compton-Energieabsorptionskoeffizient

Der lineare Compton-Energieabsorptionskoeffizient  $\sigma_{\text{Cen}}$  gibt den Anteil des →[linearen Compton-Umwandlungskoeffizienten](#)  $\sigma_{\text{tr}}$  an, der nicht in Bremsstrahlung umgesetzt wird:  $\sigma_{\text{Cen}} = \sigma_{\text{tr}} (1 - g_{\sigma})$ .

Dabei ist  $g_{\sigma}$  der →[Bremsstrahlungs-Ausbeutefaktor](#) für die beim Streuprozess erzeugten Comptonelektronen. (s. DIN 6814-2, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Linearer Comptonstreuoeffizient

Der lineare Comptonstreuoeffizient  $\sigma_{\text{C}}$  eines Stoffes ist der Proportionalitätsfaktor, der die Zahl  $dN_{\sigma, \text{C}}$  der Photonen, die im Material auf der Wegstrecke  $ds$  eine Comptonstreuung erleiden, mit der auf das Material auffallenden Photonenzahl  $N_{\text{p}}$  verknüpft:

$$\frac{dN_{\sigma, \text{C}}}{ds} = \sigma_{\text{C}} N_{\text{p}} \quad \text{oder} \quad \sigma_{\text{C}} = \frac{1}{N_{\text{p}}} \cdot \frac{dN_{\sigma, \text{C}}}{ds}$$

## Linearer Compton-Umwandlungskoeffizient

Kenngröße für die Energieumwandlung von Photonenstrahlung in Materie in kinetische Energie von Comptonelektronen; der lineare Compton-Umwandlungskoeffizient  $\sigma_{\text{tr}}$  ist definiert als Produkt aus dem linearen Comptonstreuoeffizienten  $\sigma_{\text{C}}$  mit dem relativen Anteil der Photonenenergie  $E$ , der im Mittel durch Comptonstreuung in kinetische Energie der Comptonelektronen transferiert wird. Wenn  $E_{\text{ce}}/E$  dieser Anteil ist, dann ergibt sich für den linearen Compton-Umwandlungskoeffizienten

$$\sigma_{\text{tr}} = \sigma_{\text{C}} \cdot \frac{E_{\text{ce}}}{E}$$

## Linearer Energieabsorptionskoeffizient

Der lineare Energieabsorptionskoeffizient  $\mu_{\text{en}}$  gibt den Anteil des  $\rightarrow$ linearen Energieumwandlungskoeffizienten  $\mu_{\text{tr}}$  an, der nicht in Bremsstrahlung umgesetzt wird:  $\mu_{\text{en}} = \mu_{\text{tr}} (1-g)$ .

Dabei ist  $g$  der  $\rightarrow$ Bremsstrahlungs-Ausbeutefaktor.

## Linearer Energietransfer (LET)

$\rightarrow$ Lineares Energieübertragungsvermögen

## Linearer Energieumwandlungskoeffizient

Kenngroße für die Übertragung der Energie von Photonenstrahlung auf geladene Sekundärteilchen in Materie; der lineare Energieumwandlungskoeffizient  $\mu_{\text{tr}}$  eines Stoffes ist der Proportionalitätsfaktor, der den Energieübertrag  $dE_{\text{tr}}$ , der im Mittel im Material auf der Wegstrecke  $ds$  von den Photonen in kinetische Energie geladener Sekundärteilchen transferiert wird, mit der auf das Material auffallenden Photonenzahl  $N$  und der Photonenenergie  $E$  verknüpft:

$$\frac{dE_{\text{tr}}}{ds} = \mu_{\text{tr}} N E \quad \text{oder} \quad \mu_{\text{tr}} = \frac{1}{N E} \cdot \frac{dE_{\text{tr}}}{ds}$$

Der lineare Energieumwandlungskoeffizient  $\mu_{\text{tr}}$  ist gleich der Summe aus den Energieumwandlungskoeffizienten für den Photoeffekt ( $\rightarrow$ linearer Photo-Umwandlungskoeffizient  $\tau_{\text{tr}}$ ), den Compton-Effekt ( $\rightarrow$ linearer Compton-Umwandlungskoeffizient  $\sigma_{\text{tr}}$ ) und die Paarbildung ( $\rightarrow$ linearer Paar-Umwandlungskoeffizient  $\kappa_{\text{tr}}$ ):

$$\mu_{\text{tr}} = \tau_{\text{tr}} + \sigma_{\text{tr}} + \kappa_{\text{tr}}$$

Bei Photonenenergien oberhalb von etwa 10 MeV ist zusätzlich der Energieumwandlungskoeffizient für den  $\rightarrow$ Kernphotoeffekt zu berücksichtigen.

## Linearer Koeffizient für kohärente Streuung

Der lineare Koeffizient für kohärente Streuung  $\sigma_{\text{coh}}$  eines Stoffes ist der Proportionalitätsfaktor, der die Zahl  $dN_{\sigma, \text{coh}}$  der Photonen, die im Material auf der Wegstrecke  $ds$  eine kohärente Streuung erleiden, mit der auf das Material auffallenden Photonenzahl  $N_p$  verknüpft:

$$\frac{dN_{\sigma, \text{coh}}}{ds} = \sigma_{\text{coh}} N_p \quad \text{oder} \quad \sigma_{\text{coh}} = \frac{1}{N_p} \cdot \frac{dN_{\sigma, \text{coh}}}{ds}$$

## Linearer Paarbildungskoeffizient

Der lineare Paarbildungskoeffizient  $\kappa$  eines Stoffes ist der Proportionalitätsfaktor, der die Zahl  $dN_{\kappa}$  der Photonen, die im Material auf der Wegstrecke  $ds$  durch Paarbildung absorbiert werden, mit der auf das Material auffallenden Photonenzahl  $N_p$  verknüpft:

$$\frac{dN_{\kappa}}{ds} = \kappa N_p \quad \text{oder} \quad \kappa = \frac{1}{N_p} \cdot \frac{dN_{\kappa}}{ds}$$

## Linearer Paar-Energieabsorptionskoeffizient

Der lineare Paar-Energieabsorptionskoeffizient  $\kappa_{\text{en}}$  gibt den Anteil des [linearen Paar-Umwandlungskoeffizienten](#)  $\kappa_{\text{tr}}$  an, der nicht in Bremsstrahlung umgesetzt wird:

$$\kappa_{\text{en}} = \kappa_{\text{tr}} (1 - g_{\kappa}) .$$

Dabei ist  $g_{\kappa}$  der [Bremsstrahlungs-Ausbeutefaktor](#) für die bei der Paarbildung erzeugten Elektronen und Positronen. (s. DIN 6814-2 [DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Linearer Paar-Umwandlungskoeffizient

Kenngröße für die Energieumwandlung von Photonenstrahlung in Materie in kinetische Energie von Elektronen/Positronen, die durch Paarbildung erzeugt wurden; der lineare Paar-Umwandlungskoeffizient  $\kappa_{\text{tr}}$  ist definiert als Produkt aus dem linearen Paarbildungskoeffizienten  $\kappa$  mit dem relativen Anteil der Photonenenergie  $E$ , der in kinetische Energie der Elektron/Positron-Paare transferiert wird. Wenn  $m_e c^2$  die Ruheenergie eines Elektrons oder Positrons ist, dann ergibt sich für den linearen Paar-Umwandlungskoeffizienten

$$\kappa_{\text{tr}} = \frac{E - 2m_e c^2}{E} \cdot \kappa$$

## Linearer Photo-Energieabsorptionskoeffizient

Der Lineare Photo-Energieabsorptionskoeffizient  $\tau_{\text{en}}$  gibt den Anteil des [linearen Photo-Umwandlungskoeffizienten](#)  $\tau_{\text{tr}}$  an, der nicht in Bremsstrahlung umgesetzt wird:

$$\tau_{\text{en}} = \tau_{\text{tr}} (1 - g_{\tau}) .$$

Dabei ist  $g_{\tau}$  der [Bremsstrahlungs-Ausbeutefaktor](#) für die beim Photoeffekt freigesetzten Sekundärelektronen. (s. DIN 6814-2, [DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Linearer Photoschwächungskoeffizient

Der lineare Photoschwächungskoeffizient  $\tau$  eines Stoffes ist der Proportionalitätsfaktor, der die Zahl  $dN_{\tau}$  der Photonen, die im Material auf der Wegstrecke  $ds$  durch Photoeffekt absorbiert werden, mit der auf das Material auffallenden Photonenzahl  $N_p$  verknüpft:

$$\frac{dN_{\tau}}{ds} = \tau N_p \quad \text{oder} \quad \tau = \frac{1}{N_p} \cdot \frac{dN_{\tau}}{ds}$$



## Linearer Photo-Umwandlungskoeffizient

Kenngroße für die Energieumwandlung von Photonenstrahlung in Materie durch den Photoeffekt; der lineare Photo-Umwandlungskoeffizient  $\tau_{tr}$  ist definiert als Produkt aus dem linearen Photoschwächungskoeffizienten  $\tau$  mit dem relativen Anteil der Photonenenergie  $E$ , der im Mittel nach Absorption eines Photons nicht in charakteristische Röntgenstrahlung umgesetzt wird. Wenn  $E_{ch}/E$  der Anteil der Photonenenergie ist, der im Mittel in charakteristische Röntgenstrahlung umgesetzt wird, dann ergibt sich für den linearen Photo-Umwandlungskoeffizienten

$$\tau_{tr} = \tau \left(1 - \frac{E_{ch}}{E}\right)$$

Mit dieser Definition ist die kinetische Energie der Auger-Elektronen in  $\tau_{tr}$  enthalten.

## Linearer Schwächungskoeffizient

Kenngroße für die Schwächung von Photonenstrahlung in Materie; der lineare Schwächungskoeffizient  $\mu$  eines Stoffes ist der Proportionalitätsfaktor, der die Zahl  $dN$  der Photonen, die im Material auf der Wegstrecke  $ds$  eine oder mehrere Wechselwirkungen erleiden, mit der auf das Material auffallenden Photonenanzahl  $N$  verknüpft:

$$\frac{dN}{ds} = \mu N \quad \text{oder} \quad \mu = \frac{1}{N} \cdot \frac{dN}{ds}$$

Der lineare Schwächungskoeffizient  $\mu$  für Photonenstrahlung ist gleich der Summe aus den Schwächungskoeffizienten für den Photoeffekt ( $\rightarrow$ linearer Photoschwächungskoeffizient  $\tau$ ), den Compton-Effekt ( $\rightarrow$ linearer Streukoeffizient  $\sigma$ ) und die Paarbildung ( $\rightarrow$ linearer Paarbildungskoeffizient  $\kappa$ ):

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa$$

Der lineare Streukoeffizient setzt sich dabei aus den Beiträgen für die kohärente Streuung und die Compton-Streuung zusammen. Bei Photonenenergien oberhalb von etwa 10 MeV ist als zusätzlicher Schwächungseffekt der  $\rightarrow$ Kernphotoeffekt zu berücksichtigen.

Mit dem totalen Wirkungsquerschnitt  $\sigma_T$  ist der lineare Schwächungskoeffizient über die Anzahldichte  $n_a$  der Streupartner im Material (i. d. Regel der Atome) verknüpft:

$$\mu = n_a \cdot \sigma_T$$

## Linearer Streukoeffizient

Der lineare Streukoeffizient  $\sigma$  eines Stoffes ist der Proportionalitätsfaktor, der die Zahl  $dN_\sigma$  der Photonen, die im Material auf der Wegstrecke  $ds$  eine Compton-Streuung oder kohärente Streuung erleiden, mit der auf das Material auffallenden Photonenanzahl  $N_p$  verknüpft:

$$\frac{dN_\sigma}{ds} = \sigma N_p \quad \text{oder} \quad \sigma = \frac{1}{N_p} \cdot \frac{dN_\sigma}{ds}$$

Der lineare Streukoeffizient setzt sich aus einem Anteil für kohärente Streuung ( $\sigma_{\text{coh}}$ ) und einem Anteil für Compton-Streuung ( $\sigma_{\text{C}}$ ) additiv zusammen:

$$\sigma = \sigma_{\text{coh}} + \sigma_{\text{C}}$$

## Lineares Bremsvermögen

Das lineare Bremsvermögen  $S$  eines Stoffes für geladene Teilchen der Energie  $E$  ist der Quotient aus dem mittleren Energieverlust  $dE$ , den ein Teilchen mit der Energie  $E$  in diesem Stoff innerhalb der Weglänge  $ds$  erleidet, und der Weglänge  $ds$ :

$$S = \frac{dE}{ds}$$

## Lineares Energieübertragungsvermögen

Begriff aus der Dosimetrie ionisierender Strahlen zur Beschreibung der Energieabgabe eines ionisierenden Teilchens an die durchstrahlte Materie; das lineare Energieübertragungsvermögen  $L$  (auch linearer Energietransfer, LET genannt) ist gleich der Energie  $dE$ , die ein geladenes Teilchen der Energie  $E$  auf einer Wegstrecke  $ds$  an die Materie abgibt:

$$L = \frac{dE}{ds}$$

Man unterscheidet das beschränkte ( $L_{\Delta}$ ) und das unbeschränkte lineare Energieübertragungsvermögen ( $L_{\infty}$ ). Beim beschränkten linearen Energieübertragungsvermögen werden nur einzelne Energieüberträge berücksichtigt, infolge derer die durch Ionisation freigesetzten Sekundärteilchen (z.B. Elektronen) maximale kinetische Energien bis zu einer Schranke  $\Delta$  besitzen. Beispiel:  $L_{50} \rightarrow$  die Sekundärteilchen haben eine maximale kinetische Energie von 50 eV.

Das unbeschränkte lineare Energieübertragungsvermögen hat diese Beschränkung nicht und berücksichtigt alle Energieüberträge. Es ist für den Strahlenschutz die gebräuchlichere Größe. Zahlenmäßig ist es gleich dem  $\rightarrow$ linearen Stoßbremsvermögen.

Das lineare Energieübertragungsvermögen ist materialabhängig und wird in keV/ $\mu\text{m}$  angegeben. Es bezieht sich häufig, wenn nichts anderes angegeben ist, auf Wasser (wegen der Ähnlichkeit zu Gewebe). Zwischen dem  $\rightarrow$ Qualitätsfaktor  $Q(L)$  und dem unbeschränkten linearen Energietransfer  $L_{\infty}$  wurde folgende Beziehung festgelegt:

$L_{\infty}$ in Wasser / keV $\mu\text{m}^{-1}$	$Q(L)$
<10	1
10 - 100	0,32 L - 2,2
>100	300 / $\sqrt{L}$

Beziehung zwischen dem linearen Energietransfer und dem Qualitätsfaktor

## Lineares Stoßbremsvermögen

Das lineare Stoßbremsvermögen  $S_{coll}$  eines Stoffes für geladene Teilchen der Energie  $E$  ist der Quotient aus dem mittleren Energieverlust  $dE$ , den ein Teilchen mit der Energie  $E$  in diesem Stoff durch Stoßwechselwirkung innerhalb der Weglänge  $ds$  erleidet, und der Weglänge  $ds$ :

$$S_{coll} = \left(\frac{dE}{ds}\right)_{coll}$$

Stoßwechselwirkungen sind dabei definiert als solche Wechselwirkungen, die zur Anregung oder Ionisation eines Stoßpartners führen (im Gegensatz zum [linearen Strahlungsbremsvermögen](#))

## Lineares Strahlungsbremsvermögen

Das lineare Strahlungsbremsvermögen  $S_{rad}$  eines Stoffes für geladene Teilchen der Energie  $E$  ist der Quotient aus dem mittleren Energieverlust  $dE$ , den ein Teilchen mit der Energie  $E$  in diesem Stoff durch Bremsstrahlungserzeugung innerhalb der Weglänge  $ds$  erleidet, und der Weglänge  $ds$ :

$$S_{rad} = \left(\frac{dE}{ds}\right)_{rad}$$

## Linearverstärker

Verstärker für einen elektrischen (oder elektronischen) Impuls (Impulsverstärker), dessen Ausgangsimpulsamplitude proportional der Amplitude des Eingangsimpulses ist.

## LIS

Abk. für **L**uftaktivitäts-**I**nterventions-**S**chwellwert; der LIS-Wert wurde in einem Inkorporationsüberwachungs- und -schutzkonzept der Kernkraftwerksbetreiber in Deutschland eingeführt, um ein handliches Maß für die Entscheidung einzuführen, ob eine regelmäßige Inkorporationsüberwachung durchgeführt werden muss. Außerdem soll der LIS-Wert ein Maß für die Anordnung von Inkorporationsschutzmaßnahmen liefern und die zum Teil stark divergierende Vorgehensweise in der Praxis zu harmonisieren. Ausgehend von einer maximal akzeptierten Inhalationsdosis von 1 mSv im Jahr wird unter Berücksichtigung der Aktivitätszusammensetzung in der Raumluft und von auf Erfahrung basierenden Aufenthaltszeiten eine maximal zulässige Aktivitätskonzentration berechnet. Diese wird im Wesentlichen zur Definition des LIS-Wertes herangezogen, der in Bq/m<sup>3</sup> angegeben wird und sich auf ein Leitnuklid (in der Regel Co-60) bezieht.

Das LIS-Konzept ist in Fachkreisen nicht unumstritten, weil damit eine Inkorporationsdosis im Bereich von 1 mSv a priori akzeptiert werden kann, ohne Maßnahmen zur Strahlenschutzoptimierung gemäß § 6 StrlSchV einzubeziehen.

## Lithiumdriftdetektor

→[Halbleiterdetektor](#), bei dem die Sperrschicht dadurch hergestellt wird, dass man in das p-leitende Grundmaterial von einer Seite Lithium als Donator driften lässt und

dadurch eine n-leitende Schicht erzeugt; als Grundmaterial wird meistens Silizium verwendet, und die dabei entstehenden Si(Li)-Detektoren sind alternativ zu →[Oberflächensperrschicht-Detektoren](#) einsetzbar. Sie sind auch für die Spektrometrie niederenergetischer Röntgenstrahlung geeignet. Sie können bei Raumtemperaturen gelagert und betrieben werden.

Früher wurde häufig auch Germanium als Grundmaterial verwendet; die Ge(Li)-Detektoren wurden allerdings durch die vorteilhafteren →[Reinstgermanium-Detektoren](#) verdrängt. Ge(Li)-Detektoren müssen immer mit flüssigem Stickstoff gekühlt werden, weil das Lithium bei höheren Temperaturen durch das gesamte Detektormaterial drifftet und somit die Sperrschicht zerstört. (Lit.: VOG04)

## LNT-Hypothese

Hypothese über die Dosis-Wirkungs-Beziehung ionisierender Strahlung; die LNT-Hypothese setzt voraus, dass die Wirkung linear mit der Dosis abnimmt und zu niedrigen Dosen hin keine Schwellendosis existiert, unterhalb der keine schädigende Wirkung auftritt (LNT = Abk. für **linear non treshold**). Die LNT-Hypothese ist die Voraussetzung für das Konzept der Äquivalentdosis, nach dem unterschiedliche Dosisbeiträge addiert werden können und das resultierende Gesamtrisiko der Summe der Einzelrisiken entspricht. Umgekehrt gilt dieses Konzept nur in dem Dosisbereich, in dem die Beziehung zwischen Dosis und Wirkung linear ist, d.h. bei Dosen bis zu einigen 100 mSv. →[Dosis-Wirkungs-Beziehung](#)

## LMFBR

Abk. für **Liquid Metal Fast Breeder Reactor**, flüssigmetallgekühlter schneller Brutreaktor.

## LOCA

Abk. für **Loss-of-Coolant Accident**; Kühlmittelverlustunfall.

## Locker ionisierende Strahlung

Strahlung mit einem niedrigen mittleren Energieverlust pro Weglänge (→[lineares Energieübertragungsvermögen](#), LET); zur locker ionisierenden Strahlung gehören Photonenstrahlung, Elektronen und Positronen. Typische Werte für das lineare Energieübertragungsvermögen von Elektronen mit Energien > 10 keV liegen unter 3 keV/μm.

## Lokale Hautdosis

Über 1 cm<sup>2</sup> gemittelte →[Hautdosis](#); im praktischen Strahlenschutz ist die lokale Hautdosis meistens eher von Interesse als die über die gesamte Körperoberfläche gemittelte Hautdosis.

## Long-Counter

Messgerät zum Nachweis der Äquivalentdosis oder der Äquivalentdosisleistung von schnellen Neutronen; dabei wird als Detektor ein BF<sub>3</sub>-Zählrohr verwendet, das von einer Paraffin-Hülle als Moderator umgeben ist.

## Löschgas

Gaszusatz in →[Geiger-Müller-Zählrohren](#), der verhindert, dass eine Dauerentladung eintritt; bei der Rekombination der ionisierten Zählgasatome an der Kathode des Zählrohrs kann Energie frei werden, die mit geringer Wahrscheinlichkeit zur Freisetzung eines zusätzlichen Elektrons an der Kathode führt. Löschgase haben die Eigenschaft, eine geringere Ionisationsenergie zu besitzen als das Zählgas. Dadurch kommt es auf dem Weg der Zählgas-Ionen zur Kathode zu Umladungen, bei denen das positive Zählgas-Ion neutralisiert und das Löschgas-Molekül ionisiert wird. Bei der Neutralisation der Löschgas-Moleküle an der Kathode reicht die überschüssige Energie nicht aus, um ein weiteres Elektron aus der Kathode freizusetzen, häufig jedoch dazu, dass das Löschgasmolekül zerstört wird. Das Löschgas verbraucht sich. In der Praxis werden als Löschgase oft organische Dämpfe oder Halogene eingesetzt. Die Lebensdauer des Löschgases liegt bei etwa  $10^{10}$  Impulsen.

Lit.: MAU85, VOG04

## Lösungsmittlextraktion

Verfahren, bei dem Substanzen selektiv aus einem wässrigen Medium in ein mit diesem nicht mischbares organisches Lösungsmittel extrahiert werden. Das Verfahren der Lösungsmittlextraktion wird beim →[PUREX-Verfahren](#) zur Trennung der Spaltprodukte von Uran und Plutonium angewandt.

## LSC

Abk. für liquid scintillation counter →[Flüssigszintillationszähler](#); Strahlenmessgerät, mit dem bevorzugt Radionuklide, die niederenergetische Beta-Strahlung emittieren, gemessen werden können (z. B. Tritium, C-14)

## LSS

Abk. für Life Span Study; Studie über strahleninduzierte Schäden an den Überlebenden der Atombombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki. Die Studie ist die Hauptgrundlage für die Erkenntnisse über die stochastischen Schäden durch ionisierende Strahlung. Sie wurde 1950 von der „Atomic Bomb Casualty Commission“ begonnen, 1975 von der „Radiation Effects Research Foundation“ (RERF) weitergeführt und dauert noch an. Zuzeit liegen Daten bis einschließlich 2000 vor. Unter den mehr als 86000 beobachteten Personen gab es bis zum Jahr 2000 insgesamt 10.127 Todesfälle infolge solider Tumore, von denen 479 auf die auf die Strahlenexposition zurückgeführt werden.

Die Daten sind veröffentlicht unter [www.rerf.or.jp](http://www.rerf.or.jp)

## LuftVG

Abk. für Luftverkehrsgesetz; das LuftVG enthält Vorgaben über die Beförderung radioaktiver Stoffe auf dem Luftweg.

## Luftwechsel

Austausch der Raumluft in einem geschlossenen Raum, bedingt durch Lüftungstechnische Maßnahmen oder natürliche, konvektionsbedingte Luftströmung; der Aus-

tausch der Raumlufte ist wichtig in Räumen, in denen Aktivitätsfreisetzungen in die Raumlufte erfolgen oder erfolgt sind. Die Geschwindigkeit, mit der die Raumlufte durch Frischluft ersetzt wird, wird durch die Luftwechselzahl  $w$  angegeben. Sie gibt an, wie oft je Zeiteinheit die Raumlufte vollständig ausgetauscht wird (Beispiel:  $w = 1/h$  heißt: 1 Luftwechsel je Stunde).

Die Aktivitätskonzentration  $a(t)$  zur Zeit  $t$  in der Luft eines Raumes hängt ab von der Luftwechselzahl  $w$ , der Zerfallskonstante  $\lambda$  des radioaktiven Stoffes und der Aktivitätskonzentration  $a_0$  zur Zeit  $t=0$ . Unter der Annahme einer gleichförmigen Aktivitätsverteilung in der Raumlufte kann sie durch folgende Gleichung beschrieben werden:

$$a(t) = a_0 \cdot e^{-(\lambda+w)t}$$

## Luftwechselzahl

→[Luftwechsel](#)

## Lumineszenz

Emission von Licht beim Übergang eines Atoms, eines Moleküls oder einer Atomgitterstruktur (z.B. Kristallgitter) von einem angeregten Zustand zum Grundzustand; die vorherige Anregung kann durch unterschiedlichste äußere oder innere Einwirkungen erzeugt worden sein. Unter Einwirkung ionisierender Strahlen kann es zur Radio- oder Rontgenlumineszenz kommen.

Die →[Thermolumineszenz](#), die bei der Erwärmung bestimmter Stoffe nach ionisierender Bestrahlung auftreten kann, wird im Strahlenschutz für dosimetrische Zwecke genutzt. Gleiches gilt für die Photolumineszenz, die durch Bestrahlung des Dosimetermaterials mit UV-Licht erzeugt wird. →[Photolumineszenz](#)

## Lungenzähler

Teilkorperzahler zur Inkorporationsüberwachung der Lunge; als Detektoren werden z.B. Reinstgermaniumkristalle oder Szintillatoren in Phoswich-Bauweise eingesetzt, mit denen die störende Untergrundstrahlung ausgeblendet werden kann. Auf diese Weise erhält man für U-235 Nachweisgrenzen von 4 Bq (VOG04).

## LWR

Abk. für →[Leichtwasserreaktor](#)

# M

## 30-Millirem-Konzept

Veralteter Begriff für das Konzept zum Schutz der Bevölkerung vor radioaktiver Strahlung durch Ableitungen; die Strahlenexposition des Menschen infolge der Abgabe radioaktiver Stoffe in Luft oder Wasser beim Betrieb von kerntechnischen Anlagen und beim Umgang mit radioaktiven Stoffen wird durch die Strahlenschutzverordnung mit streng limitierenden Werten geregelt. Der den Schutz der Bevölkerung und der Umwelt regelnde § 47 StrlSchV legt folgende Dosisgrenzwerte als Folge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser fest:

- effektive Dosis 0,3 mSv/Jahr,
- Keimdrüsen, Gebärmutter, rotes Knochenmark 0,3 mSv/Jahr,
- alle anderen Organe 0,9 mSv/Jahr,
- Knochenoberfläche, Haut 1,8 mSv/Jahr.

Von der früheren Doseinheit Millirem - 0,3 mSv sind gleich 30 Millirem - hat dieses Strahlenschutzkonzept seinen Namen.

## Magnetische Linse

Magnetfeldanordnung, die auf einen Strahl geladener Teilchen einen fokussierenden oder defokussierenden Effekt ausübt.

## Magnox

Hüllrohrmaterial in graphitmoderierten, gasgekühlten Reaktoren. Magnox (**m**agnesium **n**on **o**xidizing) ist eine Legierung aus Al, Be, Ca und Mg.

## Magnox-Reaktor

Graphitmoderierter, CO<sub>2</sub>-gekühlter Reaktortyp mit Natururan-Brennelementen mit Magnox-Hülle; dieser Reaktortyp wurde überwiegend in Großbritannien gebaut, z. B. Calder Hall, Chapelcross, Wylfa.

## MAK

Abk. für **M**aximale **A**rbeitsplatz**k**onzentration; der MAK-Wert ist die höchstzulässige Konzentration eines Schadstoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der Luft am Arbeitsplatz, der nach dem gegenwärtigen Stand der Kenntnis auch bei wiederholter und langfristiger, in der Regel täglich achtstündiger Einwirkung, jedoch bei Einhaltung der durchschnittlichen Wochenarbeitszeit, im Allgemeinen die Gesundheit der Beschäftigten nicht beeinträchtigt und die Beschäftigten nicht unangemessen belästigt. Bei der Aufstellung der MAK-Werte sind in erster Linie die Wirkungscharakteristika der Stoffe berücksichtigt, daneben aber auch praktische Gegebenheiten der Arbeitsprozesse. Maßgebend sind dabei wissenschaftlich fundierte Kriterien des Gesund-



heitsschutzes, nicht die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten der Realisierung in der Praxis.

## **Makrofol**

Detektormaterial aus Polycarbonat für den Nachweis schwerer Teilchen im Ätzspurverfahren; →[CR-39](#), →[Kernspurdetektor](#)

## **Manipulator**

Mechanische und elektromechanische Geräte zur sicheren fernbedienten Handhabung radioaktiver Stoffe oder für Arbeiten in stark strahlenden Bereichen; Anwendungsbereiche für Manipulatoren sind z.B. Tätigkeiten in Heißen Zellen (master-slave-Manipulatoren), Werkstoffprüfungen an stark strahlenden Komponenten (Ultraschall- oder Wirbelstrommanipulatoren) oder Zerlegearbeiten beim Rückbau kerntechnischer Anlagen (Schneidmanipulatoren).

## **Marinelli-Becher**

Spezielle Form der →[Ringschale](#) für Aktivitätsmessungen

## **Markierung**

Kenntlichmachung einer Substanz durch Einbau gut nachweisbarer, meist radioaktiver Atome, um so die Substanz im Verlauf chemischer und biologischer Prozesse gut verfolgen zu können. →[Tracer](#)

## **Masse, kritische**

→[kritische Masse](#)

## **Massen-Bremsvermögen**

Quotient aus dem →[linearen Bremsvermögen](#)  $S$  eines Stoffes und dessen Dichte  $\rho$ :  $S / \rho$  (DIN 6814-2 →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## **Massen-Compton-Energieabsorptionskoeffizient**

Quotient aus dem →[linearen Compton-Energieabsorptionskoeffizienten](#)  $\sigma_{\text{Cen}}$  eines Stoffes und dessen Dichte  $\rho$ :  $\sigma_{\text{Cen}} / \rho$ . (DIN 6814-2 →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## **Massen-Comptonstreuoeffizient**

Quotient aus dem →[linearen Comptonstreuoeffizienten](#)  $\sigma_{\text{C}}$  eines Stoffes und dessen Dichte  $\rho$ :  $\sigma_{\text{C}} / \rho$ . (DIN 6814-2 →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## **Massen-Compton-Umwandlungskoeffizient**

Quotient aus dem →[linearen Compton-Umwandlungskoeffizienten](#)  $\sigma_{\text{tr}}$  eines Stoffes und dessen Dichte  $\rho$ :  $\sigma_{\text{tr}} / \rho$ . (DIN 6814-2 →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Massen-Energieabsorptionskoeffizient

Quotient aus dem →linearen Energieabsorptionskoeffizienten  $\mu_{\text{en}}$  eines Stoffes und dessen Dichte  $\rho$ :  $\mu_{\text{en}} / \rho$ . (DIN 6814-2 →DIN-Normen zum Strahlenschutz)

## Massen-Energieumwandlungskoeffizient

Quotient aus dem →linearen Energieumwandlungskoeffizienten  $\mu_{\text{tr}}$  eines Stoffes und dessen Dichte  $\rho$ :  $\mu_{\text{tr}} / \rho$ . (DIN 6814-2 →DIN-Normen zum Strahlenschutz)

## Massen-Paarbildungskoeffizient

Quotient aus dem →linearen Paarbildungskoeffizienten  $\kappa$  eines Stoffes und dessen Dichte  $\rho$ :  $\kappa / \rho$ . (DIN 6814-2 →DIN-Normen zum Strahlenschutz)

## Massen-Paar-Energieabsorptionskoeffizient

Quotient aus dem →linearen Paar-Energieabsorptionskoeffizienten  $\kappa_{\text{en}}$  eines Stoffes und dessen Dichte  $\rho$ :  $\kappa_{\text{en}} / \rho$ . (DIN 6814-2 →DIN-Normen zum Strahlenschutz)

## Massen-Paar-Umwandlungskoeffizient

Quotient aus dem →linearen Paar-Umwandlungskoeffizienten  $\kappa_{\text{tr}}$  eines Stoffes und dessen Dichte  $\rho$ :  $\kappa_{\text{tr}} / \rho$ . (DIN 6814-2 →DIN-Normen zum Strahlenschutz)

## Massen-Photo-Energieabsorptionskoeffizient

Quotient aus dem →linearen Photo-Energieabsorptionskoeffizienten  $\tau_{\text{en}}$  eines Stoffes und dessen Dichte  $\rho$ :  $\tau_{\text{en}} / \rho$ . (DIN 6814-2 →DIN-Normen zum Strahlenschutz)

## Massen-Photoschwächungskoeffizient

Quotient aus dem →linearen Photoschwächungskoeffizienten  $\tau$  eines Stoffes und dessen Dichte  $\rho$ :  $\tau / \rho$ . (DIN 6814-2 →DIN-Normen zum Strahlenschutz)

## Massen-Photoumwandlungskoeffizient

Quotient aus dem →linearen Photo-Umwandlungskoeffizienten  $\tau_{\text{tr}}$  eines Stoffes und dessen Dichte  $\rho$ :  $\tau_{\text{tr}} / \rho$ . (DIN 6814-2 →DIN-Normen zum Strahlenschutz)

## Massen-Stoßbremsvermögen

Quotient aus dem →linearen Stoßbremsvermögen  $S_{\text{coll}}$  eines Stoffes und dessen Dichte  $\rho$ :  $S_{\text{coll}} / \rho$ . (DIN 6814-2 →DIN-Normen zum Strahlenschutz)

## Massen-Strahlungsbremsvermögen

Quotient aus dem →linearen Strahlungsbremsvermögen  $S_{\text{rad}}$  eines Stoffes und dessen Dichte  $\rho$ :  $S_{\text{rad}} / \rho$ . (DIN 6814-2 →DIN-Normen zum Strahlenschutz)

## Massen-Streukoeffizient

Quotient aus dem [linearen Streukoeffizienten](#)  $\sigma$  eines Stoffes und dessen Dichte  $\rho$ :  $\sigma / \rho$ . (DIN 6814-2 [→DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Massen-Streukoeffizient für kohärente Streuung

Quotient aus dem [linearen Streukoeffizienten](#) für kohärente Streuung  $\sigma_{\text{coh}}$  eines Stoffes und dessen Dichte  $\rho$ :  $\sigma_{\text{coh}} / \rho$ . (DIN 6814-2 [→DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Massenbelegung

Materialgröße, die häufig in Abschirmrechnungen für Photonenstrahlung verwendet wird; sie bezeichnet die Masse je Flächeneinheit (Maßeinheit: g/cm<sup>2</sup>). Für unterschiedliche Materialien ist der ungestreut das Material durchdringende Anteil der Photonenstrahlung etwa gleich für gleiche Massenbelegungen.

## Massenbezogenen Reaktionsrate

[→Reaktionsrate, massenbezogene](#)

## Massendefekt

Der Massendefekt bezeichnet die Tatsache, dass die aus Protonen und Neutronen aufgebauten Atomkerne eine kleinere Ruhemasse haben, als der Summe der Ruhemassen der Protonen und Neutronen entspricht, die den Atomkern bilden. Die Massendifferenz entspricht der freigewordenen [Bindungsenergie](#). Für das Alphateilchen mit einer Masse von 4,00151 atomaren Masseneinheiten ergibt sich aus dem Aufbau aus zwei Protonen (je 1,00728 atomare Masseneinheiten) und zwei Neutronen (je 1,00866 atomare Masseneinheiten) ein Massendefekt von 0,03037 atomaren Masseneinheiten. Dies entspricht einer Energie (Bindungsenergie) von etwa 28 MeV.

## Massenschwächungskoeffizient

Der Massenschwächungskoeffizient ist definiert als Quotient aus dem [linearen Schwächungskoeffizienten](#)  $\mu$  und der Dichte  $\rho$  des durchstrahlten Materials. Der Massenschwächungskoeffizient ist in der Literatur häufig tabelliert.

## Massenspektrograph, Massenspektrometer

Geräte zur Isotopenanalyse und Bestimmung der Isotopenmasse durch elektrische und magnetische Separierung eines Ionenstrahls; die ionisierten Atome oder Moleküle werden in einem elektromagnetischen Feld auf einer Kreisbahn umgelenkt. Dabei halten sich die elektromagnetische Kraft als Zentripetalkraft und die Zentrifugalkraft (Fliehkraft) die Waage. Da die Zentrifugalkraft von der Masse des Ions abhängt, kann über das elektromagnetische Feld eine gewünschte Masse auf die vorgegebenen Kreisbahn gezwungen und somit separiert werden.

## Massenwirkungsquerschnitt

Der Massenwirkungsquerschnitt ist definiert als Quotient aus dem makroskopischen Wirkungsquerschnitt  $\Sigma$  und der Dichte  $\rho$  des durchstrahlten Materials. Der Massenwirkungsquerschnitt ist in der Literatur häufig tabelliert.

## Massenzahl

Die Massenzahl  $A$  gibt die Anzahl der Nukleonen, das ist die Summe aus Protonenzahl  $Z$  und Neutronenzahl  $N$ , im Atomkern an:  $A = Z + N$ . Die Masse des Atomkerns ist wegen der Bindungsenergie geringer als die Summe der Einzelmassen der Nukleonen. →[Massendefekt](#). In der Physik wird die Massenzahl eines Kerns oben links an das Elementsymbol geschrieben. Beispiel:  $^{60}\text{Co}$ . Zur Vereinfachung in der Textverarbeitung sind auch die Schreibweisen Co-60 oder Co 60 gebräuchlich

## Mastitis

Entzündung der Brustdrüse, kann durch hohe Bestrahlung, z.B. infolge einer Strahlentherapie hervorgerufen werden.

## Material, abgereichertes

Material, in dem die Konzentration eines Isotops oder mehrerer Isotope eines Bestandteiles unter ihren natürlichen Wert verringert ist.

## Material, angereichertes

Material, in dem die Konzentration eines Isotops oder mehrerer Isotope eines Bestandteiles über ihren natürlichen Wert hinaus vergrößert ist.

## Material, nicht nachgewiesenes

Begriff aus dem Bereich der Kernmaterialüberwachung; Differenz zwischen dem realen Bestand und dem Buchbestand an Kernmaterial. →[MUF](#)

## Materialbilanzzone

Begriff aus der Kernmaterialüberwachung; sie bezeichnet einen räumlichen Bereich, der so geartet ist, dass die Kernmaterialmenge bei jeder Weitergabe in bzw. aus dieser Zone und der Bestand an Kernmaterial in dieser Zone in Übereinstimmung mit festgelegten Verfahren bestimmt werden kann, damit die Materialbilanz für diese Zone aufgestellt werden kann.

## Materialeigenschaften, strahleninduzierte Änderung

Änderungen der Materialeigenschaften können durch Strahlung dadurch bewirkt werden, dass die Strahlung z.B. durch Kernreaktionen Atome verändert, chemische Bindungen zerstört, chemische Reaktionen anregt oder Gitterschäden im Kristallgitter verursacht. In organischen Stoffen, z.B. in Isolier- oder Dichtungsmaterialien oder in Beschichtungswerkstoffen bewirken strahleninduzierte chemische Reaktionen oft Vernetzungen zwischen den Molekülen, wodurch Kunststoffe härter oder spröder werden können. Bei sehr hohen Dosen gibt es auch Zerstörungen der Molekülver-

bindungen, was zur Erweichung des Materials führt. Typische Energiedosen, die zu merklichen Veränderungen der Materialeigenschaften führen, sind in folgender Tabelle enthalten:

Material	Dosis / Gy	Strahlungsart	beeinträchtigte Eigenschaft
Teflon	10 <sup>3</sup>	Gamma	
Acrylglas	10 <sup>4</sup>	Gamma	
Polyethylen, PVC	10 <sup>5</sup>	Gamma	
Polyester, Polystyrol	10 <sup>7</sup>	Gamma	
Schmieröl	10 <sup>6</sup>	Gamma	Viskosität
Metalloyid-Halbleiterdetektoren	10	Gamma	
elektr. Bauteile (Dioden, Kondensat.)	10 <sup>5</sup>	Gamma	
Metallschichtwiderstände	10 <sup>7</sup>	Gamma	
handelsübliche Gläser	100	Gamma	Transparenz
Spezialgläser	10 <sup>7</sup>	Gamma	Transparenz
keramische Stoffe, Beton	10 <sup>8</sup>	Gamma	Festigkeit
niedrig legierte Kohlenstoffstähle	10 <sup>8</sup>	Neutronen	Abnahme der Kerbschlagzähigkeit, Volumenzunahme, erhöhte Korrosion
Austenite	10 <sup>11</sup>	Neutronen	wie Kohlenstoffstähle

Quelle: VOG04

## Materialien

In der Strahlenschutzverordnung werden Stoffe, die natürliche Radionuklide enthalten, und aus diesem Grunde in den Regelungsbereich der Strahlenschutzverordnung fallen, als Materialien bezeichnet. Die Definition nach § 3 Abs.2 Nr. 20 lautet:

Stoffe, die natürlich vorkommende Radionuklide enthalten oder mit solchen Stoffen kontaminiert sind. Dabei bleiben für diese Begriffsbestimmung natürliche und künstliche Radionuklide, die Gegenstand von Tätigkeiten sind oder waren, oder aus Ereignissen nach § 51 Abs. 1 Satz 1 stammen, unberücksichtigt. Ebenso bleiben Kontaminationen in der Umwelt aufgrund von Kernwaffenversuchen und kerntechnischen Unfällen außerhalb des Geltungsbereiches dieser Verordnung unberücksichtigt.

## MAW

Abk. für **medium active waste**; mittelaktiver Abfall, üblicherweise mit einer Aktivitätskonzentration von 10<sup>10</sup> bis 10<sup>14</sup> Bq/m<sup>3</sup>.

## Max-Planck-Gesellschaft

Die Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. ist eine unabhängige gemeinnützige Forschungsorganisation. Sie wurde am 26. Februar 1948 - in

Nachfolge der bereits 1911 errichteten Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft - gegründet. Die Max-Planck-Gesellschaft fördert die Forschung in eigenen Instituten. Die Max-Planck-Institute betreiben Grundlagenforschung in den Natur-, Bio- und Geisteswissenschaften im Dienste der Allgemeinheit. Insbesondere greift die Max-Planck-Gesellschaft neue, zukunftssträchtige Forschungsrichtungen auf, die an den Universitäten noch keinen oder keinen ausreichenden Platz finden, wegen ihres interdisziplinären Charakters nicht in das Organisationsgefüge der Universitäten passen oder einen personellen oder apparativen Aufwand erfordern, der von Universitäten nicht erbracht werden kann. Die Max-Planck-Institute ergänzen so die Arbeit der Universitäten auf wichtigen Forschungsfeldern. Derzeit wird die Max-Planck-Gesellschaft zu etwa 95% aus öffentlichen Mitteln von Bund und Ländern finanziert. Die restlichen 5% kommen von Mitgliedsbeiträgen, Spenden sowie aus eigenen Erträgen.

Internet: [www.mpg.de](http://www.mpg.de)

## Max-Planck-Institut für Plasmaphysik

Die →[Max-Planck-Gesellschaft](#) betreibt Forschungsinstitute zu unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen (Gesellschaftsforschung, Recht, Bildung, Biologie, Chemie, Physik,..). Für den Strahlenschutz und die Reaktortechnik ist das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) von Bedeutung. Es untersucht die physikalischen Grundlagen für ein Fusionskraftwerk, das – ähnlich wie die Sonne – Energie aus der Verschmelzung von leichten Atomkernen gewinnen soll. Die zwei Konzepte für den magnetischen Einschluss eines Fusionsplasmas - →[Tokamak](#)-Anordnung und →[Stellarator](#)-Prinzip – werden im IPP auf ihre Kraftwerkstauglichkeit hin untersucht. In Garching wird der Tokamak ASDEX-Upgrade sowie der Stellarator WENDELSTEIN 7-AS betrieben. Der Nachfolger WENDELSTEIN 7-X entsteht im IPP-Teilinstitut in Greifswald. Die Arbeiten des IPP sind in nationale und europäische Programme sowie weltweite Kooperationen eingebunden. Auf europäischer Ebene ist das IPP am gegenwärtig größten Fusionsexperiment der Welt →[JET](#) (Joint European Torus) beteiligt. Gleichzeitig arbeitet das IPP mit an der weltweiten Kooperation für einen Internationalen Thermonuklearen Experimentalreaktor →[ITER](#).

Internet: [www.ipp.mpg.de](http://www.ipp.mpg.de)

## MELODI

Abk. für **M**ultidisciplinary **E**uropean **L**ow **D**ose Initiative; MELODY ist eine von sechs führenden europäischen Strahlenschutzorganisationen gegründete Forschungsplattform, deren Ziel es ist, zentrale wissenschaftliche Fragestellungen zum Strahlenschutz im Niedrigdosisbereich durch eigene Forschungen und durch offenen Austausch mit anderen Organisationen zu klären. Vorrangig sind folgende Forschungsfelder betroffen:

- Der Verlauf der Dosis-Wirkung-Beziehung im Niedrigdosis-Bereich
- Die individuelle Strahlenempfindlichkeit
- Der Beitrag von nicht kanzerogenen gesundheitlichen Risiken ionisierender Strahlung zum strahlungsbedingten Detriment

Internet: [www.melodi-online.eu](http://www.melodi-online.eu)

## MBZ

Abk. für →**Materialbilanzzone**

## mCi

Kurzzeichen für Millicurie = eintausendstel Curie. →**Curie**; →**Vorsilben für Maßeinheiten**

## Medianwert

Der Medianwert einer Menge von n Messwerten ist in Abhängigkeit von der Anzahl n der Messwerte definiert:

Messwerte:  $M_1 \leq M_2 \leq M_3 \leq \dots \leq M_n$

Wenn n gerade: Median =  $\frac{1}{2} (M_{n/2} + M_{n/2+1})$

Wenn n ungerade: Median =  $M_{(n+1)/2}$

## Mediumstrahlen

Dekontaminationsverfahren mittels kleiner Feststoffe („Strahl“), das hauptsächlich bei kontaminierten metallischen Komponenten zum Einsatz kommt; das Strahlmedium (z.B. Stahlkies) weist eine raue und gezackte Oberfläche auf. Es trifft mit hoher Geschwindigkeit auf die kontaminierte Oberfläche auf und trägt oberflächennahe Schichten, welche die Kontamination enthalten, ab. Das Verfahren kann händisch in einem geeigneten Strahlcontainer angewandt werden oder automatisiert (z.B. mit einer Schleuderrad-Technik). Das automatisierte Verfahren liefert besonders bei einfachen Geometrien des zu reinigenden Materials zufriedenstellende Ergebnisse. Dabei fallen für das Personal im Wesentlichen nur Strahlenexpositionen beim Beschicken der Strahlbox mit den kontaminierten Teilen und bei der Entsorgung der kontaminierten Abfälle an. Beim händischen Verfahren können auch verwinkelte Strukturen gut dekontaminiert werden. Hierbei muss sich das Personal jedoch bei der Dekontamination im Strahlenfeld der kontaminierten Teile aufhalten. Das Optimum für den Strahlenschutz muss im Einzelfall festgelegt werden. Bei stark kontaminierten Teilen mit hoher Dosisleistung empfiehlt sich auch bei verwinkelten Strukturen eine Vorreinigung mit einer automatisierten Anlage.

Mediumstrahl-Anlagen können so ausgelegt werden, dass das Strahlmittel wieder aufbereitet und erst verworfen wird, wenn die Oberfläche der Strahl-Körner geglättet ist. Die abgetragene Aktivität verbleibt im feinen Oberflächenabrieb und kann über Saugeinrichtungen abgeführt und in Abfallbehältern abgeschieden werden. Für Sammlung und Abtransport dieser Abfälle sind Strahlenschutz-Vorsorgemaßnahmen einzuplanen (z.B. Abschirmung der Sammelbehälter).

## Medizinphysik-Experte

In medizinischer Physik besonders ausgebildeter Diplom-Physiker mit der erforderlichen Fachkunde im Strahlenschutz oder eine inhaltlich gleichwertig ausgebildete sonstige Person mit Hochschul- oder Fachhochschulabschluss und mit der erforderlichen Fachkunde im Strahlenschutz. (Def. § 3 Abs.2 Nr.21 StrlSchV und § 2 Nr.11 RöV)



## Medizinische Forschung

→Forschung, medizinische

## Medizinische Strahlenexposition

→Strahlenexposition, zivilisatorische

## Megawatt

Das millionenfache der Leistungseinheit Watt (W), Kurzzeichen: MW.  $1 \text{ MW} = 1.000 \text{ kW} = 1.000.000 \text{ W} = 10^6 \text{ Watt}$ .

## Mehrfachstreuung

In der Strahlungsphysik definiert als Streuung, bei der die Winkelverteilung der austretenden Teilchen durch mehr als einen, aber weniger als 20 Streuprozesse je Teilchen bestimmt ist. (DIN 6814-2 →DIN-Normen zum Strahlenschutz).

## Meister im Strahlenschutz

Qualifikation in der Ausbildung von Strahlenschutzfachkräften; der Ausbildungsgang erfolgt analog zu dem eines Industriemeisters, wobei eine fachspezifische Strahlenschutz Ausbildung die „konventionelle“ Ausbildung ergänzt. Die Ausbildung schließt mit einer Prüfung ab und berechtigt zum Führen der Berufsbezeichnung „geprüfter Kraftwerksmeister/-in Strahlenschutz“. Die Ausbildung kann in Deutschland bei der IHK Ruhr in Verbindung mit der Kraftwerksschule Essen erfolgen.

## Meitner, Lise

Physikerin, \* 7.11.1878 als Kind jüdischer Eltern in Wien, † 27.11.1968 Cambridge, Studium der Mathematik, Physik und Philosophie in Wien; nach der Promotion 1906 forscht sie auf dem Gebiet radioaktiver Strahlen und arbeitet mit Otto Hahn am chemischen Institut in Berlin und später in der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft zusammen. 1913 wird sie wissenschaftliches Mitglied des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Chemie und habilitiert in der Weimarer Republik als erste Frau in Physik. 1926 wird sie außerordentliche Professorin in Berlin, verliert aber die Lehrerlaubnis nach der Machtübernahme der Nationalsozialisten. Ab 1934 forscht sie zu Transuran-Elementen mit Otto Hahn und Fritz Strassmann. 1938 nach Anschluss Österreichs an das deutsche Reich (damit fällt sie unter die Nürnberger Rassegesetze) flieht sie über Holland nach Schweden. Von dort aus trägt sie über briefliche Kontakte wesentlich zur Deutung der Experimente von Hahn und Strassmann (Kernspaltung) bei und liefert 1939 zusammen mit ihrem Neffen Otto Robert Frisch die erste theoretische Deutung der Kernspaltung. 1947 tritt sie eine Forschungsprofessur an der Technischen Hochschule Stockholm an. 1960 wird sie emeritiert und übersiedelt nach Cambridge (England).



Lise Meitner 1928

Quelle:

[http://staatsbibliothek-berlin.de/downloads/lise\\_meitner.html](http://staatsbibliothek-berlin.de/downloads/lise_meitner.html)

## Meldekategorien

Die meldepflichtigen Ereignisse in kerntechnischen Anlagen werden in Deutschland nach der →[AtMSV](#) entsprechend der sicherheitstechnischen Bedeutung unterschiedlichen Kategorien zugeordnet.

- Kategorie S (sofort): Dieser Kategorie sind solche Ereignisse zuzuordnen, die der Aufsichtsbehörde sofort gemeldet werden müssen, damit sie gegebenenfalls in kürzester Frist Prüfungen einleiten oder Maßnahmen veranlassen kann. Hierunter fallen auch die Ereignisse, die akute sicherheitstechnische Mängel aufzeigen.
- Kategorie E (eilig): In der Kategorie E sind solche Ereignisse einzustufen, die zwar keine Sofortmaßnahmen der Aufsichtsbehörde verlangen, deren Ursache aber aus Sicherheitsgründen geklärt und in angemessener Frist behoben werden muss. Dies sind z. B. Ereignisse, die sicherheitstechnisch potentiell aber nicht unmittelbar signifikant sind.
- Kategorie N (normal): Der Kategorie N sind Ereignisse von allgemeiner sicherheitstechnischer Relevanz zuzuordnen, über die die Aufsichtsbehörde informiert werden muss. Dies sind in der Regel Ereignisse, die über routinemäßige betriebstechnische Ereignisse hinausgehen und im Sinne der Sicherheitskriterien von Bedeutung sind (Gewährleistung eines möglichst störfallfreien und umweltverträglichen Betriebs der Anlage; ausreichend zuverlässige Vermeidung von Störfällen durch entsprechende Auslegung, Qualität und Fahrweise der Anlage).
- Kategorie V (vorsorglich): Der Kategorie V sind alle Ereignisse in einem Kernkraftwerk vor der Beladung mit Kernbrennstoff zuzuordnen, über die die Aufsichtsbehörde im Hinblick auf den späteren sicheren Betrieb der Anlage informiert werden muss.

Die Internationale Atomenergieorganisation hat eine ‚Internationale Bewertungsskala für bedeutsame Ereignisse in kerntechnischen Anlagen‘ erarbeitet, die auch in Deutschland neben den oben genannten Meldekategorien zur Meldung an die IAEA angewandt wird. →[INES](#)

## Meson

Ursprünglich Bezeichnung für Elementarteilchen mit einer Masse, die zwischen der Myonenmasse und der Nukleonenmasse liegt. Zur Gruppe der Mesonen werden heute die Elementarteilchen gezählt, die wie die →[Baryonen](#) sowohl der starken als auch der schwachen und der elektromagnetischen Wechselwirkung unterliegen, aber deren Spin im Gegensatz zu den Baryonen Null ist. Zu den Mesonen gehören z. B. die Pionen und K-Mesonen. →[Elementarteilchen](#)

## Messstelle, behördlich bestimmte

Von der nach Landesrecht zuständigen Behörde bestimmte Inkorporationsmessstelle, die für die Ermittlung der Körperdosis nach § 41 StrlSchV autorisiert ist; sie unterliegt der Aufzeichnungs- und Mitteilungspflicht nach § 43 StrlSchV und hat nach § 112 StrlSchV die Überwachungsdaten beim Strahlenschutzregister des BfS zu melden.

## Messwert

Jeder Messwert ist ein Schätzwert des wahren Werts einer Messgröße und mit Messunsicherheiten behaftet. In der Praxis wird der Messwert, der mit einer besonders qualifizierten Referenzmesseinrichtung ermittelt wurde, als richtiger Wert bezeichnet. Bei der Eichung oder Kalibrierung eines Strahlenmessgerätes wird der Messwert mit diesem richtigen Wert verglichen. Bei den Messunsicherheiten (Messfehlern) unterscheidet man →[statistische Messfehler](#) und →[systematische Messfehler](#).

## Metastabiler Zustand

Ein angeregter Atomkern geht in der Regel nach sehr kurzer Zeit ( $< 10^{-12}$  s) unter Aussendung eines Gammaquants in einen energetisch tiefer liegenden Zustand über. Dies kann in einem einmaligen Vorgang durch Übergang in den Grundzustand erfolgen oder auch in Stufen über dazwischen liegende Energieniveaus. Wenn ein vom Grundzustand verschiedener Anregungszustand eine deutlich längere Lebensdauer hat, spricht man von einem metastabilen Zustand, die Radionuklide in diesen Zuständen heißen →[Isomere](#).

## Methan-Durchflusszählrohr

Proportionalzählrohr zur empfindlichen Alpha- und Beta-Messung; das Zählgas fließt in stetigem Strom durch das Zählrohr und wird damit ständig erneuert. Das Zählrohr kann mit einem Eintrittsfenster versehen sein oder ohne Fenster offen betrieben werden (günstig für Alpha-Messungen).

## MeV

Kurzzeichen für Megaelektronvolt,  $1.000.000 \text{ eV} = 10^6 \text{ eV}$ ; →[Vorsilben für Maßeinheiten](#)

## Mikrocurie ( $\mu\text{Ci}$ )

1  $\mu\text{Ci}$  = 1/1.000.000 Ci =  $10^{-6}$  Ci →Curie, →Vorsilben für Maßeinheiten

## Mikrotron

Kreisbeschleuniger für Elektronen, bei dem die Beschleunigung in einem Hohlraumresonator in einem Hochfrequenzfeld erfolgt; Außerhalb des Hohlraumresonators werden die Elektronen durch ein homogenes Magnetfeld auf eine Kreisbahn gezwungen und in den Hohlraumresonator zurückgeführt, in dem erneut eine Beschleunigung erfolgt. Da Elektronen unterschiedlicher Energie auf getrennten Kreisbahnen umlaufen, können energiescharfe Elektronenstrahlen extrahiert werden.

Lit.: VOG04

## Millicurie (mCi)

1 mCi = 1/1.000 Ci =  $10^{-3}$  Ci. →Curie, →Vorsilben für Maßeinheiten

## Millirem (mrem)

1 mrem = 1/1.000 rem = 0,01 Millisievert (mSv). →Rem, →Vorsilben für Maßeinheiten

## Mineral- und Tafelwasserverordnung (MTVO)

Die Verordnung gilt für das Herstellen, Behandeln und Inverkehrbringen von natürlichem Mineralwasser, von Quellwasser und Tafelwasser sowie von sonstigem in zur Abgabe an den Verbraucher bestimmten Fertigpackungen abgefülltem Trinkwasser. Sie gilt nicht für Heilwasser.

Im Hinblick auf den Strahlenschutz enthält sie Grenzwerte für die Aktivitätskonzentrationen von Ra-226 (125 mBq/l) und Ra-228 (20 mBq/l), die sich auf die Herstellung von Säuglingsnahrung mit diesem Wasser beziehen. Unter Ansatz jeweils eines der beiden Grenzwerte wird der Dosisgrenzwert von 0,1 mSv/a aus der →Trinkwasserverordnung ausgeschöpft. Bei Vorliegen beider Nuklide ist daher die gewichtete Summe zu betrachten.

In der Praxis hat sich gezeigt, dass noch weitere Nuklide maßgeblich zur Dosis beitragen können, insbesondere Po-218 und Pb-218.

Lit.: MTVO, FLE06

## Minimierungsgebot

Die deutsche Strahlenschutzverordnung fordert in § 6 Abs. 2, jede Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten. Diese Forderung wird im Strahlenschutz verkürzt Minimierungsgebot genannt, manchmal auch Dosisreduzierungsgebot (wegen des Titels von § 6: Vermeidung unnötiger Strahlenexposi-

tion und Dosisreduzierung) und ist eine der drei Grundpflichten im Strahlenschutz (neben dem →[Rechtfertigungsgebot](#) und der →[Dosisbegrenzung](#)).

Die Umsetzung dieser Forderung im praktischen Strahlenschutz ist nicht trivial, da es in Deutschland keinen Maßstab für die Verhältnismäßigkeit gibt. International gibt es diverse Ansätze dafür, wie viel eine Dosisersparnis „kosten“ darf. Die genannten monetären Gegenwerte für die Strahlenexposition von 1 Sv schwanken allerdings sehr stark. Neben den finanziellen Kosten für dosiseinsparende Maßnahmen sind zusätzliche andere Faktoren bei der Beurteilung der Verhältnismäßigkeit zu berücksichtigen: z.B. maximale Individualdosen, Dosisverteilung in der exponierten Personengruppe, Kollektivdosen.

## **Mischoxid**

Oxidischer Kernbrennstoff aus einer Mischung der Oxide von Uran und Plutonium (MOX).

## **Mittelwertmesser**

Gerät zur Anzeige der im zeitlichen Durchschnitt vorhandenen Impulsrate eines Zählgerätes.

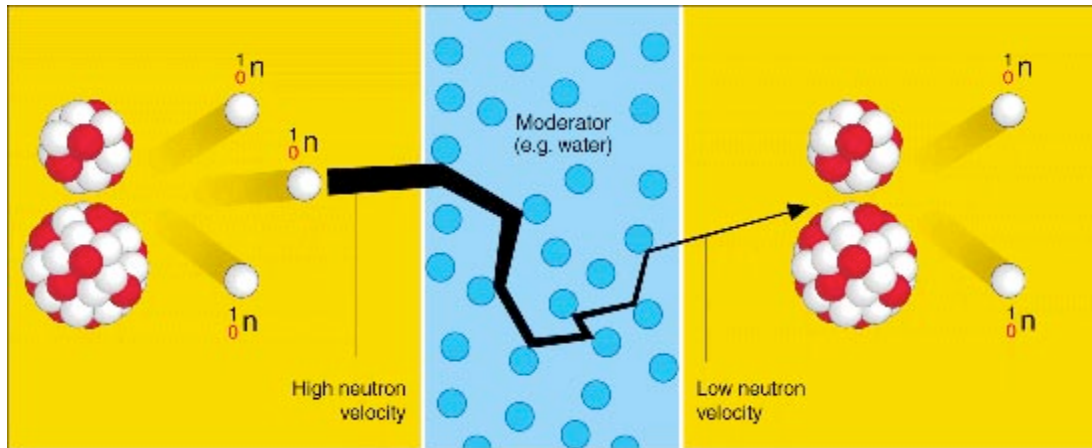
## **Mittlere Lebensdauer**

→[Lebensdauer, mittlere](#)

## **Moderator**

Material, mit dem schnelle Neutronen auf niedrige Energien "abgebremst" werden; Moderatoren werden in Kernreaktoren eingesetzt, da bei niedrigen Neutronenenergien die Spaltung der U-235-Kerne mit höherer Ausbeute verläuft, oder in Neutronenmessgeräten, wenn der Detektor auf langsame Neutronen anspricht. Die Moderierung soll dabei durch Stöße ohne merkliche Absorptionsverluste erfolgen.

In Kernreaktoren werden u. a. leichtes Wasser, schweres Wasser und Graphit als Moderatoren verwendet. Die bei der Kernspaltung entstehenden energiereichen Neutronen mit Energien im Bereich von 1 MeV werden auf niedrigere Energien im Energiebereich der thermischen Neutronen (0,025 eV) (→[Neutronen, thermische](#)) gebracht.



Modelldarstellung der Wirkung eines Moderators

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie

[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Moderierung

→Moderator

## Molekularsieb

Molekularsieb ist die Bezeichnung für Materialien, die aufgrund ihrer gleichmäßigen porösen Struktur in der Lage sind, Gase, Dämpfe, Aerosole oder gelöste Stoffe (in Flüssigkeiten) festzuhalten. In der Praxis werden in der Regel →Zeolithe als Molekularsiebe eingesetzt. Je nach Verwendungszweck kann die Porengröße durch Behandlung des Zeoliths eingestellt werden, wobei der Porendurchmesser in der Größenordnung der Molekülabmessungen liegt. Im Strahlenschutz werden Molekularsiebe zur Rückhaltung luftgetragener Aktivität in der Messtechnik eingesetzt. Belastete Molekularsiebe könne durch Erhitzen auf 350 – 400 °C regeneriert werden.

## Molekül

Eine durch Wechselwirkung der Atomhüllen zusammengehaltene Atomgruppe; die Atome des Moleküls können identisch ( $H_2$ ,  $N_2$ ,  $S_2$ ) oder verschieden sein ( $H_2O$ ,  $CO_2$ ).

## Monazit

Gelbes bis rotbraunes Mineral; Monazit ist Cerphosphat, es enthält häufig weitere Seltene Erden wie auch Thorium und kann dadurch eine relativ hohe natürliche Radioaktivität aufweisen.

## Monitor

Im Strahlenschutz ein Gerät zur Überwachung ionisierender Strahlung oder der Aktivitätskonzentration radioaktiver Stoffe (z. B. in Luft oder Wasser), das eine Warnung bei Überschreitung bestimmter, einstellbarer Grenzwerte abgibt; ein Monitor dient auch zur quantitativen Messung.

## Monoenergetische Strahlung

Strahlung, deren Strahlungsteilchen praktisch alle die gleiche Energie aufweisen; bei Korpuskularstrahlung ist hierbei die kinetische Energie maßgeblich.

## Monte-Carlo-Methode

Statistisches Rechenverfahren, z. B. zur Berechnung der Neutronenflussverteilung bei Abbrand- und Abschirmrechnungen; dabei wird die Lebensgeschichte einzelner Neutronen auf der Basis zufälliger (statistisch ausgewählter) Verhaltensweisen durchgerechnet, bis sich aus hinreichend vielen Einzelverläufen (Einzelschicksalen) wieder zahlenmäßige Mittelwerte für den Neutronenfluss an den betrachteten Stellen ergeben. Der an sich einfache Rechengang erfordert jedoch hohen Rechenaufwand, da zur Erzielung einer hinreichenden Genauigkeit eine sehr große Anzahl von Einzelschicksalen durchgerechnet werden muss oder aufwändige, Varianzreduzierende Rechenverfahren angewendet werden müssen.

## MOSFET

Abk. für **Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor**; der MOSFET ist ein Transistor, der auf den drei Stoffen Metall, Oxid und Halbleiter aufbaut und induktiv (Feldeffekt) gesteuert wird. Er kann als Grundelement eines Detektors für ionisierende Strahlung verwendet werden, indem man die Veränderung seiner elektrischen Eigenschaften zur Dosismessung nutzt. Er wird z.B. eingesetzt in den so genannten →[DIS-Detektoren](#). (Lit.: VOG04)

## MOX

Abk. für →[Mischoxid](#)

## MPG

Abk. für →[Max-Planck-Gesellschaft](#) e.V., München.

## mrem

Kurzzeichen für Millirem,  $1 \text{ mrem} = 10^{-3} \text{ rem}$ . →[Rem](#), →[Vorsilben für Maßeinheiten](#)

## MTR

Abk. für **Materials Testing Reactor**; Reaktor zur Materialuntersuchung mit hoher Neutronenflussdichte.

## MTVO

Abk. für →[Mineral- und Tafelwasserverordnung](#)

## $m_u$

Einheitenzeichen für die →[atomare Masseneinheit](#)



## MUF

Abk. für **material unaccounted for** (nicht nachgewiesenes Material); Begriff aus dem Bereich der Kernmaterialüberwachung. MUF ist die Differenz zwischen dem realen Bestand und dem Buchbestand an Kernmaterial.

## Multiplikationsfaktor

Der Multiplikationsfaktor  $k$  gibt die mittlere Zahl der Kernspaltungen in der Folgegeneration an, die durch eine Kernspaltung in der vorangegangenen Generation ausgelöst wird. Er ist damit das Verhältnis der Neutronenzahl in einer Neutronengeneration zur Neutronenzahl in der unmittelbar vorhergehenden Generation.  $k$  ist unter anderem abhängig von Art, Zusammensetzung, Dichte und Geometrie des Spaltstoffs.

→**Kritikalität** tritt bei  $k=1$  ein.

## Mutation

Veränderung der genetischen Information; die Mutation kann ein Gen (Genmutation), ein Chromosom (Chromosomenmutation) oder das ganze Genom (Genommutation) betreffen. Mutationen können z.B. durch Strahlung oder Chemikalien ausgelöst werden. Es gibt aber auch spontane Mutationen, die ohne erkennbaren Grund auftreten. Mutationen können, müssen aber nicht zu makroskopischen Schäden führen.

Mutationen an Körperzellen (somatische Mutation) können zu Fehlfunktionen der Zelle oder zu deren Absterben führen. Eine wesentliche Fehlfunktion ist die unkontrollierte Zellteilung (Krebs).

Mutationen in Keimzellen (Ei- oder Samenzellen) wirken sich auf die Nachkommen aus. Bei einer dominant vererbten Mutation erscheint das entsprechende Merkmal unmittelbar in der nächsten Generation. Eine rezessiv vererbte Mutation wird in der Nachkommenschaft erst dann erscheinen, wenn die gleiche Mutation in den Erbanlagen beider Elternteile erscheint. Mutationen in Keimzellen können auch zu Erbkrankheiten führen. Beispiele dafür sind Mongolismus, Trübung der Augenlinse und Zuckerkrankheit.

Als Bewertungsmaßstab für das strahlengenetische Risiko wird häufig die Verdopplungsdosis herangezogen. Dies ist die Dosis, die ebenso viele Mutationen hervorruft wie spontan auftreten.

## Mutternuklid

Radioaktives Nuklid, aus dem ein Nuklid (Tochternuklid) hervorgegangen ist; z. B. zerfällt Po-218 (Mutternuklid) zu Pb-214 (Tochternuklid).

## MWd

Kurzzeichen für Megawatt-Tag (Energieeinheit);  $1 \text{ MWd} = 24.000 \text{ kWh}$ . Bei vollständiger Spaltung von  $1 \text{ g U-235}$  wird eine Energie von etwa  $1 \text{ MWd}$  frei. Diese Energie darf nicht mit dem totalen Energieinhalt von  $1 \text{ g U-235}$ , verwechselt werden, der sich nach Einstein aus der Beziehung  $E = m c^2$  ergibt. Diese ist etwa 1000mal höher.

Grund: Die →**Ruheenergien** der Spaltprodukte bleiben energetisch als Masse erhalten.

## Myokardszintigraphie

Nuklearmedizinisches Untersuchungsverfahren; es dient zur Untersuchung der Durchblutungsverhältnisse und Funktion des Herzmuskels.

## Myon

Elektrisch geladenes, instabiles →[Elementarteilchen](#) mit einer Ruheenergie von 105,658 MeV, das entspricht dem 206,768fachen der Ruheenergie eines Elektrons. Das Myon hat eine mittlere Lebensdauer von  $2,2 \cdot 10^{-6}$ s. Das Myon gehört zur Elementarteilchengruppe der Leptonen.

## μCi

Kurzzeichen für Mikrocurie;  $1\mu\text{Ci} = 10^{-6} \text{ Ci}$ . →[Curie](#), →[Vorsilben für Maßeinheiten](#)

# N

## Nachforschungsschwelle (NFS)

Begriff aus der Inkorporationsüberwachung; die NFS ist eine Dosis, oberhalb derer bei der Inkorporationsüberwachung die tatsächlichen Inkorporationsbedingungen (soweit bekannt) bei der Ermittlung der Körperdosis herangezogen werden. Unterhalb der Nachforschungsschwelle wird die Körperdosis mit dem →[Referenzverfahren](#) berechnet. Die NFS beträgt 6 mSv im Kalenderjahr für die effektive Dosis oder 30 % der Jahresgrenzwerte für die Organdosis, wenn letztere grenzwertbestimmend ist.

## Nachleistung

Thermische Leistung eines Reaktors, die sich aus der →[Nachwärme](#) im abgeschalteten Reaktor ergibt.

## Nachwärme

Durch den Zerfall radioaktiver Spaltprodukte in einem Kernreaktor nach Abschalten des Reaktors - Beenden der Kettenreaktion - weiterhin erzeugte Wärme; die Nachwärme beträgt in den ersten Sekunden nach dem Abschalten noch etwa 5% der Leistung vor dem Abschalten. Die Nachwärme von Brennelementen beträgt nach drei Jahren Abklingzeit etwa 2 kW je Tonne Kernbrennstoff, d. h. etwa 1 kW je Brennelement eines Druckwasserreaktors.

## Nachweisgrenze

Auf der Basis statistischer Verfahren festgelegter Kennwert zur Beurteilung der Nachweismöglichkeit einer Messeinrichtung; in Strahlenschutz in der Regel für Strahlungsmessungen. Der Zahlenwert der Nachweisgrenze gibt an, welcher kleinste Beitrag mit dem betrachteten Messverfahren bei vorgegebener Fehlerwahrscheinlichkeit noch nachgewiesen werden kann. Als Fehlerwahrscheinlichkeit wird häufig 5 % akzeptiert (→[Normalverteilung](#)). Damit kann eine Entscheidung getroffen werden, ob ein Messverfahren bestimmten Anforderungen genügt und damit für den gegebenen Messzweck geeignet ist. →[Erkennungsgrenze](#)

Beispiele für zu erreichende Nachweisgrenzen aus der Richtlinie für die Umweltüberwachung von Kernkraftwerken:

<b>Gamma-Ortsdosis:</b>	<b>0,1 mSv/Jahr</b>
<b>Aerosole*:</b>	<b>0,4 mBq/m<sup>3</sup></b>
<b>Niederschlag*:</b>	<b>0,05 Bq/l</b>
<b>Bewuchs*:</b>	<b>0,5 Bq/kg</b>
<b>pflanzliche Nahrungsmittel*:</b>	<b>0,2 Bq/kg</b>
<b>pflanzliche Nahrungsmittel, Sr-90:</b>	<b>0,04 Bq/kg</b>
<b>Milch, I-131:</b>	<b>0,01 Bq/l</b>

Beispiele für zu erreichende Nachweisgrenzen aus der Richtlinie für die Umweltüberwachung von Kernkraftwerken

\*durch Gammaskpektrometrie ermittelte Aktivität einzelner Radionuklide, Nachweisgrenze bezogen auf Co-60

Lit.: VOG04, FS99, DIN 25482 (→[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

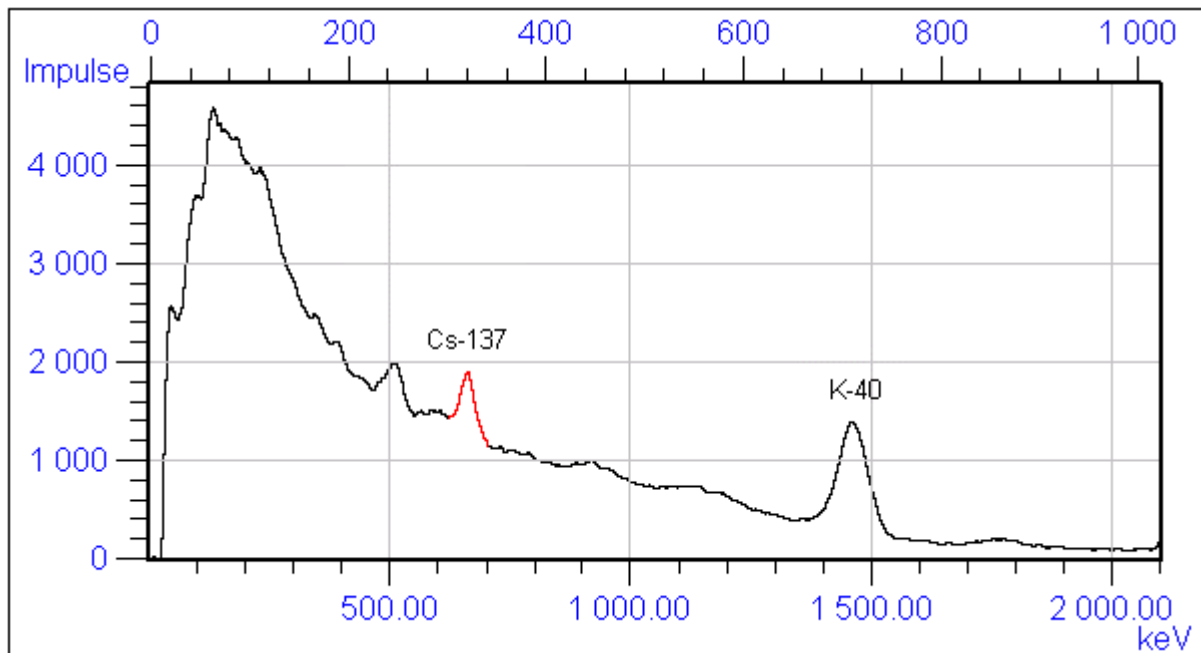
## Nachweisgrenze, dosimetrische

Begriff aus der Inkorporationsüberwachung; die dosimetrische Nachweisgrenze ist ein Richtwert für die geforderte, messverfahrenbezogene Nachweisgrenze. Der Richtwert wird dabei aus dosimetrischen Vorgaben abgeleitet, z.B. aus Dosischwelle von 1 mSv für eine regelmäßige Inkorporationsüberwachung.

## Nal-Detektor

Photonenempfindlicher Szintillationsdetektor; der anorganische Szintillatorkristall besteht aus Natriumiodid, das mit Thallium dotiert ist -NaI(Tl) -, um die Szintillationszentren zu bilden. Entwickelt wurde dieser Detektortyp 1950 von →[Robert Hofstadter](#) und J.A. MacIntyre.

Das Spektrum des Nal-Detektors weist gegenüber Halbleiterdetektoren breitere Linien auf, was eine geringere Energieauflösung bewirkt. Vorteilhaft ist dagegen seine vergleichsweise hohe Effizienz. Die Linienverbreiterung ist vornehmlich auf die statistischen Schwankungen bei der Auslösung des Szintillationslichtes und der nachfolgenden Verstärkung im Sekundärelektronenvervielfacher zurückzuführen. Die Linien sind einem Untergrund überlagert, der dadurch entsteht, dass einige Photonen nicht ihre gesamte Energie im Detektor in Szintillatorlicht umsetzen, sondern vorher den Szintillator wieder verlassen.



Beispiel für ein NaI-Spektrum einer Wasserprobe; die Probe enthält neben Cs-137 natürliche Radionuklide, von denen K-40 am Spektrumsende deutlich zu erkennen ist.

Quelle: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrologie

## Nasslager

Lagerung bestrahlter Brennelemente in Wasserbecken zur Kühlung und Abführung der durch den radioaktiven Zerfall in den Brennelementen entstehenden →[Nachwärme](#). Im Gegensatz dazu bezeichnet man die Lagerung von bestrahlten Brennelementen ohne Wasser zur Kühlung als Trockenlagerung (→[Trockenlager](#)).

## Natürliche radioaktive Stoffe

Radioaktive Stoffe, deren Radioaktivität nicht durch menschlichen Einfluss erzeugt wurde → [Radioaktivität, natürliche](#)

## Natürliche Strahlenexposition

→[Strahlenexposition, natürliche](#)

## Natururan

Uran in der Isotopenzusammensetzung, in der es in der Natur vorkommt; Natururan ist ein Gemisch aus Uran-238 (99,2739%), Uran-235 (0,7205%) und einem sehr geringen Prozentsatz Uran-234 (0,0056%).

## nCi

Kurzzeichen für Nanocurie,  $1 \text{ nCi} = 10^{-9} \text{ Ci}$ , →[Curie](#); →[Vorsilben für Maßeinheiten](#)

## NCRP

Abk. für **N**ational **C**ouncil on **R**adiation **P**rotection and **M**easurements; der NCRP ist ein 1964 vom US amerikanischen Kongress berufenes Beratungsorgan in Sachen Strahlenschutz. Es soll unabhängige wissenschaftliche Analysen erstellen, informieren und Empfehlungen abgeben. Dabei soll sich der NCRP auf einen breiten wissenschaftlichen Konsens stützen. Internet: [www.ncrponline.org](http://www.ncrponline.org)

## NEA

Abk. für **N**uclear **E**nergy **A**gency; Kernenergie-Agentur der OECD. Die NEA hat ihren Sitz in Issy-les-Moulineaux, Frankreich.

## Nebelkammer

Gerät, das die Bahnen elektrisch geladener Teilchen sichtbar macht; es besteht aus einer Kammer, die mit übersättigtem Dampf gefüllt ist. Durchqueren geladene Teilchen die Kammer, hinterlassen sie eine Nebelspur. Die Bahnspur ermöglicht eine Analyse der Bewegungen und Wechselwirkungen der Teilchen. →[Blaskammer](#), →[Funkenkammer](#)

## Nenn-Energie

Energiebegriff für Elektronenstrahlung aus Elektronenbeschleunigern; die Nenn-Energie ist der gerundete Wert der wahrscheinlichsten Energie der Elektronen unmittelbar nach Passieren des Elektronenstrahl-Austrittsfensters (DIN 6814.2 →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Neoplasmatiscbe Zelltransformation

Veränderung von Zellverbänden in Richtung einer krankhaften Neubildung; unter Neoplasma wird die krankhafte Neubildung von Gewebe verstanden, eine Vorstufe des Krebs. Neoplasmatiscbe Zelltransformationen können durch ionisierende Strahlung erzeugt werden. In der Strahlenbiologie sind sie ein Endpunkt, der bei der Untersuchung der →[relativen biologischen Wirksamkeit](#) verschiedener Strahlenarten betrachtet wird.

## Neutrino

Elementarteilchen, das beim  $\beta^+$  - Zerfall neben dem Positron emittiert wird; das Neutrino hat wie das Antineutrino eine Ruhemasse, die nach den bisherigen Erkenntnissen Null ist. Die Forschungen auf diesem Gebiet sind allerdings noch nicht abgeschlossen. →[Elementarteilchen](#)

## Neutron

Ungeladenes →[Elementarteilchen](#) mit einer Masse von  $1,67492716 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,00867 m_u$  und damit geringfügig größerer Masse als die des Protons; das freie Neutron ist instabil und wandelt sich nach einer mittleren Lebensdauer von ca. 15 Minuten durch  $\beta^-$ -Zerfall in ein Proton um.

## Neutron, langsames

Nach DIN 6814-2 ([→DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)) ein Neutron mit einer kinetische Energie  $E \leq 0,5 \text{ eV}$ . [→Neutronen, thermische](#)

## Neutron, mittelschnelles

Mittelschnelle oder intermediäre Neutronen haben eine kinetische Energie, die größer als die eines langsamen Neutrons, jedoch kleiner als die eines schnellen Neutrons ist; nach DIN 6814-2 ([→DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)) liegt die Neutronenenergie im Bereich zwischen 0,5 eV und 10 keV.

## Neutron, schnelles

Neutron mit einer kinetischen Energie von mehr als 10 keV bis 20 MeV.

## Neutronen, epithermische

Neutronen, deren kinetische Energieverteilung die der thermischen Bewegung überschreitet. [→Neutronen, thermische](#)

## Neutronen, hochenergetische

Neutronen mit einer kinetischen Energie  $> 20 \text{ MeV}$

## Neutronen, prompte

Neutronen, die unmittelbar (innerhalb etwa  $10^{-14} \text{ s}$ ) bei der Kernspaltung emittiert werden; im Gegensatz zu verzögerten Neutronen, die Sekunden bis Minuten nach der Spaltung von Spaltprodukten ausgesandt werden. Prompte Neutronen machen mehr als 99% der Spaltneutronen aus.

## Neutronen, thermische

Neutronen im thermischen Gleichgewicht mit dem umgebenden Medium; ihre Energieverteilung zeigt ein Maxwell-Spektrum mit der mittleren Energie  $kT$ . Thermische Neutronen haben bei 293,6 K (20 °C) eine wahrscheinlichste Neutronengeschwindigkeit von 2.200 m/s, das entspricht einer Energie von 0,0253 eV. Schnelle Neutronen, wie sie bei der Kernspaltung entstehen, werden durch Stöße mit den Atomen des Moderatormaterials (üblicherweise Wasser, [→schweres Wasser](#) oder Graphit) auf thermische Energie abgebremst, sie werden 'thermalisiert'.

## Neutronen, verzögerte

Neutronen, die bei der Kernspaltung nicht unmittelbar, sondern als Folge einer radioaktiven Umwandlung von Spaltprodukten verspätet entstehen; weniger als 1% der bei der Spaltung auftretenden Neutronen sind verzögert. [→Neutronen, prompte](#)

## Neutronenaktivierungsanalyse

[→Aktivierungsanalyse](#)



## Neutronendichte, Neutronenzahldichte

Verhältnis der Anzahl freier Neutronen in einem Raumbereich und dem Volumen dieses Raumbereichs.

## Neutroneneinfang

Absorption eines Neutrons mit anschließender Gammaemission; Reaktionssymbol:  $(n, \gamma)$

## Neutronenflussdichte

Produkt aus Neutronendichte und mittlerer Geschwindigkeit der Neutronen. Maßeinheit:  $\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ .

## Neutronengenerator

Vorrichtung zur Erzeugung freier Neutronen; in einem Neutronengenerator werden geladene Teilchen beschleunigt und auf ein Target geschossen, wobei eine Neutronen-erzeugende Kernreaktion stattfindet. Eine typische Kombination ist der Beschuss eines Tritium-haltigen Targets mit Deuteronen. Die Kernreaktion  $T(d, n)\alpha$  liefert die gewünschten Neutronen. Neben der Aktivierung durch Neutronen und der Abschirmung der Primär- und Sekundärstrahlung ist hierbei bezüglich des Strahlenschutzes bei Wartungsarbeiten zu beachten, dass beim Betrieb des Generators Tritium freigesetzt werden kann.

Die  $\rightarrow$ Aktivierung der Strukturmaterialien kann bei hohen Neutronenflüssen so erheblich sein, dass sie bei der Auslegung der Abschirmung berücksichtigt werden muss.

## Neutronenquelle

Vorrichtung zur Erzeugung freier Neutronen; in der Praxis wird häufig eine Mischung aus einem radioaktiven Stoff und einer Substanz gewählt, die unter dem Einfluss der radioaktiven Strahlung Neutronen emittiert. Ein Beispiel dafür ist die Kernreaktion  $\text{Be-9} + \alpha = \text{C-12} + n$ . Be-9 fängt ein Alphateilchen ein und bildet einen kurzlebigen Zwischenkern C-13, der unter Aussendung eines Neutrons in C-12 übergeht. Als Alphastrahler kommen in der Praxis verschiedene radioaktive Substanzen zum Einsatz, z.B. Ra-226 oder Am-241. Das Energiespektrum der Neutronen reicht bis zu Neutronenenergien von etwa 12 MeV bei einer mittleren Energie von 4 – 5 MeV.

Weniger häufig sind Neutronenquellen, die auf einer Gammaeinfangreaktion beruhen, z.B.  $\text{Be-9} + \gamma = n + 2\alpha$ . Hier wird der Be-9-Kern durch den Einfang eines Gammaquants hoch angeregt und wandelt sich unter Emission eines Neutrons in einen Be-8-Kern um, der nach kurzer Zeit in 2 Alphateilchen zerfällt. Die dabei entstehenden Neutronen sind nahezu mononergetisch. Als Gammaemitter wird in der Praxis z.B. Sb-124 verwendet.

Ein anderer Quellentyp verwendet Materialien, die sich unter Neutronenemission spontan spalten. Beispiel: Cf-252, Halbwertszeit 2,65 Jahre. Dieser Typ wird als Punktquelle mit hoher Neutronenausbeute genutzt.

Für den Strahlenschutz ist neben der Neutronenstrahlung die bei diesen Quellen häufig auftretende hohe Gamma-Begleitstrahlung von Bedeutung.

## Neutronenstrahlung

Neutronenstrahlung ist im praktischen Strahlenschutz bei Umgang mit →**Neutronenquellen**, beim Betrieb von →**Beschleunigern** und →**Reaktoren** sowie im Kernbrennstoffkreislauf von Bedeutung. Bei Beschleunigern entsteht Neutronenstrahlung durch Kernreaktionen des primär erzeugten Teilchenstrahls oder erzeugter Sekundärstrahlung mit Materie (Target oder Beschleunigerkomponenten). Bei Elektronenbeschleunigern ist der Kernphotoeffekt der Bremsstrahlung die Hauptquelle. Bei Ionenbeschleunigern oder Protonenbeschleunigern sind Kernreaktionen im Target die Hauptquelle für Neutronen. Dabei werden Neutronen mit hohen Energien vorzugsweise durch Kernreaktionen mit leichten Kernen erzeugt und Neutronen mit niedrigen Energien durch Kernreaktionen mit schweren Kernen.

Neutronen wechselwirken in Materie nur mit den Atomkernen. Als Wechselwirkungsprozesse sind elastische und inelastische Streuung, Absorption, Mehrteilchenprozesse, Kernspaltung und Spallation von Bedeutung.

Bei der elastischen Streuung (Stoß) findet nur ein Übertrag von kinetischer Energie auf den Stoßpartner statt. Der Energieübertrag ist am größten, wenn der Stoßpartner die gleiche Masse hat. Zur Abbremsung von Neutronen eignen sich deshalb besonders leichte Materialien (Wasser, wasserstoffhaltige organische Verbindungen).

Bei der inelastischen Streuung wird der gestoßene Kern auch angeregt und geht danach unter Aussendung eines Gammaquants in den Grundzustand über. Inelastische Streuungen haben eine hohe Wahrscheinlichkeit bei hohen Neutronenenergien und schweren Stoßpartnern.

Bei der Absorption wird das Neutron von einem Atomkern absorbiert, der dadurch angeregt wird und unter Gammaemission in den Grundzustand übergeht (Einfang-Gammastrahlung) oder seine Energie durch Emission eines geladenen Teilchens verringert. Bei hoch angeregten Atomkernen können auch mehrere Teilchen emittiert werden (Mehrteilchenprozess) oder der Kern gespalten werden (Kernspaltung). In besonderen Fällen zersplittert der Kern in viele Teile. Dann spricht man von Spallation.

Im Strahlenschutz werden die Neutronen aufgrund ihrer unterschiedlichen Wechselwirkungen in vier Energiegruppen eingeteilt.

Hochenergetische Neutronen:  $E > 20 \text{ MeV}$ , Mehrteilchenprozesse wahrscheinlich  
schnelle Neutronen:  $10 \text{ keV} \dots 20 \text{ MeV}$ , unelastische Stöße wahrscheinlich  
intermediäre Neutronen:  $0,5 \text{ eV} \dots 10 \text{ keV}$ , überwiegend elastische Stöße  
langsame Neutronen:  $E < 0,5 \text{ eV}$ , hohe Absorptionswahrscheinlichkeit

## Nichtverbreitungsvertrag (NPT)

Ziel des internationalen Vertrages über die Nichtverbreitung von Kernwaffen und der daraus resultierenden Kernmaterialüberwachung ist die rechtzeitige Entdeckung der Abzweigung von Kernmaterial für eine Herstellung von Kernwaffen bzw. die Abschreckung vor einer solchen Abzweigung durch das Risiko der Entdeckung. Die entsprechenden Überwachungen werden in Deutschland von Euratom und der Internationalen Atomenergie-Organisation durchgeführt.

## NORM

Abk. für **N**aturally **O**ccurring **R**adioactive **M**aterial; die Abkürzung wird auch in Deutschland für natürliche radioaktive Stoffe verwendet. Siehe auch →[TENORM](#)

## Normalbetrieb

Anlagezustand innerhalb festgelegter Betriebsgrenzen und gemäß geltender Vorschriften; für Kernkraftwerke gehört dazu der Voll-/Teillastbetrieb, das An-/Ab-fahren, der Stillstand sowie Prüfung/Inspektion, Instandhaltung und Brennstoffwechsel.

Der Normalbetrieb grenzt sich ab vom gestörten Betrieb (→[Betriebsstörung](#)) und vom →[Störfall](#).

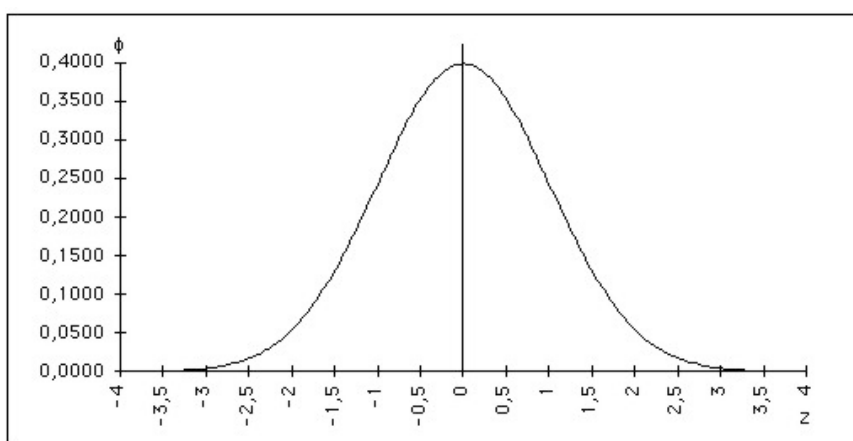
## Normalstrahlung

Begriff aus der Röntgentechnik; Normalstrahlung ist eine heterogene Röntgenstrahlung, die so gefiltert wurde, dass ihre erste Halbwertschichtdicke ebenso groß ist wie die einer homogenen Röntgenstrahlung, deren Energie der halben Grenzenergie der heterogenen Röntgenstrahlung entspricht. (s. DIN 6814.2 →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Normalverteilung

Begriff aus der Statistik; die Normalverteilung beschreibt in guter Näherung die Häufigkeitsverteilung der Messwerte von Kernstrahlungsmessungen für den Fall, dass sehr viele Messungen der Messgröße vorgenommen werden (im Idealfall unendlich viele). Die Verteilung zeigt eine symmetrische Glockenkurve, deren Mittelwert als Erwartungswert  $E$  der Messgröße bezeichnet wird. Der Erwartungswert ist gleich dem wahren Wert der Messgröße, wenn neben den statistischen Messunsicherheiten keine systematischen Fehler auftreten.

Die Breite der Verteilungskurve beschreibt die statistische Streuung der Messwerte und wird durch die Standardabweichung  $\sigma$  beschrieben. Im Durchschnitt liegen 68,28 % der Messwerte im Intervall  $(E - \sigma, E + \sigma)$ . Außerhalb des Wertebereichs  $E \pm 2\sigma$  liegen nur noch 4,54 % und außerhalb des Wertebereichs  $E \pm 3\sigma$  nur noch 0,28 % aller Messwerte.



Standardisierte Normalverteilung mit dem Mittelwert  $E=Z=0$  und der Standardabweichung  $\sigma=1$

Anhand der Normalverteilung werden für die Messungen, z.B. typische Messungen im Strahlenschutz wie Aktivitätsmessungen, Vertrauensbereiche definiert, in denen der wahre Wert der Messung mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit (=Vertrauensniveau) enthalten ist. Üblich ist ein Vertrauensniveau von 95 % (Wahrscheinlichkeit = 0,95). Bei diesem Vertrauensniveau sind die Grenzen des Vertrauensbereichs gegeben durch  $E \pm 1,96 \sigma$ .

## Notkühlung

Kühlsystem eines Reaktors zur sicheren Abführung der Nachwärme bei Unterbrechung der Wärmeübertragung zwischen Reaktor und betrieblicher Wärmesenke; die Notkühlsysteme sind so ausgelegt, dass auch bei Verlust des Reaktorkühlmittels - z. B. bei doppelndigem Bruch einer Frischdampfleitung - der Reaktor gekühlt und die Nachzerfallswärme über Wochen hinweg abgeführt werden kann. Durch Mehrfachauslegung wird ein sehr hohes Maß an Funktionssicherheit erreicht. Auf diese Weise ist die Notkühlung selbst dann sichergestellt, wenn ein Systemteil ausfällt.

## Notstandssituation, radiologische

Situation im Sinne des Artikels 2 der Richtlinie 89/618/EURATOM vom 27. November 1989 (Richtlinie über die Unterrichtung der Bevölkerung über die bei einer radiologischen Notstandssituation geltenden Verhaltensmaßnahmen und zu ergreifenden Gesundheitsschutzmaßnahmen), die auf den Bevölkerungsgrenzwert von 5 mSv im Kalenderjahr der Richtlinie 80/836/EURATOM vom 15. Juli 1980 (Richtlinie des Rates vom 15. Juli 1980 zur Änderung der Richtlinien, mit denen die Grundnormen für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung und der Arbeitskräfte gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen festgelegt wurden) verweist.  
(Def. § 3 Abs.2 Nr.22 StrlSchV)

Eine Notstandssituation kann eintreten nach einem Unfall, der in signifikantem Maße zur Freisetzung von radioaktiven Stoffen führt oder führen kann bzw. nach der Feststellung anomaler Radioaktivitätswerte, die für die öffentliche Gesundheit in diesem Mitgliedstaat schädlich sein könnten.

Bei einer radiologischen Notstandssituation muss die tatsächlich betroffene Bevölkerung unverzüglich unterrichtet werden über

- die Einzelheiten der Notstandssituation,
- die für sie geltenden Verhaltensmaßnahmen,
- die zu ergreifenden Gesundheitsschutzmaßnahmen.

## NRC

Abk. für **Nuclear Regulatory Commission**, Rockville, Maryland; Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde für kerntechnische Anlagen in den USA.

## NTA

Abk. für **Nitrilo-Triacetic Acid** (Nitrilotriessigsäure); Komplexbildner, der zur Dekontamination von Materialoberflächen eingesetzt wird.

## Nukleares Ereignis

Entsprechend der Definition des Atomgesetzes wird damit jedes einen Schaden verursachende Geschehnis bezeichnet, sofern das Geschehnis, oder der Schaden von den radioaktiven Eigenschaften oder einer Verbindung der radioaktiven Eigenschaften mit giftigen, explosiven oder sonstigen gefährlichen Eigenschaften von Kernbrennstoffen oder radioaktiven Erzeugnissen oder Abfällen oder von den von einer anderen Strahlenquelle innerhalb der Kernanlage ausgehenden ionisierenden Strahlungen herrührt.

## Nuklearmedizin

Anwendung offener oder umschlossener radioaktiver Stoffe in der Medizin zu diagnostischen oder therapeutischen Zwecken; in der nuklearmedizinischen Diagnostik unterscheidet man Funktionsdiagnostik und Lokalisationsdiagnostik. →[Radiologie](#)

## Nukleon

Kernbaustein, gemeinsame Bezeichnung für Proton und Neutron.

## Nukleonenzahl

Anzahl der Protonen und Neutronen - der Nukleonen - in einem Atomkern; die Nukleonenzahl des U-238 ist 238 (92 Protonen und 146 Neutronen). Die Nukleonenzahl ist gleich der →[Massenzahl](#) A.

## Nuklid

Ein Nuklid ist eine durch seine Protonenzahl, Neutronenzahl und seinen Energiezustand charakterisierte Atomart. Zustände mit einer Lebensdauer von weniger als  $10^{-10}$  s werden angeregte Zustände eines Nuklids genannt. Die Anzahl der bekannten Nuklide steigt ständig. Zurzeit sind über 3000 verschiedene Nuklide bekannt, die sich auf die 114 zurzeit bekannten Elemente verteilen. Davon sind lediglich 237 Nuklide stabil, der Rest ist radioaktiv.

## Nuklidkarte

Graphische Darstellung der Nuklide unter Angabe der wesentlichen Daten über Zerfallsart, Halbwertszeit, Energien der emittierten Strahlung; üblicherweise dargestellt in einem rechtwinkligen Koordinatensystem mit der Ordnungszahl als Ordinate und der Neutronenzahl als Abszisse.

103	Lr		Lr 253 1,3 s	Lr 254 13 s	Lr 255 21,5 s	Lr 256 25,9 s	Lr 257 0,85 s	Lr 258 3,9 s	Lr 259 6,3 s	Lr 260 3 m
No	No 250 0,25 ms	No 251 0,8 s	No 252 2,3 s	No 253 1,7 m	No 254 5,38 s	No 255 3,1 m	No 256 2,91 s	No 257 26 s	No 258 1,2 ms	No 259 58 m
Md 248 7 s	Md 249 24 s	Md 250 52 s	Md 251 4,0 m	Md 252 2,3 m	Md 253 6 m	Md 254 19,4 s	Md 255 27 m	Md 256 1,30 h	Md 257 5,52 h	Md 258 37 m
Fm 247 3,3 s	Fm 248 36 s	Fm 249 2,6 m	Fm 250 1,8 s	Fm 251 5,30 h	Fm 252 25,39 h	Fm 253 3,0 d	Fm 254 3,24 h	Fm 255 20,1 h	Fm 256 100,5 d	Fm 257 100,5 d
Es 246 7,7 m	Es 247 4,55 m	Es 248 27 m	Es 249 1,70 h	Es 250 222 s	Es 251 33 h	Es 252 471,7 d	Es 253 20,47 d	Es 254 39,8 d	Es 255 39,8 d	Es 256 1,4 h
Cf 245 43,6 m	Cf 246 35,7 h	Cf 247 3,11 h	Cf 248 333,5 d	Cf 249 350,6 a	Cf 250 13,08 a	Cf 251 898 a	Cf 252 2,645 a	Cf 253 17,81 d	Cf 254 60,5 d	Cf 255 1,4 h
Bk 244 4,35 h	Bk 245 4,90 d	Bk 246 1,80 d	Bk 247 1,380 a	Bk 248 3,250 a	Bk 249 3,250 a	Bk 250 3,250 a	Bk 251 3,250 a			

Ausschnitt aus der "Karlsruher Nuklidkarte"

Auf folgenden Internetseiten finden sich Hinweise, Tabellen, Daten und Programme zu Atomen, Atomkernen und Nukliden:

Lawrence Berkeley National Laboratory (USA)

Lunds Universität (Schweden)

Korea Atomic Energy Research Institute: <http://kaeri.re.kr/ton/>

IAEO: <http://www-nds.iaea.org/nudat2/index.jsp>

## Nulleffekt

Anzahl der Impulse pro Zeit, die bei einem Strahlungsdetektor durch andere Ursachen als die zu messende Strahlung auftreten; der Nulleffekt (oder auch Untergrundzählrate) besteht im Wesentlichen aus der kosmischen Strahlung, aus der Strahlung der natürlichen Radionuklide der Erde, aus der Strahlung von Radionukliden in der Messanordnung und ggf. aus der Untergrundstrahlung aus anderen künstlichen Quellen in der Umgebung der Messanordnung.

Zur Ermittlung des Messergebnisses muss die Nulleffekt-Zählrate von der Bruttozählrate abgezogen werden. Dazu ist es vorteilhaft, den Nulleffekt in einer separaten Messung, ggf. über eine längere Zeit zu messen. Kann eine Veränderung des Nulleffektes nicht ausgeschlossen werden, muss die Ermittlung des Nulleffektes regelmäßig wiederholt werden.

Der Nulleffekt ist für die Nachweisempfindlichkeit der Messanordnung von entscheidender Bedeutung. So steigt z.B. bei Kontaminationsmessungen die kleinste nachweisbare Kontamination mit der Wurzel des Nulleffekts an (→ **Kontamination, kleinste nachweisbare**)

## Nulleffektzählrate

→ Nulleffekt

## **Nulleistungsreaktor**

Versuchsreaktor, der bei so niedriger Leistung betrieben wird, dass ein Kühlmittel nicht erforderlich ist.

## **Nutzstrahlung**

Die aus einer Strahlenquelle, z. B. einer Röntgenröhre, innerhalb des →**Strahlenfeldes** austretende Strahlung, die genutzt werden kann; sie wird normalerweise durch Blendenanordnungen auf die notwendige Größe begrenzt. Bei Afterloading-Einrichtungen ist die Nutzstrahlung die ionisierende Strahlung, die außerhalb des Applikators zur Anwendung vorgesehen und bereitgestellt wird.

Nach DIN 6814-2 (→**DIN-Normen zum Strahlenschutz**) gelten für verschiedene Strahlenarten folgende Definitionen:

Röntgenstrahlung: die am elektronischen Brennfleck emittierte Röntgenstrahlung

Gammabestrahlungseinrichtungen: Gammastrahlung des wesentlichen Nuklids und die Photonen-Streustrahlung innerhalb des Strahlenfeldes

Elektronenbeschleuniger im Röntgenbestrahlungsbetrieb: die im Targetsystem erzeugt und im Ausgleichsfilter geschwächte Bremsstrahlung und die Photonen-Streustrahlung innerhalb des Strahlenfeldes

Elektronenbeschleuniger im Elektronenbestrahlungsbetrieb: die im Scan- oder Streufiltersystem abgelenkten sowie in Luft gestreuten hochenergetischen Elektronen innerhalb des Strahlenfeldes



# O

## Oberflächen-Personendosis

Die Oberflächen-Personendosis  $H_p(0,07)$  ist die →**Äquivalentdosis** in 0,07 mm Tiefe im Körper an der Tragestelle des Personendosimeters. Sie ist bei Ganz- oder Teilkörperexpositionen ein Schätzwert für die Hautdosis und die Organdosis der Augenlinse. Die Maßeinheit der Oberflächen-Personendosis ist Sievert (Sv)

## Oberflächen-Personendosisleistung

Änderung der Oberflächen-Personendosis mit der Zeit (Differentialquotient):

$$\dot{H}_p(0,07) = \frac{dH_p(0,07)}{dt}$$

## Oberflächenansprechvermögen

Begriff aus der Messtechnik; →**Ansprechvermögen**

## Oberflächenkontamination

Verunreinigung von Oberflächen mit radioaktiven Stoffen; →**Kontamination**

## Oberflächenkontaminations-Messgeräte

Messgeräte zur Ermittlung der Oberflächenkontamination; diese Messgeräte zeichnen sich in der Regel durch große Zählrohrflächen aus. In der Praxis werden je nach Messzweck großflächige Proportionalzählrohre oder Szintillationsdetektoren eingesetzt. Die Proportionalzählrohre sind als flache Quader ausgeführt, bei denen der Zähldraht in der Mitte des Messvolumens mäanderartig angeordnet ist. Das Eintrittsfenster ist mit einer Folie abgedeckt, die für den Nachweis von Alphateilchen möglichst dünn sein müssen ( $< 1 \text{ mg/cm}^2$ ). Das Zählgas (z.B. ein Propan/Butan-Gemisch) muss dann regelmäßig erneuert werden (→**Großflächendurchflusszählrohr**). Zum Nachweis von Gammastrahlung ist ein Messgas mit hoher Ordnungszahl erforderlich (→**Xenon-Zählrohr**). Das Eintrittsfenster kann eine Massenbelegung von mehreren  $\text{mg/cm}^2$  aufweisen.

→**Großflächen-Szintillationsdetektoren** haben einen Festkörperszintillator (Plastikszintillator) als Detektor, der zur Vermeidung störender Lichteinflüsse ebenfalls mit einer Folie abgedeckt wird. Diese Plastikszintillatoren können sehr dünnschichtig hergestellt werden (Materialdicke  $< 1 \text{ mm}$ ).

Zur Messung der Oberflächenkontamination an Personen werden →**Hand-Fuß-Kleider-Monitore** oder →**Ganzkörpermonitore** eingesetzt.

## Oberflächenkontaminationsmessung

Die Oberflächenkontaminationsmessung erfolgt in der Regel mit Großflächenzählrohren. Je nach nachzuweisender Strahlenart muss ein geeigneter Detektor (Großflächendurchflusszählrohr, Xenon-Zählrohr, Szintillationszähler) ausgewählt werden. Vor und in regelmäßigen Abständen während längerer Messungen ist der Strahlungsuntergrund zu ermitteln und bei der Messung zu berücksichtigen (sofern dies vom Messgerät nicht automatisch geschieht). Dabei sind die örtlichen Gegebenheiten zu berücksichtigen (z.B. wird der Untergrund für eine Kontaminationsmessung an einer Betonwand oder Stahlfläche an einer gleichartigen, kontaminationsfreien Fläche ermittelt). Je nach erforderlicher Nachweisempfindlichkeit kann dynamisch oder statisch gemessen werden. Bei der dynamischen Messung muss die Überstreichgeschwindigkeit der eingestellten Zeitkonstante angepasst werden. Der Detektor sollte mindestens drei Zeitkonstanten über der Messfläche verweilen. Für besonders hohe Empfindlichkeit sind statische Messungen im Impulzbetrieb empfehlenswert.

Insbesondere bei Messungen in Außenbereichen muss die Temperatur- und Feuchteabhängigkeit des Messgeräts beachtet werden. Gasgefüllte Detektoren stoßen bei tiefen Temperaturen eher an ihre Grenzen als Szintillationsdetektoren.

## Oberflächensperrschicht-Detektor

→[Halbleiterdetektor](#), in der Regel aus n-leitendem Silizium, auf das an der Oberfläche eine dünne p-leitende Oxidschicht aufgebracht wird. Auf diese Oxidschicht ist eine dünne Goldschicht als Kontaktfläche und Eintrittsfenster aufgedampft. An die p- und n-leitende Schicht wird in Sperrrichtung eine Spannung angelegt (typischerweise einige 100 V), welche bewirkt, dass praktisch über die gesamte Detektordicke eine ladungsträgerfreie Zone entsteht, die als empfindliches Volumen für die ionisierende Strahlung wirkt. Das Eintrittsfenster (Goldfolie) ist sehr dünn (50 – 80 nm Si-äquivalent), so dass der Energieverlust von Partikelstrahlung im Eintrittsfenster gering ist. Si-Oberflächensperrschichtdetektoren eignen sich insbesondere zur Spektrometrie von geladener Partikelstrahlung ( $p$ ,  $e$ ,  $\alpha$ , Ionen). Die empfindlichen Schichtdicken liegen üblicherweise bei 100  $\mu\text{m}$  bis 2 mm, die Oberflächen können bis zu einigen 10  $\text{cm}^2$  groß sein. Die im Detektor erzeugten Ladungsträger werden in sehr kurzer Zeit gesammelt, so dass hohe Impulsraten detektiert werden können (bis ca.  $10^9$  Imp/s).

Verschmutzungen der Oberfläche sind zu vermeiden. Sie können zu Linienverbreiterungen durch erhöhte Absorption, aber auch zur Veränderung der Detektorcharakteristik führen. Wenn aufgrund der Einsatzbedingungen eine Dekontamination des Detektors erforderlich sein kann, sind spezielle abwischbare Detektoren zu verwenden, deren Eintrittsfenster jedoch eine größere Absorption aufweisen.

## Offene radioaktive Stoffe

Radioaktive Stoffe, die keine umschlossenen radioaktiven Stoffe sind, die also *nicht* von einer festen, inaktiven Hülle umschlossen oder in festen inaktiven Stoffen ständig so eingebettet sind, dass bei üblicher betriebsmäßiger Beanspruchung ein Austritt radioaktiver Stoffe verhindert wird. Zur Abgrenzung von umschlossenen radioaktiven Stoffen siehe auch § 3 Abs. 2 Nr. 29 StrlSchV (→[radioaktive Stoffe](#)). Beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen sind besondere Schutzmaßnahmen gegen →[Kontamination](#) und →[Inkorporation](#) erforderlich. Dazu enthält § 43 Abs.3 StrlSchV

besondere Anforderungen: Vorgeschrieben sind Schutzausrüstung und Schutzkleidung sowie eine angemessenen Verhaltensweise zur Vermeidung von Inkorporationen (→[Inkorporationsvermeidung](#)).

## Oklo

In der Uranlagerstätte Oklo/Gabun wurde im Jahre 1972 ein prähistorischer, natürlicher "Kernreaktor" entdeckt, der vor etwa 2 Mrd. Jahren in Betrieb war. In den vergangenen Jahren wurden in dieser Lagerstätte sechs weitere Orte entdeckt, an denen aufgrund des damals erhöhten U-235-Gehalts im Natururan eine sich selbst erhaltende Kettenreaktion stattgefunden haben muss. Heute ist dies am gegenüber „normalem“ Natururan verminderten U-235-Gehalt ersichtlich. Für die Stelle Oklo II errechnet sich aus der Abreicherung des Uran-235 infolge der Spaltung, dass mindestens 4 t U-235 gespalten und 1 t Pu-239 gebildet wurden und eine Wärmemenge von rund 100 Mrd. kWh entstand. Zum Vergleich: Im Reaktor eines Kernkraftwerks der 1.300 MW-Klasse werden pro Jahr etwa 30 Mrd. kWh Wärme durch Spaltung erzeugt.

## Öffentlicher Bereich

Im Strahlenschutz ein Bereich, zu dem der Zugang von Personen aus der Bevölkerung nicht kontrolliert wird (DIN 6814-5 →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)). Man unterscheidet überwachbare und nicht überwachbare öffentliche Bereiche.

Nicht überwachbare öffentliche Bereiche sind unzugängliche Bereiche, in denen die Wirksamkeit von Strahlenschutzmaßnahmen nicht nachgewiesen werden kann.

In überwachbaren öffentlichen Bereichen kann die Wirksamkeit von Strahlenschutzmaßnahmen nachgewiesen werden.

## Ökologie

Wissenschaft von den Beziehungen der Organismen zu ihrer Umwelt; sie erforscht besonders die Anpassungen der Lebewesen an ihre Daseinsbedingungen.

## Ökosystem

Räumliches Wirkungsgefüge aus Lebewesen und Umweltgegebenheiten, das zur Selbstregulierung befähigt ist.

## Operative Dosisgröße

In der Praxis verwendete Messgröße für die Dosis, das sind →[Ortsdosis](#) und →[Personendosis](#); diese Messgrößen sind Punktgrößen, d.h. sie sind an einem Punkt im Strahlenfeld definiert. Sie gelten bis zu einer bestimmten Dosischwelle als hinreichend genaue Abschätzung der Schutzgrößen „effektive Dosis“ oder „Organdosis“. Die operativen Dosisgrößen gehören zur Dosisart „Äquivalentdosis“.

## Optimierungsgebot

Die Optimierung der Strahlenschutzmaßnahmen leitet sich vom Grundsatz der Dosisminimierung oder Dosisreduzierung ab, welcher eine der drei Grundpflichten im Strahlenschutz darstellt. →[Minimierungsgebot](#)

## Optisch stimulierte Lumineszenz (OSL)

Im Kristallgitter nicht leitender Festkörper können ionisierende Strahlen Elektronen aus Bindungen lösen und auf „Zwischengitterplätze“ anheben, aus denen sie ohne Energiezufuhr von außen nicht mehr in ihren alten Bindungszustand zurückfallen können. Gelingt dies bei hinreichender Energiezufuhr von außen, wird Energie als Lumineszenzstrahlung abgegeben. Wenn die Energiezufuhr durch Bestrahlung mit sichtbarem Licht ausreicht, spricht man von optisch stimulierter Lumineszenz.

Optisch stimulierte Lumineszenz wird z.B. in der Geologie zur Altersbestimmung tief gelegener, d.h. vor Lichteinfall geschützter Sedimentschichten genutzt, wobei die Gitterschäden zuvor durch natürliche radioaktive Strahlung verursacht wurden. In der Messtechnik wird versucht, die OSL bei Personendosimetern zu nutzen (TU Dresden).

## Ordnungszahl

Die Ordnungszahl eines Atoms ist gleich der Anzahl der Protonen im Atomkern. Da bei einem neutralen Atom die Zahl der Elektronen in der Atomhülle gleich der Zahl der Protonen im Atomkern ist und die chemischen Eigenschaften des Atoms durch die Atomhülle bestimmt werden, ist jedes chemische Element durch seine Ordnungszahl bestimmt. Die Anordnung der Elemente nach steigender Ordnungszahl ist die Grundlage des Periodensystems der Elemente.

## Organdosis

Die Organdosis  $H_{T,R}$  ist das Produkt aus der über das Gewebe/Organ T gemittelten Energiedosis  $D_{T,R}$ , die durch die Strahlung R erzeugt wird, und dem →**Strahlungswichtungsfaktor**  $w_R$ .

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

Besteht die Strahlung aus Arten und Energien mit unterschiedlichen Werten von  $w_R$ , so werden die einzelnen Beiträge addiert. Für die Organdosis  $H_T$  gilt dann:

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

Die Organdosis ist eine Mittelwert-Größe, im Gegensatz zur Punktgröße Ortsdosis. In der Praxis wird das betreffende Organ, auf das sich die Dosis bezieht, benannt: Hautdosis, Lungendosis, Schilddrüsenedosis etc. Die Maßeinheit der Organdosis ist →**Sievert** (Sv).

## Organ-Folgedosis

Die Organ-Folgedosis  $H_T(\tau)$  ist das Zeitintegral der Organ-Dosisleistung im Gewebe oder Organ T, die eine Person infolge einer Inkorporation radioaktiver Stoffe zum Zeitpunkt  $t_0$  erhält:

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

$\dot{H}_T(t)$  mittlere Organ-Dosisleistung im Gewebe oder Organ T zum Zeitpunkt t  
 $\tau$  Zeitraum, angegeben in Jahren, über den die Integration erfolgt. Wird kein Wert für  $\tau$  angegeben, ist für Erwachsene ein Zeitraum von 50 Jahren und für Kinder ein Zeitraum vom jeweiligen Alter bis zum Alter von 70 Jahren zugrunde zu legen.

Die Maßeinheit der Organ-Folgedosis ist das →**Sievert** (Sv).

## Ortsdosis

Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einem bestimmten Ort. Die Ortsdosis bei durchdringender Strahlung ist die →**Umgebungsäquivalentdosis**  $H^*(10)$ , bei Strahlung geringer Eindringtiefe die →**Richtungsäquivalentdosis**  $H'(0,07,\Omega)$ . Die Ortsdosis ist bei durchdringender Strahlung ein Schätzwert für die effektive Dosis und die Organdosen tiefliegender Organe, bei Strahlung geringer Eindringtiefe ein Schätzwert für die Hautdosis einer Person, die sich am Messort aufhält.

## Ortsdosismessgerät

Aktives oder passives Messgerät zur Ermittlung der Äquivalentdosis an einem Punkt im Strahlenfeld; aktive Ortsdosismessgeräte sind in der Regel →**Ortsdosisleistungsmessgeräte**, die im Integrationsmodus betrieben werden, d.h. die Impulse werden aufsummiert und die Summe ist ein Maß für die Dosis. Passive Ortsdosismessgeräte sind Dosimeter, wie sie auch in der Personendosimetrie zum Einsatz kommen (Filmplaketten, Thermolumineszenz-Detektoren etc.). Passive Ortsdosimeter werden häufig zur Umgebungsüberwachung bei kerntechnischen Anlagen eingesetzt.

## Ortsdosisleistung

In einem Zeitintervall erzeugte Ortsdosis geteilt durch die Länge des Zeitintervalls; die Definition macht nur Sinn, wenn das Zeitintervall kompatibel ist mit den Zeitintervallen, die in Ortsdosisleistungsmessgeräten zur Integration verwendet werden. Die Definition einer Ortsdosisleistung ist z.B. unsinnig, wenn das Zeitintervall ein Jahr beträgt.

## Ortsdosisleistungsmessgerät

Ortsdosisleistungsmessgeräte dienen der Ermittlung der Äquivalentdosisleistung an einem Punkt im Strahlenfeld. Man unterscheidet im praktischen Strahlenschutz Messgeräte für Photonenstrahlung, Neutronenstrahlung und Elektronenstrahlung (Betastrahlung). Die Geräte können mobil oder ortsfest ausgeführt sein. Zur Standardausrüstung gehören häufig eine automatische Messbereichsumschaltung, Speichermöglichkeiten für die Messwerte und Alarmfunktionen für Dosis und Dosisleistung. An mobilen Geräten ist oft der Anschluss zusätzlicher externer Messsonden möglich. Für den praktischen Einsatz muss der Messbereich des Gerätes und der zulässige Energiebereich der Strahlung beachtet werden.

Ortsdosisleistungsmessgeräte für Photonenstrahlung bauen im praktischen Strahlenschutz meistens auf folgenden Detektoren auf: Geiger-Müller-Zählrohre, Proportionalzählrohre, Ionisationskammern, Szintillationszähler.

Ortsdosisleistungsmessgeräte für Neutronenstrahlung enthalten Detektoren, in denen die Neutronen durch Reaktionen geladene Sekundärteilchen erzeugen, die im Zählrohr nachgewiesen werden. Diese Reaktionen können im Zählrohrvolumen, das geeignete Stoffe als Reaktionspartner enthält, oder in der Zählrohrwandung, die mit geeigneten Stoffen beschichtet ist, erfolgen. Die Art der Stoffbeimengung hängt von der Energie der nachzuweisenden Neutronen ab. Zum Nachweis langsamer Neutronen ( $E_n < 0,5 \text{ eV}$ ) werden häufig Proportionalzählrohre mit He-3 oder  $^{10}\text{BF}_3$  als Füllgas verwendet. Alternativ kann die Zählrohrwandung mit Li-6, B-10 oder U-235 beschichtet sein. Zum Nachweis von Neutronen mit höheren Energien ( $E_n > 10 \text{ keV}$ ) enthalten die Zählrohre oft wasserstoffhaltige Gase (z.B. Methan), aus denen die Neutronen Protonen durch Stoß herausschlagen (Rückstoßprotonen). Für einen weiteren Energiebereich kommen Messgeräte zum Einsatz, bei denen ein Detektor für langsame Neutronen von einem Moderator (z.B. aus einem Kunststoff) umgeben ist (Rem-Counter, Long-Counter). Durch geeigneten technischen Aufbau kann die Schwankung des Ansprechvermögens über einen weiten Energiebereich in akzeptablen Grenzen gehalten werden (z.B.  $\pm 30\%$ ).

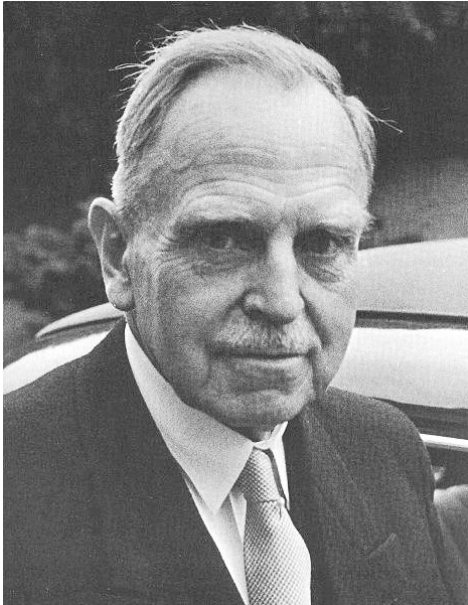
Ortsdosisleistungsmessgeräte für Elektronenstrahlung sind häufig Kombinationsgeräte zum Nachweis von Elektronen und Photonen. Dabei kann z.B. durch Entfernen einer Abdeckkappe vom Photonenmessgerät ein dünnes Eintrittsfenster freigegeben werden, durch das die Elektronen in das Zählrohr gelangen können. Die Differenz der Messwertanzeigen für die Messungen mit und ohne Schutzkappe ist ein Maß für die Beta-Dosisleistung. Alternativ sind speziell kalibrierte Messgeräte erhältlich, mit denen die Umgebungs-Äquivalentdosisleistung  $H^*(10)$  und die Richtungs-Äquivalentdosisleistung  $H'(0,07)$  getrennt erfasst werden können.

## OSL

Abk. für →[Optisch stimulierte Lumineszenz](#)

## Otto Hahn

1) Chemiker, \* 8.3.1879 Frankfurt am Main, † 28.7.1968 Göttingen; arbeitete vorrangig auf dem Gebiet der Radiumforschung und in der Kernchemie; fand zusammen mit Lise Meitner zahlreiche radioaktive Elemente und entdeckte mit Fritz Strassmann 1938 die Kernspaltung (Deutung der Versuchsergebnisse unter Mitarbeit der damals schon emigrierten Lise Meitner). Für die Entdeckung der Kernspaltung erhielt er 1944 den Nobelpreis für Chemie.



Otto Hahn

Quelle:

<http://whg.work.de/physik/atomphysik/Hahn>

2) Für die Erprobung des nuklearen Schiffsantriebes gebautes deutsches Handelsschiff mit 16.870 BRT. Als Antrieb diente ein Druckwasserreaktor mit einer thermischen Leistung von 38 MW. Erste Nuklearfahrt am 11.10.1968. Bis Ende 1978 wurden bei 642.000 Seemeilen zurückgelegt und dabei 776.000 t Ladung transportiert. Die "Otto Hahn" wurde 1979 stillgelegt, die Reaktoranlage und alle radioaktiven Teile ausgebaut und beseitigt. Anschließend wurde das Schiff nach Einbau eines konventionellen Antriebs wieder in Dienst gestellt.



# P

## 2 Pi-Zähler

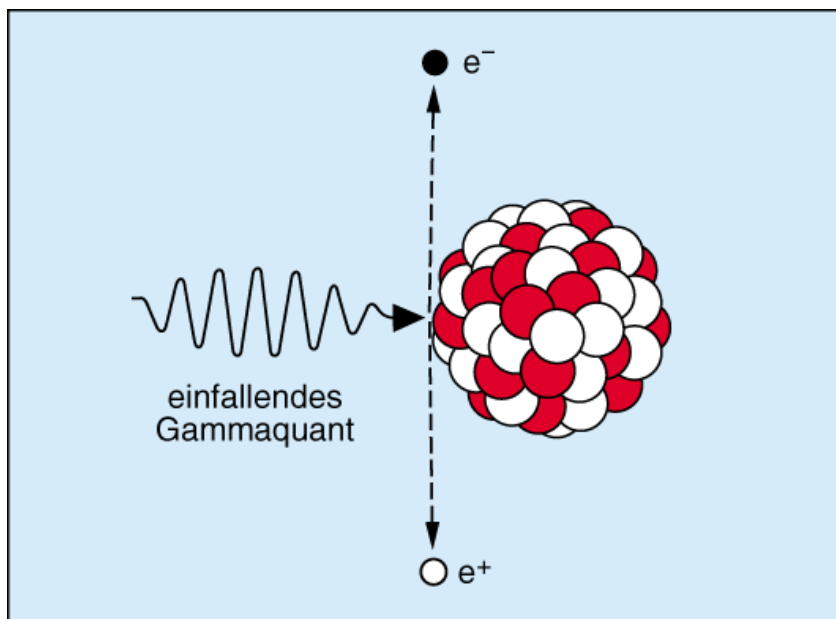
Strahlungsdetektor, der es ermöglicht, über einen Raumwinkel von  $2\pi$  die Strahlung einer radioaktiven Quelle zu erfassen.

## 4 Pi-Zähler

Strahlungsdetektor, der es ermöglicht, über den vollen Raumwinkel von  $4\pi$  die Strahlung einer radioaktiven Quelle zu erfassen.

## Paarbildung

Wechselwirkung von energiereicher elektromagnetischer Strahlung mit Materie; ist die Energie der Strahlung größer als 1,02 MeV und damit größer als die doppelte → **Ruhemasse** eines Elektrons ( $m_{e,0} = 0,511$  MeV), besteht im Kraftfeld des Atomkerns die Möglichkeit zur Erzeugung eines Elektron-Positron-Paares (Materialisation von Energie). Die Energie, welche 1,02 MeV überschreitet, wird auf die beiden entstehenden Teilchen als kinetische Energie übertragen.



Paarbildung; Erzeugung eines Elektron-Positron-Paares aus einem energiereichen Gammaquant

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Paarbildungspeak

Begriff aus der Photonenspektrometrie; der Peak ist bedingt durch den Verlust eines oder beider Gammaquanten, die nach einer Paarbildung und nach Vernichtung des dabei entstandenen Positrons auftreten. →[Spektrometrie](#)

## PAEC

Abk. für **P**otential **A**lpha **E**nergie **C**oncentration, →[Potentielle Alphaenergie-Exposition](#)

## PAMELA

Abk. für **P**ilotanlage **M**ol zur **E**rzeugung lagerfähiger **A**bfälle. →[Verglasungsanlage PAMELA](#)

## Pariser Übereinkommen

→[Atomhaftungsübereinkommen](#)

## Patient

Patient im Sinne des Strahlenschutzes ist eine Person, die aufgrund medizinischer Indikation ionisierender Strahlung ausgesetzt wird.

## PCAIRE

Vom Luftfahrt-Bundesamt zugelassenes Computerprogramm, welches die Berechnung der effektiven Dosis für Flugpersonal erlaubt; andere zugelassene Programme sind →[EPCARD](#) und →[FREE](#).

## Peak

Begriff (aus dem engl.) aus der →[Spektrometrie](#); mit Peak wird die (idealerweise) gaußförmige Impulshöhenverteilung im realen Spektrum bezeichnet, in der die Impulse einer monoenergetischen Teilchenstrahlung subsummiert sind, die ihre Energie vollständig an das Detektormaterial abgegeben haben.

## Peak-Compton-Verhältnis

Begriff aus der Photonenspektrometrie (→[Spektrometrie](#)); das Peak-Compton-Verhältnis ist das Verhältnis zwischen der Anzahl Photonen einer monoenergetischen Photonenstrahlung, die ihre Energie vollständig an den Detektor abgeben und der Zahl, die nur einen Teil der Energie durch Compton-Streuung an den Detektor übertragen und anschließend den Detektor verlassen. Der erste Teil ist im Peak subsummiert, der zweite bildet den niederenergetischen Compton-Untergrund. Die Nachweisempfindlichkeit eines Spektrometers steigt mit wachsendem Peak-Compton-Verhältnis. Dieses steigt mit wachsendem Detektorvolumen, weil dann weniger Photonen den Detektor verlassen.

## **Pedi**

- a) Pedi AG, Schweizerisches Unternehmen, das sich als eines der ersten auf die Herstellung von Personenschutzkleidung im Strahlenschutz spezialisiert hat.
- b) Im Strahlenschutz-Jargon übliche Kurzbezeichnung für einen leichten, Kunststoff-Vollschutzanzug, der in Bereichen mit feuchter Kontamination getragen wird; abgeleitet wurde der Begriff von den Produkten des Herstellers a), und er hat sich gehalten, obwohl inzwischen auch die Produkte anderer Hersteller verwendet werden.

## **Pellet**

Gesinterte Kernbrennstoff-Tabletten von 8 bis 15 mm Durchmesser und 10 bis 15 mm Länge; viele solcher Pellets werden in die bis zu 4 m langen Brennstoffhüllrohre gefüllt.

## **Periode**

→[Reaktorperiode](#)

## **Periodensystem der Elemente**

Ordnungssystem der Elemente nach steigender Ordnungszahl und Einteilung entsprechend der Elektronenkonfiguration der Atomhülle in 'Perioden'; durch das gewählte Ordnungsschema stehen chemisch ähnliche Elemente in 'Gruppen' (Haupt- und Nebengruppen) untereinander.

## **Perkutane Therapie**

Bei der medizinischen Anwendung ionisierender Strahlung die Bestrahlung durch die unverletzte Haut hindurch

## **Permeation**

Neben →[Inhalation](#) und →[Ingestion](#) der dritte Inkorporationspfad für radioaktive Stoffe; die Permeation bezeichnet die Aufnahme von radioaktiven Stoffen durch die unverletzte oder verletzte Haut (von lat.: permeare = durchwandern).

## **Person, beruflich strahlenexponierte**

→[beruflich strahlenexponierte Personen](#)

## **Person, helfende**

Im Regelungsbereich der Strahlenschutzverordnung ist eine helfende Person definiert als eine Person, die außerhalb ihrer beruflichen Tätigkeit freiwillig oder mit Einwilligung ihres gesetzlichen Vertreters Personen unterstützt oder betreut, an denen in Ausübung der Heilkunde oder Zahnheilkunde oder im Rahmen der medizinischen Forschung radioaktive Stoffe oder ionisierende Strahlung angewandt werden. (Def.: § 3 Abs.2 Nr. 24 StrlSchV)

## Personendekontamination

→Dekontamination von Personen

## Personendosis

Die Strahlenschutzverordnung fordert zur Ermittlung der Körperdosis die Messung der Personendosis. Die Personendosis ist die Äquivalentdosis, gemessen in den Messgrößen der →Tiefen-Personendosis und der →Oberflächen-Personendosis an einer für die Strahlenexposition repräsentativen Stelle der Körperoberfläche. Die Tiefen-Personendosis ist bei einer Ganzkörperexposition mit durchdringender Strahlung ein Schätzwert für die effektive Dosis und die Organdosen tief liegender Organe und die Oberflächen-Personendosis ein Schätzwert für die Hautdosis. →Dosis

## Personendosimeter

Personendosimeter dienen zur Messung der →Personendosis als Schätzwert für die →Körperdosis einer Person durch externe Bestrahlung (§ 41 StrlSchV). Es wird zwischen indirekt anzeigenden Dosimetern (z.B. →Film dosimeter, →Phosphatglasdosimeter, Thermolumineszenzdosimeter (→Thermolumineszenzdetektor), →Albedodosimeter) und direkt anzeigenden Dosimetern (z.B. →Stabdosimeter, →Elektronisches Personendosimeter) unterschieden. Ein Dosimeter wird durch eine geeignete Kalibrierung zum Personendosimeter.

## PET

Abk. für **P**ositron **E**mission **C**omputed **T**omography; diagnostisches Verfahren in der Medizin, das insbesondere zur Analyse von Stoffwechselfvorgängen genutzt wird; dem Patienten wird ein Beta(+)-strahlendes, kurzlebige Radiopharmakon injiziert, das sich mit dem Stoffwechsel im Körper verteilt. Die beiden 511-keV-Gammaquanten, die bei der Vernichtung der Positronen entstehen, werden von Detektoranordnungen, die sich um den Körper bewegen, registriert. Die Signale werden im Computer zu Schnittbildern zusammengesetzt. PET liefert Bilder mit höherer Auflösung als das konkurrierende Verfahren →SPECT und erlaubt quantitativ belastbarere Aussagen.

## Phagozyten

Phagozyten, auch Fresszellen genannt, sind im Körper frei bewegliche Zellen. Sie können außerhalb der Zelle liegende Fremdkörper (z.B. Bakterien) in die Zelle aufnehmen und dort durch Enzyme abbauen. Auf diese Weise dienen sie der Beseitigung von schädlichen Stoffen und Krankheitserregern.

## Phosphatglasdosimeter

Messgerät zur Dosisbestimmung; der Radiophotolumineszenzeffekt, die Eigenschaft bestimmter Stoffe bei Bestrahlung mit UV-Licht Fluoreszenzlicht größerer Wellenlänge auszusenden, wenn sie vorher ionisierender Strahlung ausgesetzt waren, wird zur Dosisbestimmung benutzt. Silberaktivierte Metaphosphatgläser - Gläser aus Alkali- und Erdalkaliphosphaten mit einigen Prozenten Silbermetaphosphat - zeigen z. B.

diesen Photolumineszenzeffekt. Die Intensität des Fluoreszenzlichtes ist in weiten Bereichen der eingestrahlten Dosis proportional.

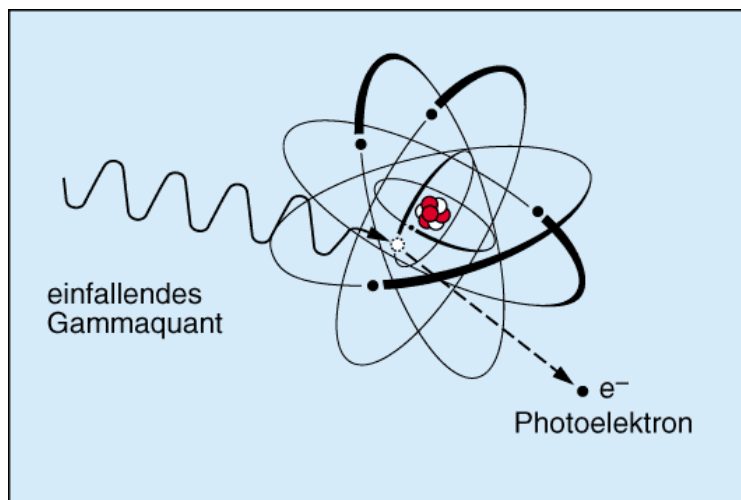
## Phoswich-Detektor

Phoswich ist ein Kunstwort aus der Wortkombination Phosphor-Sandwich. Ein Phoswich-Detektor ist eine Kombination aus zwei Szintillationsdetektoren mit unterschiedlichen Eigenschaften, die optisch durchlässig aneinander gekoppelt sind. Durch die Kombination beider Eigenschaften kann insgesamt eine Optimierung der Detektorqualität erreicht werden. Beispiele:

- a) Durch Beschichtung eines Kunststoff-Szintillators mit einer ZnS-Schicht kann über einen weiten Energiebereich ein gutes Ansprechvermögen für Photonen erreicht werden. Die ZnS-Schicht ist für niederenergetische Photonen empfindlich, während Photonen höherer Energie fast ausschließlich im Kunststoff →**Szintillationen** auslösen.
- b) Durch Kombination eines NaI(Tl)-Kristalls mit einem CsI(Na)-Kristall kann unter Ausnutzung der unterschiedlichen Pulsform der Signale und geeigneter →**Antikoinzidenzschaltung** der Untergrund verringert und somit die Nachweisempfindlichkeit erhöht werden. (Lit.: VOG04, PHI98)

## Photoeffekt

Wechselwirkung von Röntgen- und Gammastrahlung mit Materie. Das Röntgen- oder Gammaquant überträgt seine Energie an ein Hüllenelektron des Atoms und setzt es dadurch frei (Photoelektron). Das Elektron erhält hierbei kinetische Energie, die gleich der Energie des Quants, vermindert um die Bindungsenergie des Elektrons ist. Falls das Elektron aus einer inneren Schale der Atomhülle freigesetzt wurde, kann nachfolgend zusätzlich ein Photon (oder mehrere Photonen) oder es können →**Au-ger-Elektronen** freigesetzt werden.

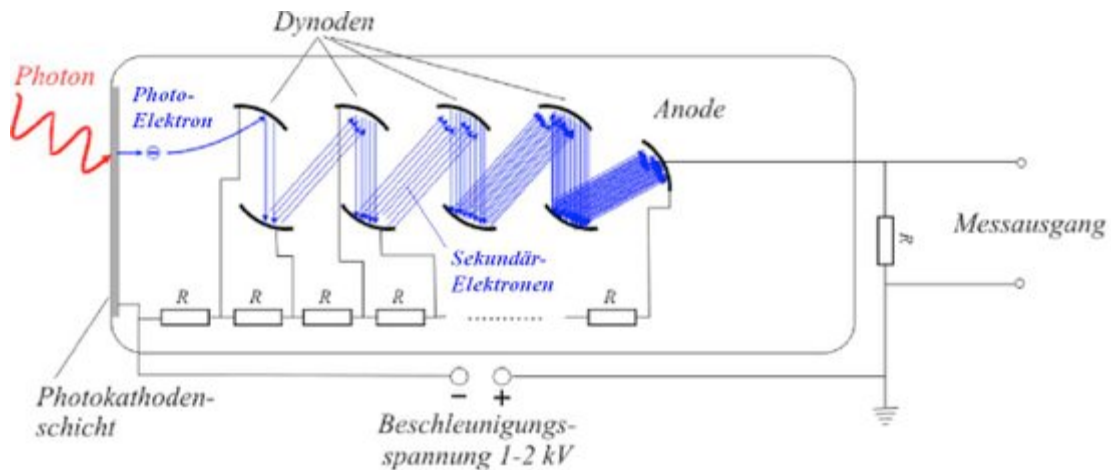


Photoeffekt

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Photoelektronenvervielfacher

Anordnung mehrerer Elektroden in einer Vakuumröhre, wobei die in der ersten Elektrode (=Photokathode) durch Photonen ausgelösten Elektronen auf die nächste Elektrode (Dynode) beschleunigt werden und dort jedes Elektron mehrere weitere Elektronen freisetzt, die wiederum zu der nächsten Dynode beschleunigt werden, usw. Dadurch wird die Anzahl der primär an der ersten Photokathode freigesetzten Elektronen vervielfacht, so dass am Ausgang der Röhre ein hinreichend großer Ladungsimpuls gemessen werden kann.



Schematischer Aufbau eines Photoelektronenvervielfachers (Quelle: www.wikipedia.de)

## Photokathode

Kathode, in der Elektronen durch den photoelektrischen Effekt ausgelöst werden.

## Photolumineszenz

Einige Feststoffe haben die Eigenschaft, die in ihnen durch ionisierende Strahlung deponierte Energie in Form von Veränderungen der Gitterstruktur zu speichern. Bei anschließender Bestrahlung mit UV-Licht wird Lumineszenzstrahlung emittiert (Photolumineszenz), deren Intensität ein Maß für die ursprünglich deponierte Energie durch ionisierende Strahlung ist. Diese Photolumineszenz macht man sich bei den →[Photolumineszenz-Detektoren](#) (PLD) zunutze, die in Deutschland bei einigen amtlichen Messstellen als amtliche Dosimeter anerkannt sind (z.B. in Baden-Württemberg).

## Photolumineszenz-Detektor

Die Photolumineszenz-Detektoren (PLD) verwenden die →[Photolumineszenz](#) zum Nachweis der Dosis. Als Detektormaterial werden in den in Deutschland amtlich anerkannten Dosimetern Flachgläser z.B. aus Phosphatglas verwendet. Phosphatgläser haben die Eigenschaft, dass die gespeicherte Dosisinformation beim Auslesen nicht gelöscht wird, sondern wiederholt abgerufen werden kann. Die Löschung erfolgt erst beim Ausheizen des Detektormaterials bei Temperaturen von etwa 400 °C. Die

Nachweisgrenze für Photolumineszenz-Detektoren liegt unter 0,1 mSv. Das Ansprechvermögen von Phosphatglasdosimetern ist energieabhängig und muss mit Filtern (Abdeckungen aus Metall oder Kunststoff) ausgeglichen werden. Die Abnahme der Dosisinformation durch →Fading beträgt bei Phosphatgläsern etwa 10% - 15 % in 10 Jahren.

## Photomultiplier

Engl. Ausdruck für →Photoelektronenvervielfacher

## Photon

Die Eigenschaften der elektromagnetische Strahlung können zum Teil mit einem Wellenbild (Ausbreitung, Interferenz), zum Teil mit dem Teilchenbild (Entstehung, Photoeffekt) erklärt werden. Im Teilchenbild besteht die elektromagnetische Strahlung aus diskreten Energiequanten, den Photonen. Die Ruhemasse des Photons ist Null. Es hat keine elektrische Ladung. →Elementarteilchen, →elektromagnetische Strahlung

## Photonen-Äquivalentdosis

Früher gebräuchliche Messgröße für die Orts- und Personendosis; die Photonen-Äquivalentdosis  $H_x$  ist über die →Standardionendosis  $J_s$  definiert:

Photonenenergie bis 3 MeV:  $H_x = 38,8 \text{ Sv/C} \cdot J_s \approx 0,01 \text{ Sv/R} \cdot J_s$

Photonenenergie > 3 MeV: Messwert der Ionendosis, der mit einem für Co-60-Gammastrahlung kalibrierten Messgerät erhalten wird, multipliziert mit dem Faktor 0,01 Sv/R

## Photonen-Äquivalentdosisleistung

Änderung der Photonen-Äquivalentdosis mit der Zeit (Differentialquotient):  $dH_x/dt$

## Photonenstrahlung

→elektromagnetische Strahlung

## PHWR

Abk. für **P**ressurized **H**eavy **W**ater **R**eactor; →Druckwasserreaktor, der mit →schwerem Wasser betrieben wird (→Schwerwasserreaktor), Beispiel: Atucha, Argentinien, 367 MWe.

## Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig und Berlin, ist ein natur- und ingenieurwissenschaftliches Staatsinstitut und technische Oberbehörde der Bundesrepublik Deutschland für das Messwesen und für die physikalische Sicherheitstechnik. Sie ist die Nachfolgerin der 1887 in Berlin gegründeten Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. Die PTB gehört zum Dienstbereich des Bundesministers für Wirtschaft und Technologie. Sie hat ca. 1.650 fest angestellte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, von denen etwa 1.300 in Braunschweig tätig sind. Die Aufgaben und Tätigkeiten der PTB lassen sich in vier Bereiche gliedern:



- Grundlagen der Metrologie
- Messtechnik für den gesetzlich geregelten Bereich
- Messtechnik für die Industrie
- internationale Zusammenarbeit

Für den Strahlenschutz hat insbesondere das Gebiet „Strahlungsmesstechnik“ Bedeutung.

Internet: [www.ptb.de](http://www.ptb.de)

## Pi-Meson

→Pion, →Elementarteilchen

## Pinch-Effekt

Effekt in kontrollierten Fusionsversuchen, bei dem ein durch eine Plasmasäule fließender elektrischer Strom das Plasma einschnürt, komprimiert und damit aufheizt.

## Pion

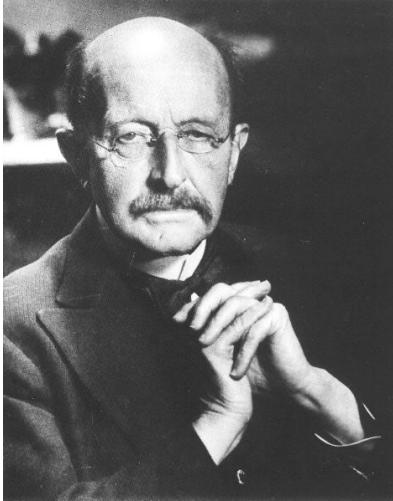
Kurzlebige Elementarteilchen; Kurzform für Pi-Meson. Die Masse eines geladenen Pions ist rund 273mal so groß wie die eines Elektrons. Ein elektrisch neutrales Pion hat eine Masse, die das 264-fache der Elektronenmasse beträgt. →Elementarteilchen

## Placard

Großtafel zur Kennzeichnung von Transportfahrzeugen bei der →Beförderung radioaktiver Stoffe

## Planck, Max

Max Planck, Physiker, \*23.4.1858 Kiel, † 4.10.1947 Göttingen; Max Planck arbeitete hauptsächlich auf dem Gebiet der Thermodynamik und der Strahlungstheorie; im Zusammenhang mit der Ableitung des Strahlungsgesetzes für schwarze Körper postulierte er die Quantelung der Energie und entdeckte dabei eine für Strahlungsprozesse wesentliche Naturkonstante, das →Planck'sche Wirkungsquantum  $h$ . Die Strahlungsenergie tritt nur in Vielfachen von  $h$  auf:  $E = h \cdot \nu$  Planck erhielt 1918 den Nobelpreis für Physik.



Max Planck

Quelle:

[http://www.ieap.uni-kiel.de/plasma/ag-piel/vorl/kap45/planck\\_f.jpg](http://www.ieap.uni-kiel.de/plasma/ag-piel/vorl/kap45/planck_f.jpg)

## Planck'sches Wirkungsquantum

Fundamentale Naturkonstante in der Atom- und Kernphysik mit der Einheit einer Wirkung, Formelzeichen:  $h$ ;

$h$  verknüpft die Energie  $E$  einer elektromagnetischen Strahlung mit deren Frequenz  $\nu$ :

$$E = h \cdot \nu \quad h = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV s} = 6,626 \cdot 10^{-22} \text{ J s.}$$

## Plasma

Insgesamt elektrisch neutrales Gasgemisch aus Ionen, Elektronen und neutralen Teilchen; Hochtemperatur-Wasserstoffplasmen dienen als Brennstoff in Versuchen zur kontrollierten  $\rightarrow$ Fusion.

## Plateau

Der Teil einer Zählrohrcharakteristik, in dem sich die Zählrate bei Spannungsschwankungen nur geringfügig ändert.  $\rightarrow$ Geiger-Müller-Zählrohr

## PLD

Abk. für  $\rightarrow$ Photolumineszenz-Detektor

## Plutonium (Pu)

Plutonium - das 94. Element im Periodensystem - wurde 1940 von den amerikanischen Forschern Seaborg, McMillan, Wahl und Kennedy als zweites Transuran-Element in der Form des Isotops Plutonium-238 beim Beschuss von Uran-238 mit Deuteronen entdeckt. Heute sind 15 Pu-Isotope bekannt. Besondere Bedeutung hat wegen seiner Eigenschaft als spaltbares Material das Isotop Pu-239 (Halbwertszeit 24110 Jahre) erhalten. Die auf das 92. Element im Periodensystem - das Uran - folgenden Elemente 93 und 94 erhielten analog dem nach dem Planeten Uranus benannten Uran ihre Namen 'Neptunium' und 'Plutonium', nach den auf Uranus folgenden Planeten Neptun und Pluto. Plutonium entsteht durch Neutroneneinfang in Uran-238 und zwei darauf folgende Betazerfälle nach folgendem Schema:

$U-238 + n \rightarrow U-239 \rightarrow \beta\text{-Zerfall} \rightarrow Np-239 \rightarrow \beta\text{-Zerfall} \rightarrow Pu-239$ .

In der Natur kommt Plutonium-239 in verschwindend kleinen Mengen in uranhaltigen Mineralien (Pechblende, Carnotit) - ein Atom Pu auf 1 Billion und mehr Atome Uran - vor. Es bildet sich aus U-238 durch Einfang von Neutronen, die bei der Spontanspaltung des U-238 frei werden. Durch die oberirdischen Kernwaffentests wurden schätzungsweise fünf bis sieben Tonnen Pu-239 in die Atmosphäre freigesetzt und weltweit verteilt, so dass z. B. in Mitteleuropa rund 60 Bq Pu-239 pro m<sup>2</sup> abgelagert wurden. Plutonium ist ein radiotoxischer Stoff; seine chemische Giftigkeit als Schwermetall ist demgegenüber vernachlässigbar. Die radiotoxische Wirkung des Plutoniums kommt besonders bei der Inhalation feinsten Pu-Aerosole zum Tragen; Verschlucken (Ingestion) von Plutonium ist etwa 10.000 mal ungefährlicher, da Plutonium von der Darmschleimhaut nur zu etwa 1/100 Prozent aufgenommen wird, 99,99% werden sofort wieder ausgeschieden.

Siehe auch den Beitrag „Wie gefährlich ist Plutonium?“ auf der Internetseite des Bundesamtes für Strahlenschutz – BfS ([www.bfs.de](http://www.bfs.de))

## Plutoniumbombe

Die erste Testbombe, die am 16.07.1945 in der Wüste von New Mexico rund 100 km nordwestlich von Alamogordo gezündet wurde, und die Nagasaki-Bombe waren Plutoniumbomben. Waffenplutonium ist metallisches, reines Pu-239. Solches Plutonium erhält man, wenn die Brennelemente nur eine geringe Zeit (Tage, wenige Wochen) im Reaktor verbleiben und daher nur einen ganz geringen →**Abbrand** erreichen. Bei einem Abbrand von 20.000 MWd/t und mehr, wie er in kommerziellen Reaktoren gegeben ist, entstehen so große Anteile anderer Plutonium-Isotope, dass die waffentechnische Verwendbarkeit stark eingeschränkt wird und die technischen Schwierigkeiten für das Abtrennen von Pu-239 stark ansteigen. Für eine Bombe ist eine Mindestmenge an spaltbarem Material erforderlich, die für Waffenplutonium in metallischer Form etwa 10 kg beträgt. Unter Nutzung der höchstentwickelten Waffentechnik der Kernwaffenländer sind auch geringere Mengen möglich.

## Pneumonitis

Entzündung der Lunge; die durch Strahlung hervorgerufene Strahlungspneumonitis ist eine entzündliche Reaktion des Lungengewebes, die z.B. nach einer Strahlentherapie im Thoraxbereich auftreten kann. Die Schwellendosis für das Auftreten einer Strahlungspneumonitis liegt im Bereich 20 Gy – 60 Gy. Die Latenzzeit liegt im Bereich von Tagen bis einigen Monaten.

## Po

Zeichen für Polonium

## Poisson-Verteilung

Spezielle Art der Häufigkeitsverteilung von Messwerten einer Messgröße, die statistischen Gesetzen gehorcht; der radioaktive Zerfall ist solch ein zufälliger Prozess, der statistischen Gesetzen gehorcht. Sofern bei Kernstrahlungsmessungen andere Messunsicherheiten als die statistischen Schwankungen des radioaktiven Zerfalls ohne Bedeutung sind und die Messzeit bei der Ermittlung einer Messgröße klein ge-

gen die Halbwertszeit des zu messenden radioaktiven Stoffes ist, zeigen die Messwerte eine Häufigkeitsverteilung, die durch die Poisson-Verteilung beschrieben wird. Die allgemeine mathematische Beschreibung der Poisson-Verteilung geht auf den französischen Physiker und Mathematiker Siméon-Denise Poisson (1781 – 1840) zurück.

Bei sehr großen Impulszahlen (theoretisch bei unendlich vielen Einzelmessungen) geht die Poisson-Verteilung in die →[Normalverteilung](#) über, welche in der Praxis oft mit hinreichend guter Näherung angesetzt werden kann.

## Pollux

Behälter zur direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente; die Namensgebung erfolgte in Bezug auf →[Castor®](#)-Behälter (Transport- und Zwischenlagerbehälter für abgebrannte Brennelemente) in Anlehnung an die Zwillingbrüder Castor und Pollux der griechischen Sage. Das Konzept der direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente sieht vor, ausgediente Brennelemente zu kompaktieren, in dicht verschließbare Behälter zu verpacken und diese in einem Endlager sicher und von der Biosphäre getrennt zu lagern. Für die Referenzuntersuchungen wurde ein Behälter vom Bautyp 'Pollux' entwickelt, der bis zu acht Druckwasserreaktor-Brennelemente aufnehmen kann. Er hat einen Durchmesser von ca. 1,5 m, eine Länge von ca. 5,5 m und wiegt beladen 64 Tonnen. Der Behälter ist zweischalig gebaut und gewährleistet den sicheren Einschluss der Radionuklide. Ein Innenbehälter zur Aufnahme kompaktierter Brennelemente wird, durch einen Neutronenmoderator getrennt, von einem äußeren Abschirmbehälter aus Sphäroguss umgeben und geschützt. Das Pollux-Behältersystem ist nach den Vorschriften des Verkehrsrechts für Typ-B(U)-Verpackungen und des Atomrechts für die Zwischenlagerung von Kernbrennstoffen ausgelegt, die Behälter sind also gleichermaßen als Transport-, Zwischenlager- und Endlagerbehälter einsetzbar.

## Polyenergetische Strahlung

Nach DIN 6814.2 (→[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)) wird unter polyenergetischer Strahlung eine ionisierende Strahlung verstanden, die ein Energiespektrum mit nicht vernachlässigbarer Breite aufweist. Beispiele dafür sind Bremsstrahlung, Betastrahlung, Gammastrahlung mit mehreren Spektrallinien oder Neutronenstrahlung aus einer abgeschirmten Quelle.

## Positron

Elementarteilchen mit der Masse eines Elektrons, jedoch positiver Ladung; es ist das 'Anti-Elektron'. Es wird beim Beta-Plus-Zerfall ausgesandt und entsteht bei der Paarbildung.

## Potentielle Alphaenergie-Exposition

Begriff aus der Dosimetrie der Exposition durch Radon und seine kurzlebigen Folgeprodukte; die Definition berücksichtigt die Tatsache, dass die Strahlenexposition durch Radon im Wesentlichen durch die Alpha-strahlenden Folgeprodukte bestimmt wird (→[Zerfallsreihe, natürliche](#)). Die potentielle Alphaenergie-Exposition  $P_p(t)$  beschreibt die innerhalb der Zeit  $t$  durch die radioaktiven Folgeprodukte des Radons an das Lungengewebe abgegebene Alphaenergie:

$$P_p(t) = \int_0^t \sum_i \frac{\varepsilon_i a_{v,i}}{\lambda_i} dt'$$

$\varepsilon_i$  = potentielle Alphaenergie des i-ten Zerfallsprodukt = Summe der Energien aller Alphateilchen, die beim Zerfall eines Radonfolgeproduktkerns bis zum Pb-210 freigesetzt werden.

$a_{v,i}$  = Aktivitätskonzentration des i-ten Zerfallsprodukts

$\lambda_i$  = Zerfallskonstante des i-ten Zerfallsprodukts

Die Maßeinheit der potentiellen Alphaenergie-Exposition ist J h /m<sup>3</sup>.

Die potentielle Alphaenergie-Exposition ist mit der Dosis über die Konvention verknüpft, dass ihr die Dosis (Folgedosis) zugeordnet wird, die denselben Schaden verursacht. Dabei gelten folgenden Konversionskoeffizienten:

Effektive Folgedosis H (in Sv) = 1,4 P<sub>p</sub> (in J h /m<sup>3</sup>) für Berufstätige

H (in Sv) = 1,1 P<sub>p</sub> (in J h /m<sup>3</sup>) für Personen der Bevölkerung

Der Ausdruck  $\sum \varepsilon_i a_{v,i} / \lambda_i$  wird auch als Potentielle Alphaenergie-Konzentration (PAEC) bezeichnet. Sie ist die Summe der potentiellen Alphaenergien aller Atome der Zerfallsprodukte pro Volumen. Ihre Maßeinheit ist J/m<sup>3</sup> (früher auch MeV/cm<sup>3</sup>, siehe auch →[Working Level](#))

Wenn die Radon-Exposition P in Bq/m<sup>3</sup> • h (h = Aufenthaltszeit in der kontaminierten Raumluft in Stunden) bekannt ist, kann daraus die potentielle Alphaenergie-Konzentration P<sub>p</sub> über folgende Gleichung berechnet werden:

$$P_p = 5,63 \cdot 10^{-9} F \cdot P ; F = \rightarrow \text{Gleichgewichtsfaktor}$$

Lit.: BMU03, VOG04

## Potentielle Alphaenergie-Konzentration

→ [Potentielle Alphaenergie-Exposition](#)

### ppb

Abk. für **parts per billion**, 1 Teil pro 1 Milliarde Teile; Maß für den Grad der Verunreinigung in Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen.

### ppm

**parts per million**, 1 Teil pro 1 Million Teile; Maß für den Grad der Verunreinigung in Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen.

## Pränataler Strahlenschaden

Somatischer oder genetischer Strahlenschaden, der beim Menschen nach der Geburt aufgrund einer Strahlenexposition im Mutterleib auftritt oder vorliegt (s.

DIN 6814-5 →DIN-Normen zum Strahlenschutz, →Strahlenschäden beim Menschen)

## Primärkühlkreislauf

Umlaufsystem für das →Primärkühlmittel

## Primärkühlmittel

Kühlmittel, das zum Abführen der Wärme aus der →Spaltzone des →Reaktors dient; das Primärkühlmittel führt seine Wärme an das Sekundärkühlmittel ab.

## Primärstrahlung

Von einer Strahlenquelle primär ausgehende Strahlung; wenn die Primärstrahlung in Wechselwirkung mit Materie tritt und dabei durch Kernreaktionen oder Streuung Strahlung erzeugt wird, so nennt man diese Sekundärstrahlung. Erzeugt diese durch weitere Wechselwirkung erneut Strahlung, wird diese als Tertiärstrahlung bezeichnet usw.

In der Bestrahlungstechnik ist der Begriff Primärstrahlung für unterschiedliche Strahlenarten folgendermaßen definiert (DIN 6814-2 →DIN-Normen zum Strahlenschutz):

Röntgenstrahlung: die im Targetsystem einer Röntgeneinrichtung oder Bestrahlungseinrichtung entstehende Röntgenstrahlung, soweit sie den interessierenden Aufpunkt ohne Wechselwirkung erreicht.

Korpuskularstrahlung aus einem Teilchenbeschleuniger (außer Neutronenstrahlung): die im Teilchenbeschleuniger beschleunigten Korpuskeln, nach Modifikation ihrer Orts-, Richtungs- und Energieverteilung durch das Strahlerzeugungssystem und die durchstrahlte Luftsäule.

Neutronenstrahlung aus einem Teilchenbeschleuniger oder Reaktor: die im Targetsystem eines Teilchenbeschleunigers durch Kernreaktionen oder in einem Reaktor durch Kernspaltung erzeugten Neutronen, soweit sie den interessierenden Aufpunkt ohne Wechselwirkung mit Materie erreichen.

Strahlung aus Radionukliden: die im radioaktiven Material einer Bestrahlungseinrichtung oder eines Strahlers (Strahlenquelle mit einem radioaktiven Material) durch spontane Kernumwandlung erzeugten Teilchen, soweit sie den interessierenden Aufpunkt ohne Wechselwirkung mit Materie erreichen.

Aus diesen Definitionen wird deutlich, dass →Streustrahlung in der Regel nicht zur Primärstrahlung zählt. Eine Ausnahme können Strahlungsanteile in einem Teilchenbeschleuniger sein, die durch fokussierende Elemente des Strahlführungssystems gestreut und wieder in den Primärstrahl eingegliedert werden.

## Primärteilchen

Das Teilchen, das auf eine Materieschicht auftrifft, um dort eine Wechselwirkung zu erfahren. →Primärstrahlung

## Proband

Proband im Sinne des Strahlenschutzes ist eine Person, die freiwillig unter Berücksichtigung gesetzlicher Bestimmungen in der medizinischen Forschung einer Strahlenexposition ausgesetzt wird.

## Probenbehandlung

Bearbeitung von Analysenproben vor ihrer messtechnischen Untersuchung; von der Probe können z.B. mit mechanischen oder chemischen Verfahren spezielle, die Aktivität enthaltene Stoffe abgetrennt und so die Aktivität aufkonzentriert werden. Dies erhöht die Nachweisempfindlichkeit des Analyseverfahrens. Ein Beispiel ist die chemische Abtrennung von Probenanteilen, die →**Alphateilchen** emittieren (Alpha-haltiger Probenanteile) und deren Abscheidung in dünnen Schichten auf einem Probenträger. Dies erleichtert die Alphaanalyse, da dadurch die Absorption im Probenmaterial herabgesetzt wird.

## Produktkontrolle

Begriff aus der Qualifizierung von radioaktiven Abfällen für die Endlagerung; im Rahmen der Produktkontrolle wird nachgewiesen, dass das endzulagernde Abfallgebilde den Anforderungen des Endlagers genügt. In Deutschland erfolgt die Produktkontrolle nach Vorgaben des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS). Sie wird im Auftrag des BfS von Sachverständigen geprüft. (s. auch →**Endlagerungsbedingungen**)

## Proliferation

Verbreitung (von Kernwaffen); alle Maßnahmen der internationalen Kernmaterialüberwachung dienen der Non-Proliferation, der Nichtverbreitung der Kernwaffen, die im Atomwaffensperrvertrag (Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons) festgelegt wurde. Dieser Vertrag ist für Deutschland seit dem 2. Mai 1975 in Kraft.

## Proportionalzählrohr

Nachweisgerät für →**ionisierende Strahlung**; der Detektor besteht aus einem gasgefüllten Volumen mit zwei Elektroden, an die eine äußere Spannung angelegt wird. Die positive Elektrode ist als dünner Draht ausgeführt, wodurch in ihrer Nähe das elektrische Feld sehr stark wird. Die durch einfallende Strahlung erzeugten freien Elektronen (Primärionisation) werden im elektrischen Feld beschleunigt und rufen durch Stöße mit den Gasmolekülen eine Stoßionisation (Sekundärionisation) hervor. Diese Beschleunigung ist insbesondere in der Nähe des positiven Drahtes so groß, dass die sekundär erzeugten Elektronen ihrerseits wieder Gasmoleküle ionisieren können. Dadurch entsteht eine Sekundärelektronenlawine (Gasverstärkung), die am Draht gesammelt und in einen Spannungsimpuls umgewandelt wird. Dieser Impuls ist der Primärionisation proportional und um den Gasverstärkungsfaktor vergrößert. In der Praxis sind Gasverstärkungsfaktoren von 100 – 10.000 üblich. Die Impulshöhe und Impulsform ermöglicht eine Unterscheidung von Alpha- und Beta-Strahlung sowie eine Energiebestimmung der Strahlung.

Als Zählgase sind Edelgase (Argon, Xenon), Kohlenwasserstoffe (Methan, Ethan) sowie Argon-Methan-Gemische gebräuchlich.



Zum Nachweis von →[Betastrahlung](#) oder energiearmer Photonenstrahlung (→[elektromagnetische Strahlung](#)) benötigen die Zählrohre dünne Eintrittsfenster. Zum Nachweis von →[Neutronen](#) müssen die Wandmaterialien mit Stoffen versetzt sein, mit denen die Neutronen unter Erzeugung geladener Teilchen reagieren. Zum Nachweis von →[Alphastrahlung](#) oder energiearmer Betastrahlung werden offene Zählrohre verwendet, in welche die nachzuweisende Aktivität eingebracht wird und in deren Zählvolumen das Zählgas ständig erneuert wird (Durchflusszähler).

## Proteine

Eiweißmoleküle; machen als Enzyme die wesentlichen Bestandteile einer Zelle aus. Sie steuern Stoffwechselprozesse und Transportfunktionen sowie den Abbau von Fremdstoffen. Durch Veränderung der Proteine infolge der Einwirkung ionisierender Strahlung können Zellschäden entstehen, die sich in makroskopischen Schäden manifestieren können.

## Proton

Elementarteilchen mit einer positiven elektrischen Elementarladung; Protonen und Neutronen bilden zusammen den Atomkern. Die Zahl der Protonen im Atomkern bestimmt das chemische Element, dem dieses Atom zugeordnet ist.

Ruhemasse:  $1,67262158 \cdot 10^{-24} \text{ g} = 1,0073 m_u$ , das entspricht dem rund 1.836-fachen der Elektronenmasse.

→[Elementarteilchen](#)

## Protonenbeschleuniger

Beschleunigungseinrichtung für Protonen; neben der Abschirmung ist bei Protonenenergien  $> 1 \text{ MeV}$  auch die Aktivierung von Strukturmaterialien für den Strahlenschutz relevant (→[Beschleuniger](#))

## Prüfung von Geräten und Einrichtungen im Strahlenschutz

Geräte und Einrichtungen, deren ordnungsgemäße Funktion für den Schutz vor ionisierender Strahlung wichtig ist, müssen auf ihre ordnungsgemäße Funktion hin geprüft werden. Solche Prüfungen können z.B. in einer Abnahmeprüfung vor dem ersten Einsatz und in späteren wiederkehrenden Prüfungen bestehen. Die Strahlenschutzverordnung enthält Anforderungen an die Durchführung solcher Prüfungen (z.B. in §§ 66 (Bestrahlungseinrichtung, umschlossene radioaktive Stoffe), 67 (Strahlungsmessgeräte) und 83 (medizinische Strahlenanwendung). Entsprechende Anforderungen enthält auch die Röntgenverordnung.

## PSA

Abk. für **P**ersönliche **S**chutz**a**usrüstung; gebräuchliche Abkürzung im Bereich des Arbeitsschutzes

## PTB

Abk. für →[Physikalisch-Technische Bundesanstalt](#)

## **Pu**

Zeichen für →[Plutonium](#)

## **Pulse-Tube-Kühlung**

Mechanisches Kühlkonzept, welches den physikalischen Effekt ausnutzt, dass ein einseitig geschlossenes Rohr am geschlossenen Ende erwärmt wird, wenn man am anderen Ende einen Kompressor betreibt. Die technische Ausführung ähnelt der eines Sterlingkühlers, nur dass statt des beweglichen Kolbens im Kaltbereich eine stehende Druckwelle aufgebaut wird, so dass das Kühlaggregat in Verbindung mit einem geeigneten Kompressor nahezu erschütterungsfrei arbeitet. Dadurch ist diese Kühlung für den Einsatz an mikrophoneempfindlichen Germanium-Dektoren geeignet. (s. auch WAG09)

## **Pulskolonne**

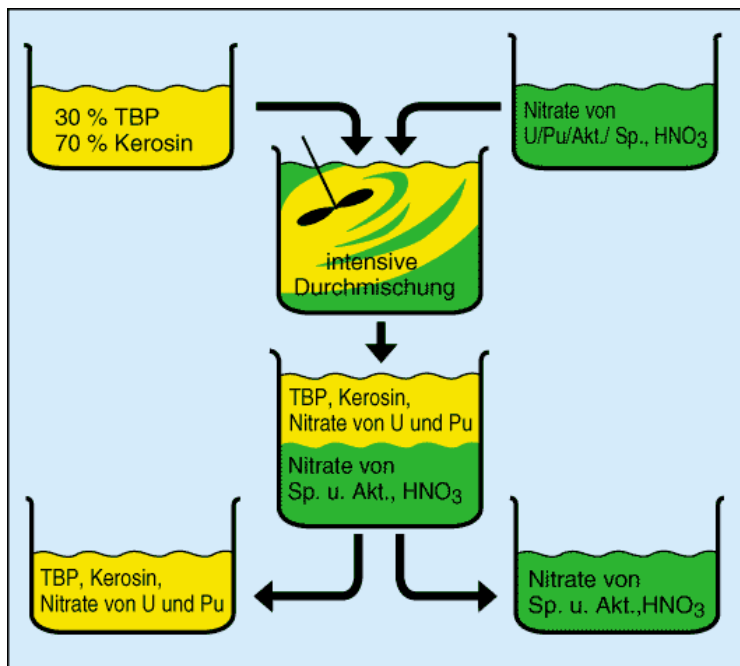
Säulenförmiger Extraktionsapparat, in dem zwei Flüssigkeiten im Gegenstrom stoßweise ('pulsend') durch Siebe ('Pulsplatten' oder 'Siebböden') gepresst werden, wobei bestimmte Elemente von der einen Flüssigkeitsphase in die andere übertreten.

## **PUREX**

Abk. für **P**lutonium and **U**ranium **R**ecovery by **E**xtraction; Plutonium- und Uranrückgewinnung durch Extraktion. →[PUREX-Verfahren](#)

## **PUREX-Verfahren**

Verfahren zur →[Wiederaufarbeitung](#) abgebrannten Kernbrennstoffes zur Trennung von Uran und Plutonium von den Spaltprodukten und voneinander; nach Auflösen des bestrahlten Brennstoffes in Salpetersäure werden durch organische Lösungsmittel-extraktion – als organisches Lösungsmittel dient 30-prozentiges Tributylphosphat (TBP) in Kerosin – Uran und Plutonium in der organischen Phase gehalten, während die Spaltprodukte in der wässrigen, salpetersauren Phase verbleiben. Weitere Verfahrensschritte erlauben anschließend das Trennen von Uran und Plutonium voneinander.



Prinzip des PUREX-Verfahrens zur Trennung von Uran und Plutonium von den Spaltprodukten

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## PWR

Abk. für **P**ressurized **W**ater **R**eactor; →**Druckwasserreaktor**

# Q

## Qualitätsfaktor

Begriff aus der Strahlendosimetrie; aufgrund der Feststellung, dass die Wahrscheinlichkeit →**stochastischer Strahlenwirkungen** nicht nur von der Energiedosis, sondern auch von der Strahlenart abhängt, wurde zur Definition der →**Äquivalentdosis** der Qualitätsfaktor eingeführt. Der Qualitätsfaktor berücksichtigt den Einfluss der für die verschiedenen Strahlenarten unterschiedlichen Energieverteilungen im zellulären Bereich im bestrahlten Körper. Der Qualitätsfaktor Q ist eine Funktion des linearen Energietransfers L. →**lineares Energieübertragungsvermögen**

## Qualitätsfaktor, effektiver

In der Strahlenschutzverordnung von 1989 wurde der Qualitätsfaktor Q oder der effektive Qualitätsfaktor  $Q_{\text{eff}}$  benutzt, um die von der Strahlenart abhängige Wahrscheinlichkeit stochastischer Strahlenwirkungen zu berücksichtigen. Die Werte des effektiven Qualitätsfaktors  $Q_{\text{eff}}$  hängen von den Expositionsbedingungen und der Art und Energie der einfallenden Strahlung ab. Im Fall einer Ganzkörperbestrahlung von außen und im Allgemeinen auch für andere Expositionsbedingungen sollten die folgenden Werte des effektiven Qualitätsfaktors  $Q_{\text{eff}}$  benutzt werden:

Strahlung	$Q_{\text{eff}}$
Röntgen- und Gammastrahlung, Betastrahlung, Elektronen, Positronen	1
Neutronen nicht bekannter Energie	10
Alphastrahlung	20

Effektive Qualitätsfaktoren nach StrlSchV von 1989

Heute sind die →**Strahlungs-Wichtungsfaktoren** gemäß Anlage VI StrlSchV zu verwenden.

## Qualitätsfaktor, mittlerer

Der mittlere Qualitätsfaktor  $\bar{Q}$  kann an einem Punkt im →**Strahlenfeld** definiert werden, wenn dort die Strahlung kein festes →**lineares Energieübertragungsvermögen** aufweist, sondern eine spektrale Verteilung des unbeschränkten linearen Energieübertragungsvermögens besitzt. Wenn  $D(L)$  dL die Gewebe-Energiedosis an diesem Punkt im Intervall  $(L, L+dL)$  ist, so ist der mittlere Qualitätsfaktor definiert als

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

D ist dabei die an diesem Punkt insgesamt absorbierte Gewebe-Energiedosis (s. auch DIN 6814-3 →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Qualitätssicherung

Zur Genehmigung kerntechnischer Anlagen ist die Sicherung der Qualität der zum Bau verwendeten Materialien, Apparate, Behälter, Rohrleitungen, Messeinrichtungen u.a. unbedingte Voraussetzung. Die vom Genehmigungsgeber geforderten Maßnahmen (darunter die verschiedenen Prüfungen) werden in einem Qualitätssicherungsprogramm erfasst. Vor-, Bau- und Abnahmeprüfungen erfolgen durch unabhängige Sachverständige.

## Qualitätssicherungs-Richtlinie (QS-RL)

Richtlinie zur Durchführung der Qualitätssicherung bei Röntgeneinrichtungen zur Untersuchung oder Behandlung von Menschen nach §§ 16 und 17 der Röntgenverordnung

## Quant

Kleinste, unteilbare Einheit einer physikalischen Größe; im Strahlenschutz bewirkt die Quantelung der Energie, dass Photonenstrahlung als Vielfaches von Strahlungsquanten der Energie  $E = h \nu$  ( $h$ =Planck'sches Wirkungsquantum,  $\nu$  = Frequenz) angesehen werden kann. Im Teilchenbild der →[elektromagnetischen Strahlung](#) ist ein Photon gleich einem Strahlungsquant.

## Quantenausbeute

In Verbindung mit Photonenstrahlung verwendeter Ausdruck für die →[Emissionswahrscheinlichkeit](#)

## Quellhöhe

Höhe der Quelle einer Emission über Grund; sie ist ein Parameter bei der Ausbreitungsrechnung. Bei Emissionen kann durch thermischen Auftrieb der Luft die effektive Quellhöhe über der baulichen Kaminhöhe liegen (thermische Überhöhung).

## Quellstärke

Als Quellstärke bezeichnet man die je Zeiteinheit  $dt$  aus einer Strahlenquelle austretenden Teilchenzahl  $dN_a$ :  $dN_a / dt$ . Die Quellstärke ist damit der gesamte Teilchenfluss durch die Oberfläche einer Strahlenquelle.

## Quenching

Unterdrückung der Lichtausbeute bei der Messung mit einem →[Flüssigszintillationszähler](#); Ursache des Quenching kann z.B. eine Trübung des Szintillator-Cocktails bei der Messung von ölhaltigen Flüssigkeiten sein. Quenching führt zu einem Unter-

schätzen der Probenaktivität und muss im Rahmen der Kalibrierung über einen sog. Quenchfaktor korrigiert werden.

# R

## R

Kurzzeichen für →[Röntgen](#)

### Rad

Frühere Einheit der →[Energiedosis](#) (Rad: radiation absorbed dose); Kurzzeichen: rd oder rad. Ein Rad entspricht der Absorption einer Strahlungsenergie von 1/100 Joule pro Kilogramm Materie. Die neue Einheit der Energiedosis ist das Joule/Kilogramm mit dem besonderen Einheitenamen →[Gray](#), Kurzzeichen: Gy; 1 rd = 1/100 Gy.

### Radikale

Chemisch besonders aktive Moleküle oder Atome; sie können durch ionisierende Strahlung in einer Zelle erzeugt werden und können dann durch chemische Sekundärreaktionen Zellschädigungen verursachen. Einfache Radikale sind z.B. OH<sup>-</sup> und H<sup>+</sup>

### Radioaktive Erzeugnisse

→[Erzeugnisse, radioaktive](#)

### Radioaktive Stoffe

Radioaktive Stoffe sind Substanzen, die infolge von Energieumwandlungen im Atomkern spontan Materieteilchen oder elektromagnetische Strahlung, sog. →[Gammaquanten](#) aussenden. Als Materieteilchen sind für den Strahlenschutz Alphateilchen (→[Alpha-Zerfall](#)), Beta-Teilchen (→[Beta-Zerfall](#)) und Neutronen von Bedeutung. Radioaktive Stoffe sind gekennzeichnet durch ihre →[Aktivität](#) und ihre →[Halbwertszeit](#).

Radioaktive Stoffe im Sinne des Atomgesetzes sind:

- Kernbrennstoffe, das sind
  - a) Plutonium 239 und Plutonium 241,
  - b) mit den Isotopen 235 oder 233 angereichertes Uran,
  - c) jeder Stoff, der einen oder mehrere der in den Buchstaben a und b genannten Stoffe enthält,
  - d) Stoffe, mit deren Hilfe in einer geeigneten Anlage eine sich selbst tragende Kettenreaktion aufrechterhalten werden kann und die in einer Rechtsverordnung bestimmt werden.
- Sonstige radioaktive Stoffe, das sind Stoffe, die, ohne Kernbrennstoff zu sein,
  - a) ionisierende Strahlen spontan aussenden,
  - b) einen oder mehrere der in Buchstabe a erwähnten Stoffe enthalten oder mit solchen Stoffen kontaminiert sind.

Die Strahlenschutzverordnung unterteilt weiter in:



- Umschlossene radioaktive Stoffe: 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 0,2 cm betragen
- →[offene radioaktive Stoffe](#): alle radioaktiven Stoffe mit Ausnahme der umschlossenen radioaktiven Stoffe
- kurzlebige Radionuklide: radioaktive Stoffe mit einer Halbwertszeit bis zu 100 Tagen
- langlebige Radionuklide: radioaktive Stoffe mit einer Halbwertszeit von mehr als 100 Tagen

## Radioaktive Umwandlung

→[Radioaktiver Zerfall](#)

### Radioaktiver Zerfall

Die spontane Umwandlung eines Atomkerns in einen anderen Atomkern oder in einen anderen Energiezustand desselben Kerns. Jeder Zerfallsprozess hat eine bestimmte →[Halbwertszeit](#), das ist die Zeit, in der die Hälfte der vorhandenen radioaktiven Kerne zerfallen sind.

### Radioaktives Gleichgewicht

→[Gleichgewicht, radioaktives](#)

### Radioaktives Isotop

Synonym für →[Radionuklid](#)

### Radioaktive Quellen

→[Radioaktive Stoffe](#)

### Radioaktivität

Eigenschaft bestimmter Stoffe, sich ohne äußere Einwirkung spontan umzuwandeln und dabei eine charakteristische Strahlung auszusenden. Die Radioaktivität wurde 1896 von →[Becquerel](#) am Uran entdeckt. Wenn die Stoffe, genauer gesagt die Radionuklide, in der Natur vorkommen, spricht man von natürlicher Radioaktivität; sind sie ein Produkt von Kernumwandlungen in Kernreaktoren oder Beschleunigern, so spricht man von künstlicher Radioaktivität. Über 2.750 Radionuklide sind heute bekannt. Kennzeichnend für jedes Radionuklid ist seine →[Halbwertszeit](#), das ist die Zeit, in der sich in einer vorgegebenen Menge die Hälfte der Atomkerne umwandelt. Es sind Halbwertszeiten von mehreren Milliarden Jahren (Uran-238; noch sehr viel langlebiger ist Tellur-128 mit einer Halbwertszeit von  $7,2 \cdot 10^{24}$  Jahren) bis zu millisekunden Sekunden (Po-212) bekannt. Charakteristisch sind auch die beim Zerfall emittierte Strahlung und ihre Energie. So zerfällt Radium-226 unter Aussendung von →[Alphastrahlung](#), während Iod-131 →[Betastrahlung](#) emittiert.

## Radioaktivität, induzierte

Radioaktivität, die durch Bestrahlung, z.B. mit Neutronen, erzeugt wird.

## Radioaktivität, künstliche

Eigenschaft von radioaktiven Stoffen, die durch menschlichen Einfluss gebildet wurden; die Erzeugung dieser Stoffe kann in Kernreaktoren, Beschleunigeranlagen, Neutronengeneratoren oder auch durch Kern(waffen)explosionen erfolgen. Primärer Erzeugungsprozess ist immer eine Kernreaktion. Häufig vorkommende Reaktionen sind Neutroneneinfang (Beispiel:  $\text{Co-59} + n \rightarrow \text{Co-60}$ ) und die Kernspaltung. Künstliche Radionuklide werden auch für medizinische Zwecke erzeugt, z.B. für Bestrahlungsquellen in der Krebstherapie oder kurzlebige Substanzen für die nuklearmedizinische Diagnostik (z.B. Tc-99m zur Schilddrüsendiagnostik).

## Radioaktivität, natürliche

Eigenschaft natürlich vorkommender Radionuklide; man unterscheidet zwischen

- natürlichen Radionukliden, die durch Kernreaktionen der kosmischen Strahlung ständig neu gebildet werden, das sind kosmogene Radionuklide ([→Radionuklide, kosmogene](#)) und
- primordialen (ursprünglich vorhandenen) Radionukliden ([→Radionuklide, primordiale](#)), die seit Entstehen der Erde vorhanden sind und aufgrund ihrer langen Halbwertszeit noch nicht zerfallen sind, sowie
- den aus den primordialen Radionukliden U-238, U-235 und Th-232 entstehenden Radionukliden. [→Zerfallsreihen, natürliche](#)

## Radioaktivität, natürliche, im Menschen

Aufgrund der natürlichen Radioaktivität in der Umwelt nimmt der Mensch mit der Atemluft und der Nahrung Radioaktive Stoffe auf. Die im Mittel in einem Erwachsenen vorhandene natürliche Radioaktivität zeigt folgende Tabelle:

Nuklid	Aktivität in Bq	Nuklid	Aktivität in Bq
H-3	25	Ra-226	1
Be-7	25	kurzlebige Rn-222-Zerfallsprodukte	15
C-14	3.800	Pb-210, Bi-210, Po-210	60
K-40	4.200	Th-232	0,1
Rb-87	650	Ra-228, Ac-228, Th-228, Ra-224	1,5
U-238, Th-234, Pa-234m, U-234	4	kurzlebige Rn-220-Zerfallsprodukte	30
Th-230	0,4		

Natürliche radioaktive Stoffe im Menschen

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Radioaktivität, natürliche, in Baustoffen

Aufgrund des unterschiedlichen Gehalts an natürlichen radioaktiven Stoffen in der Erdrinde und der starken regionalen Schwankungen weisen auch die Baustoffe sehr unterschiedliche Gehalte an radioaktiven Stoffen auf. Die für die Strahlenexposition in Wohnhäusern relevanten Nuklide sind K-40, Ra-226 und Th-232. Die folgende Tabelle zeigt den Schwankungsbereich der natürlichen Radioaktivität in einigen Baustoffen in Deutschland.

Material	Spezifische Aktivität in Bq/kg					
	K-40		Ra-226		Th-232	
	Bereich	Mittelwert	Bereich	Mittelwert	Bereich	Mittelwert
Granit	600-4000	1000	30-500	100	17-311	120
Basalt	130-380	270	6-36	26	9-37	29
Kalkstein, Marmor	<40-240	90	4-41	24	2-20	5
Kies, Sand	3-1200	380	1-39	15	1-64	16
Natürlicher Gips	6-380	70	2-70	10	1-100	7
Tuff, Bims	500-2000	1000	<20-200	100	30-300	100
Ton, Lehm	300-2000	1000	<20-90	40	18-200	60
Ziegel, Klinker	100-2000	700	10-200	50	12-200	52
Beton	50-1300	450	7-92	30	4-71	23
Kalksandstein	40-800	200	6-80	15	1-60	10
Leichtbeton	700-1600	1100	<20-90	30	<20-80	30

Gehalt natürlicher radioaktiver Stoffe in Baumaterialien in Deutschland  
Quelle: VOG04

## Radioaktivität, natürliche, in Nahrungsmitteln

Aufgrund der natürlichen Radioaktivität in der Umwelt nimmt der Mensch mit der Nahrung radioaktive Stoffe auf. Die im Mittel in verschiedenen Nahrungsmitteln enthaltenen Aktivitäten radioaktiver Stoffe und die Aktivitätsgehalte im Wasser zeigen folgende Tabellen.

Nahrungsmittel	Spezifische Aktivität in Bq/kg Frischmasse				
	K-40	U-238	Ra-226	Pb-210	Po-210
Getreide	150	0,1	0,3	1,4	0,3
Kartoffeln	150	0,6	0,2	0,1	0,1
Kohl	130	0,3	0,2	0,3	0,2
Möhren	100	0,7	0,2	0,6	0,6
Obst	50	0,6	0,2	0,2	0,1
Beerenobst	140	0,4	2,2	8,4	1,6
Pilze	120	1,3	1,2	1,2	1,3
Fleisch	90	0,01	0,1	0,5	2
Fischfleisch	100	4,1	1,5	0,8	1,1
Milch	50	k.A.	0,025	0,04	0,024

Mittelwert der spezifischen Aktivität natürlicher radioaktiver Stoffe in einigen Nahrungsmitteln in Deutschland; die Maximalwerte können bei K-40 einen Faktor 3 und bei den übrigen Radionukliden einen Faktor 10 über dem Mittelwert liegen.

k.A. = keine Angabe (Quelle: VOG04)

Insbesondere bei Pilzen (Maronenröhrlingen) kann die Radioaktivität zusätzlich durch Cs-137 aus dem Tschernobyl-Unfall maßgeblich bestimmt werden. Die spezifische Aktivität kann in einzelnen Gebieten noch über 1 kBq/kg Frischmasse liegen.

Nuklid	Aktivitätskonzentration in mBq/l			
	Meerwasser Nord-/Ostsee	Grundwasser	Trinkwasser	Mineralwasser
H-3	20 – 100	<40 – 400	200 <sup>1)</sup>	-
K-40	11800 – 12300	11 – 15000	3 – 800	30 – 16000
Pb-210	0,4 – 2	<1 – 200	<0,2 – 170	2 – 53
Po-210	0,6 – 1,9	<1 – 80	<0,1 – 40	0,4 – 9
Rn-222	k.A.	$2 \cdot 10^3 - 1,5 \cdot 10^6$	$< 1 \cdot 10^3 - 1,6 \cdot 10^6$	-
Ra-226	0,8 – 8	<4 – 400	<0,5 – 32	<0,5 – 310
Ra-228	0,8 – 8	<1 – 30	<0,5 – 23	k.A.
U-234	47	k.A.	<0,5 – 350	0,4 – 2800
U-238	40 – 44	1 – 200	<0,5 – 310	0,4 – 1400
Th-228	0,004 – 0,3	k.A.	0,2 – 6	1 – 56
Th-232	0,0004 – 0,029	0,4 – 70	<0,1 – 4	k.A.

Konzentration wichtiger natürlicher radioaktiver Stoffe in Wasser (Deutschland); für Rn-222 wurden in Einzelfällen auch Werte gemessen, die deutlich über der hier angegebenen oberen Bereichsgrenze liegen.  
k.A. = keine Angabe, <sup>1)</sup> Medianwert  
(Quelle: VOG04)

## Radiochemie

Teilgebiet der Chemie, das sich mit Reaktionen, Synthesen und Analysen befasst, bei denen Reaktionspartner radioaktiv sind.

## Radioelement

Element, das keine stabilen Isotope besitzt; der Begriff sollte nicht in der Bedeutung 'Radionuklid' benutzt werden.

## Radiographie

Verwendung durchdringender ionisierender Strahlung zur Untersuchung von Materialien; die Strahlung schwärzt einen hinter der durchstrahlten Materialprobe angebrachten Film. Aus den Schwärzungsunterschieden kann auf Fehlstellen oder Inhomogenitäten im Material geschlossen werden.

## Radioiod

Radioaktive Isotope des Iod.

## **Radioisotopengenerator**

Anlage, welche die beim radioaktiven Zerfall freigesetzte Wärme direkt in elektrische Energie umwandelt; solche Generatoren arbeiten mit thermoelektrischen oder thermionischen Konvertern. Sie werden z.B. als Energiequelle bei sonnenfernen Welt- raummissionen eingesetzt.

## **Radiokohlenstoff**

→[Kohlenstoff-14](#) (C-14).

## **Radiologie**

Im weiteren Sinne 'medizinische Strahlenkunde', bestehend aus theoretischer Radiologie (Strahlenbiologie, medizinische Strahlenphysik) und klinischer Radiologie. Radiologie im engeren Sinne umfasst die Röntgendiagnostik und die Strahlentherapie.

## **Radiologische Notstandssituation**

→[Notstandssituation, radiologische](#)

## **Radiologische Waffe**

Waffe, deren Wirkung auf der Verbreitung radioaktiven Materials und damit auf der Kontamination des angegriffenen Gebiets beruht, im Gegensatz zur nuklearen Waffe, deren Wirkung primär auf der Energiefreisetzung bei der unkontrollierten Kettenreaktion beruht. Zur Herstellung einer solchen Waffe ist weniger technologisches Wissen erforderlich, weil hierbei ein konventioneller Sprengkörper verwendet wird, der mit radioaktivem Material umgeben ist (schmutzige Bombe, engl. dirty bomb). In der englischen Fachliteratur wird hierfür die Bezeichnung Radiological Dispersion Device – RDD verwendet.

Der potentielle Einsatz solcher Waffen wird insbesondere mit dem Terrorismus in Verbindung gebracht.

## **Radiolyse**

Dissoziation von Molekülen durch Strahlung; Beispiel: Wasser dissoziiert unter Strahleneinwirkung in Wasserstoff und Sauerstoff.

## **Radiometrische Analyse**

Quantitative chemische Analyse von radioaktiven Stoffen, die auf der Messung der Aktivität von Bestandteilen beruht.

## **Radionuklid**

Instabiles Nuklid, das spontan ohne äußere Einwirkung unter Strahlungsemission zerfällt; über 2750 natürliche und künstliche Radionuklide sind bekannt. →[Nuklid](#)



## Radionuklidbatterie

Batterie, welche zur Erzeugung elektrischer Energie die Energie nutzt, die beim radioaktiven Zerfall frei wird. Dies kann z.B. durch Umwandlung der erzeugten Wärme erfolgen (Thermoelektrischer Isotopengenerator, engl.: Thermoelectric Isotope Generator (RTG)), durch Umwandlung der Infrarotstrahlung des erhitzten radioaktiven Stoffs (Thermophotovoltaischer Isotopengenerator) oder durch Nutzung der Glühemission einer Photokathode (Thermoionischer Isotopengenerator).

s. auch Wikipedia: Radionuklidbatterie

## Radionuklide, kosmogene

Durch Wechselwirkung der kosmischen Strahlung mit den Atomkernen der Atmosphäre entstehende Radionuklide.

Nuklid	Halbwertszeit	Nuklid	Halbwertszeit
H-3	12,3 a	P-32	14,3 d
Be-7	53,3 d	S-35	87,5 d
Be-10	1,6×10 <sup>6</sup> a	S-38	2,8 h
C-14	5730 a	Cl-34m	32 min
Na-22	2,6 a	Cl-36	3×10 <sup>5</sup> a
Na-24	15 h	Cl-38	37,2 min
Mg-28	20,9 h	Cl-39	56 min
Si-31	2,6 h	Ar-39	269 a
Si-32	101 a	Kr-85	10,7 a

Kosmogene Radionuklide

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Radionuklide, primordiale

Radionuklide, die von Anfang an seit der Entstehung der Materie in der Welt vorhanden sind (von lat.: primordium – erster Anfang, Ursprung) und wegen ihrer langen Halbwertszeit noch nicht zerfallen sind sowie die aus den primordialen Radionukliden U-238, U-235 und Th-232 entstehenden Radionuklide der zugehörigen Zerfallsreihen (→ [Zerfallsreihen, natürliche](#)). Nach heutigen Erkenntnissen liegt die Entstehung der Welt (Urknall) etwa 10<sup>10</sup> Jahre zurück. Radionuklide mit Halbwertszeiten > 10<sup>9</sup> Jahre sollten deshalb aus dieser Urphase noch vorhanden sein. In der folgenden Tabelle sind die primordialen Radionuklide außerhalb der natürlichen Zerfallsreihen zusammengefasst. Für den Strahlenschutz von Bedeutung sind lediglich K-40 und in deutlich geringerem Umfang Rb-87.

Nuklid	T <sub>1/2</sub> / a	Nuklid	T <sub>1/2</sub> / a
K-40	1,3 10 <sup>9</sup>	La-138	1,1 10 <sup>11</sup>
V-50	1,4 10 <sup>17</sup>	Nd-144	2,3 10 <sup>15</sup>
Ge-76	1,5 10 <sup>21</sup>	Nd-150	1,7 10 <sup>19</sup>
Se-82	1,0 10 <sup>20</sup>	Sm-147	1,1 10 <sup>11</sup>
Rb-87	4,8 10 <sup>10</sup>	Sm-148	7,0 10 <sup>15</sup>
Zr-96	3,9 10 <sup>19</sup>	Gd-152	1,1 10 <sup>14</sup>
Mo-100	1,2 10 <sup>19</sup>	Lu-176	2,6 10 <sup>10</sup>
Cd-113	9,0 10 <sup>15</sup>	Hf-174	2,0 10 <sup>15</sup>
Cd-119	2,6 10 <sup>19</sup>	Ta-180	1,2 10 <sup>15</sup>
In-115	4,4 10 <sup>14</sup>	Re-187	5,0 10 <sup>10</sup>
Te-123	1,2 10 <sup>13</sup>	Os-186	2,0 10 <sup>15</sup>
Te-128	7,2 10 <sup>24</sup>	Pt-190	6,5 10 <sup>11</sup>
Te-130	2,7 10 <sup>21</sup>	Bi-209	1,9 10 <sup>19</sup>

Primordiale Radionuklide außerhalb von Zerfallsreihen und ihre Halbwertszeiten;

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Radionuklidabzug

Laboreinrichtung zum Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen; ein Radionuklidabzug ist ein Laborabzug, an den im Hinblick auf den Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen besondere Anforderungen gestellt werden, z.B. an die Dekontaminierbarkeit oder die Filterung der Abluft. Die Anforderungen an Radionuklidabzüge sind in der DIN 25466 (→[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)) geregelt.



Beispiel für einen Radionuklidabzug; die Frontscheibe kann wahlweise in Acrylglas oder Bleiglas ausgeführt werden.

Quelle: <http://www.neuberger-holz.at>

## Radionuklidlabor

Spezieller Arbeitsbereich, in dem mit radioaktiven Stoffen, in der Regel offenen radioaktiven Stoffen, umgegangen wird; an Radionuklidlaboratorien werden je nach Art und Aktivität der radioaktiven Stoffe und der Art des Umgangs verschiedene Anforderungen gestellt. Entsprechend gibt es fünf verschiedene Schutzklassen S0 bis S4, die in der DIN 25425 Teil 1 definiert sind und sich an den Freisetzungsmöglichkeiten orientieren. Außerdem unterscheidet man nach Handhabungsarten: solche mit geringer Freisetzungswahrscheinlichkeit und solche mit erhöhter Freisetzungswahrscheinlichkeit. Zu letzterer gehören z.B. der Umgang mit pulverförmigen radioaktiven Stoffen, Erhitzen und Eindampfen oder der Umgang mit leicht flüchtigen radioaktiven Stoffen.

Zurzeit wird die DIN 25425 überarbeitet. Nach dem Entwurf der neuen Norm sollen nur noch drei Schutzklassen, künftig Schutzkategorien genannt, vorgesehen werden. Während bei der niedrigsten Kategorie SK1 in der Regel eine normale Laborausstattung ausreicht, sind für die höheren Schutzkategorien mindestens Radionuklidabzüge vorgeschrieben, je nach Umgang und Aktivität bis hin zu →**Heißen Zellen**.  
→**DIN-Normen zum Strahlenschutz**

## Radioökologie

Die Radioökologie setzt sich mit dem Verhalten und der Auswirkung radioaktiver Stoffe in der Biosphäre auseinander. Sie umfasst Produktion und Freisetzung, den Transport durch den abiotischen Teil der Biosphäre, die Nahrungsketten, die Aufnahme und Verteilung im Menschen und die Auswirkung der Strahlung auf Lebewesen.

## Radiopharmakon

Ein Radiopharmakon (pl.: Radiopharmaka) ist ein Radionuklid oder die chemische Verbindung eines Radionuklids, das in der Nuklearmedizin zu diagnostischen oder therapeutischen Zwecken eingesetzt wird. Diagnostische Radiopharmaka spielen eine wichtige Rolle bei nuklearmedizinischen Untersuchungen wie der Single-Photon-Emission-Computertomographie (SPECT) und der Positronenemissionstomographie (PET). Dabei werden radioaktiv markierte Trägermoleküle zur Erkennung von verschiedenen Krankheitsbildern eingesetzt. Der besondere Nutzen der Radiopharmaka für die Diagnose liegt darin, dass mit ihrer Hilfe Stoffwechselfunktionen sichtbar gemacht werden können – selbst kleinste Veränderungen im Körper lassen sich zielgerichtet aufspüren.

Es gibt z.B. speziell für die Positronenemissionstomographie (PET) entwickelte Produkte, die sich in Geweben mit einem erhöhten Glukosestoffwechsel anreichern, wie er für Tumoren typisch ist. Andere bestehen aus radioaktiv markierten Antikörpern zur Erkennung von lokalen Infektionen und Entzündungsherden im Körper und sind für die Knochenmarkszintigraphie (mittels SPECT) geeignet. Sie unterstützen Therapieentscheidungen, beispielsweise bei Patienten mit Knochenentzündungen.

## Radiophotolumineszenz

Eigenschaft bestimmter Stoffe, bei Bestrahlung mit ionisierender Strahlung Fluoreszenzzentren zu bilden, die bei Anregung mit UV-Licht in einem anderen Spektralbereich Licht emittieren. Die emittierte Lichtintensität ist bei geeigneter Materialwahl der Zahl der Leuchtzentren und damit der eingestrahlten Dosis proportional. → [Phosphatglasdosimeter](#)

## Radioskopie

Bildgebendes Verfahren bei der Durchstrahlungsprüfung mit Röntgenstrahlen; die durchdringenden Strahlen werden nicht mit einem Film, sondern über Detektoren registriert, digitalisiert und in ein Bild umgewandelt, welches auch gespeichert und anschließend rechnergestützt ausgewertet werden kann. Radioskopie wird zunehmend in der Materialprüfung und Produktkontrolle eingesetzt. Ein wesentlicher Vorteil gegenüber der konventionellen „Filmtechnik“ ist die Möglichkeit, dynamische Prüfungen durchzuführen, bei denen das Bauteil während der Prüfungen bewegt und somit aus verschiedenen Richtungen durchstrahlt werden kann.

## Radiotoxizität

Maß für die Gesundheitsschädlichkeit eines Radionuklides; Strahlenart, Strahlenergie, Resorption im Organismus, Verweildauer im Körper (→ [Halbwertszeit](#), [effektive](#)) usw. beeinflussen den Grad der Radiotoxizität eines Radionuklides.

## Radium

Radioaktives Element mit der Kernladungszahl 88. In der Natur kommt Radium zusammen mit Uran vor, das über eine Reihe von Alpha- und Betaemissionen in Radium zerfällt (→ [Zerfallsreihen](#), [natürliche](#)). Wichtige Radium-Isotope der natürlichen Zerfallsreihen sind: Ra-228 ( $\beta^-$ ,  $T_{1/2} = 5,7$  a); Ra-226 ( $\alpha$ ,  $T_{1/2} = 1600$  a); Ra-224 ( $\alpha$ ,  $T_{1/2} = 3,64$  d)

## Radon

Aufgrund der sehr großen Halbwertszeiten enthält die Erdkruste seit ihrer Entstehung u.a. die Radionuklide Uran-238, Uran-235 und Thorium-232. Diese wandeln sich über eine Reihe radioaktiver Zwischenprodukte mit sehr unterschiedlichen Halbwertszeiten um, bis als Endprodukt stabiles Blei entsteht.

Zu diesen Zwischenprodukten gehören drei Radon-Nuklide: Radon-222 (Halbwertszeit 3,8 Tage) entsteht als Zerfallsprodukt von Radium-226, das aus dem radioaktiven Zerfall von Uran-238 hervorgeht. In der Zerfallsreihe des Thorium-232 tritt das Radon-220 (Halbwertszeit 54 s) und in der Zerfallsreihe des U-235 das Radon-219 (Halbwertszeit 3,96 s) auf.

Überall dort, wo Uran und Thorium im Erdboden vorhanden sind, wird Radon freigesetzt und gelangt in die Atmosphäre oder in Häuser. Von entscheidender Bedeutung für die Radonkonzentration in der Luft ist die Radiumkonzentration des Bodens und dessen Durchlässigkeit für dieses radioaktive Edelgas. Die Radonkonzentration in der Bodenluft (1 m Tiefe im Erdboden) beträgt in Deutschland etwa  $10 \text{ kBq/m}^3$  (s. Abb.). Die Radonkonzentration in der bodennahen Atmosphäre ist von der Konzentration in der Bodenluft abhängig und ist neben den regionalen auch jahreszeitlichen und klimatisch bedingten Schwankungen unterworfen.

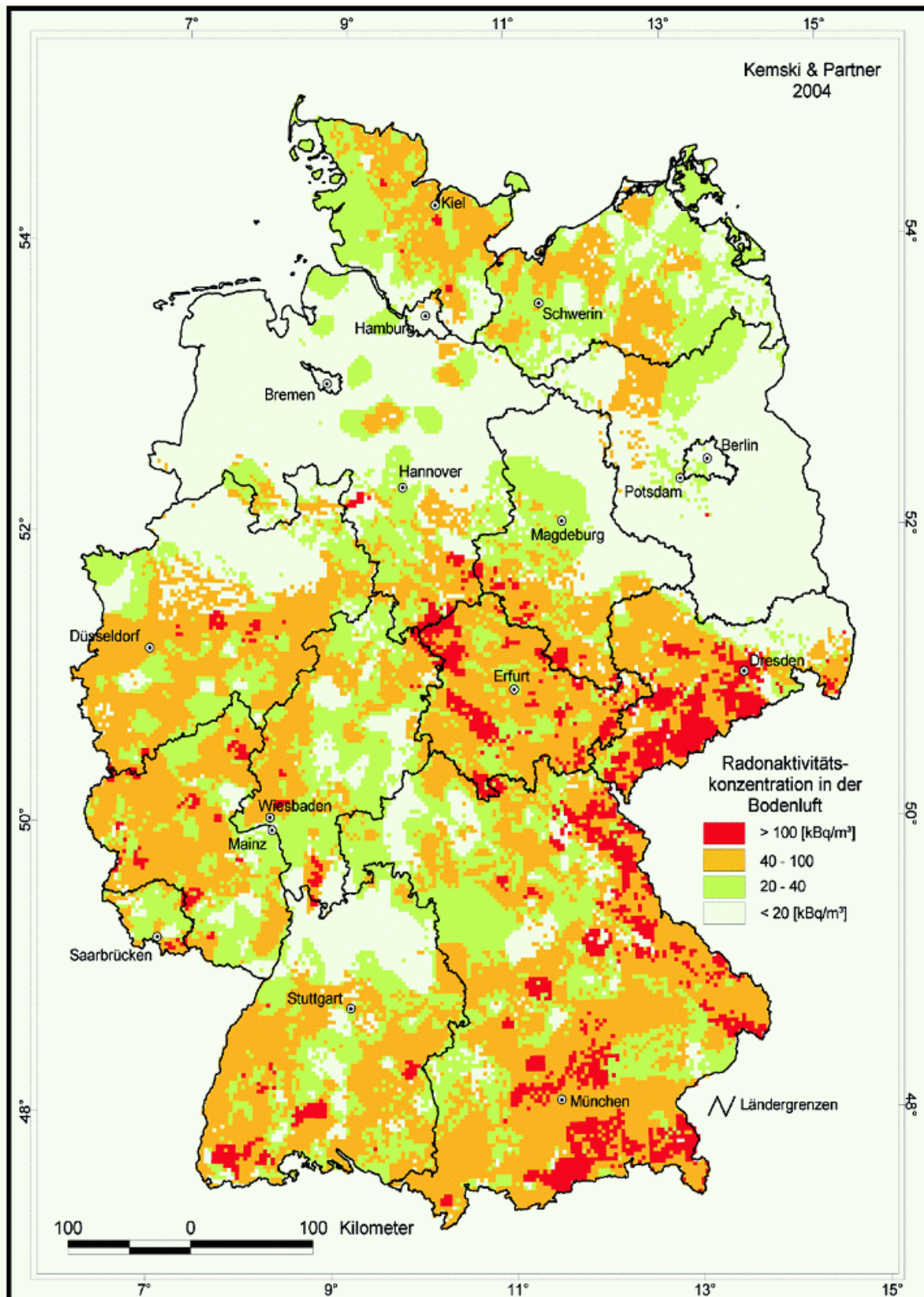
In Gebäuden hängt die Radonkonzentration wesentlich von den baulichen Gegebenheiten ab. In Deutschland betragen die Jahresmittelwerte der Radonkonzentrationen in der bodennahen Luft etwa  $15 \text{ Bq/m}^3$  ( $5 \text{ Bq/m}^3 - 30 \text{ Bq/m}^3$ , Maximalwerte bis  $1500 \text{ Bq/m}^3$ ) und in Gebäuden rund  $60 \text{ Bq/m}^3$ . Radonkonzentrationen in Erdgeschosswohnräumen auch oberhalb von  $200 \text{ Bq/m}^3$  sind nicht ungewöhnlich; Maximalwerte in Bergbaugebieten liegen bei  $15 \text{ kBq/m}^3$  im Jahresmittel.

Für die Strahlenexposition des Menschen ist nicht so sehr das Radon selbst von Bedeutung, vielmehr sind es die kurzlebigen Zerfallsprodukte. Diese gelangen mit der Atemluft in den Atemtrakt, wo ihre energiereiche Alphastrahlung strahlenempfindliche Zellen erreichen kann. Besonders relevant sind dabei die Luftröhrenverzweigungen (Bronchien) und die Lungenbläschen (Alveolen). Die kurzlebigen Zerfallsprodukte des Radons verursachen mit  $1,1 \text{ mSv}$  pro Jahr mehr als die Hälfte der gesamten effektiven Dosis durch natürliche Strahlenquellen.

Für Sanierungsmaßnahmen an Wohnhäusern gibt es Referenzwerte die bei einigen  $100 \text{ Bq/m}^3$  liegen: EU-Kommission  $400 \text{ Bq/m}^3$ , SSK  $250 \text{ Bq/m}^3$

Die berufliche Strahlenexposition durch Radon ist insbesondere in Bergwerken von Bedeutung sowie in Heilbädern (→[Strahlenexposition, zivilisatorische](#), →[Radon-Heilbad](#)). Lit.: SSK47, VOG04





Radonkarte von Deutschland (Quelle: BfS)

## Radon-Diffusionskammer

Passives Nachweisgerät für Radon; in einer Dose, die mit einem Filter abgedeckt ist, befindet sich ein →[Kernspurdetektor](#). Das Edelgas Radon diffundiert durch den Filter

in die Dose, während die in der Raumluft bereits enthaltenen, an Aerosole angelagerten Zerfallsprodukte durch den Filter zurückgehalten werden. In der Diffusionskammer zerfallen das Radon und die dabei entstehenden radioaktiven Folgeprodukte weiter. Die dabei entstehenden Alphateilchen werden vom Kernspurdetektor registriert.

## Radon-Dosimeter, elektronisches

Elektronische Radon-Dosimeter messen die Aktivität der Radon-Zerfallsprodukte in der Luft. Dazu wird die Luft mit einer Pumpe durch ein Filter gesaugt, auf dem sich die Radon-Zerfallsprodukte abscheiden. Das Filter wird z.B. mit einem Si-Halbleiterdetektor spektrometrisch ausgemessen. Auf diese Weise können die Aktivitätskonzentrationen der kurzlebigen Radon-Töchter und die →**potentielle Alphaenergie-Exposition** ermittelt werden. Da die Dosis im Wesentlichen durch die Radon-Zerfallsprodukte bestimmt wird, kann über die Tragezeit die Dosis ermittelt werden.



Beispiel für ein elektronisches Dosimeter zur Ermittlung der Exposition durch Radon und Radon-Folgeprodukte: DOSE<sub>man</sub>-PRO der Firma SARAD ([www.sarad.de](http://www.sarad.de))

Funktion:

Die Messluft wird mittels interner Pumpe durch einen Filter gesaugt, über dem ein 150mm<sup>2</sup> Si-Detektor positioniert ist. Dieser ist mit einem Alphaspektrometer verbunden, so dass die Aktivität der auf dem Filter abgeschiedenen Radonfolgeprodukte sowie langlebiger Alphastrahler nuklidspezifisch (ROI-Analyse) bestimmt werden kann.

Messbereich äquivalent Radon (Herstellerangaben):

0,1Bq/m<sup>3</sup> ... 4MBq/m<sup>3</sup>

Dosis: 0 ... 10000µSv;

Alarmfunktion optisch und akustisch bei Dosis-Grenzwertüberschreitung und entladener Batterie

## Radon-Heilbad

In Radon-Heilbädern und in Radon-Heilstollen wird die ionisierende Wirkung des Radons und seiner Folgeprodukte verwendet, um schmerzlindernde und entzündungshemmende Wirkungen zu erzielen. Die natürlichen radioaktiven Stoffe werden über die Atemluft (Heilstollen, Inhalatorien), die Haut (in Bädern) oder über Trinkkuren zugeführt.

Im Wasser muss dabei für therapeutische Anwendungen die Radon-Aktivitätskonzentration mindestens ca. 400 Bq/l betragen, sie kann aber auch deutlich höher liegen (Sibyllenbad: 2000 Bq/l). Bei Inhalationsanwendungen beträgt die Mindestkonzentration in der Atemluft ca. 40 kBq/m<sup>3</sup>. Beispiel für den Gasteiner Heilstollen: Mittelwert 44 kBq/m<sup>3</sup>, Maximalwert 160 kBq/m<sup>3</sup>.

Die Patienten erhalten durch die Anwendungen eine Strahlenexposition, die in der Regel deutlich unter denen für die Beschäftigten liegt. So beträgt die mittlere effektive Dosis im Gasteiner Heilstollen ca. 0,15 mSv/h und führt bei einer typischen Kur mit 12 einstündigen Anwendungen zu einer effektiven Dosis von 1,8 mSv. Für den Lokführer der dortigen Stollenbahn ergibt sich bei 100 h Aufenthalt im Jahr dagegen eine effektive Dosis von 15 mSv. (VOG04)



## Radon-Messung, Aktivkohleverfahren

Das Aktivkohleverfahren ist ein passives Messverfahren zur Ermittlung der Radonkonzentration in der Raumluft. Der Messbehälter enthält eine Aktivkohlepatrone und ein Trocknungsmittel. Der Behälter wird am Messort geöffnet und nach einer Expositionszeit von bis zu drei Tagen, während der das Radon in die Kohlepatrone diffundieren kann, luftdicht verschlossen. Die Auswertung erfolgt z.B. über Flüssigszintillation oder eine nuklidspezifische Gamma-Analyse. Der typische Messbereich liegt zwischen etwa 10 Bq/m<sup>3</sup> und einigen kBq/m<sup>3</sup>. (VOG04)

## Radon-Raumluftüberwachung

Zur Raumluftüberwachung auf Radon werden passive (→[Radonexposimeter](#)) und aktive Messgeräte eingesetzt. Die aktiven Messgeräte beruhen in der Regel auf dem Nachweis der Radon-Zerfallsprodukte in einer Messkammer, wobei entweder die emittierten Strahlenteilchen ein Zählgas ionisieren oder direkt mit einem Halbleiterdetektor spektroskopiert werden. Bei der Spektroskopie ist z.B. ein Si-Halbleiterdetektor in einer kleinen Hochvakuumkammer angeordnet, in die das Radongas hineindiffundiert. Die emittierten Alphateilchen des Radons und der Folgeprodukte werden spektroskopiert.



Beispiel für einen aktiven Radon-Monitor:

Radon Scout der Firma SARAD ([www.sarad.de](http://www.sarad.de))  
Eigenschaften (Herstellerangaben):  
2,3cm<sup>2</sup> Si-Halbleiterdetektor in HV-Kammer,  
einstellbare Integrationsintervalle  
Zeitlich aufgelöste Messreihe für Radon [Bq/m<sup>3</sup>],  
Temperatur [°C] und relative Feuchte [%]  
Datenspeicher für 670 Intervalle

## Radonexposimeter

Auf dem Prinzip der →[Radon-Diffusionskammer](#) basierendes passives Messgerät zur Ermittlung der Radonexposition; diese wird meistens in Bq h/m<sup>3</sup> angegeben. Das Gerät wird für Langzeitmessungen über Zeiträume von mindestens 1-3 Monaten im Aufenthaltsbereich von Personen deponiert. Es kann auch an der Arbeitskleidung, z.B. am Schutzhelm, getragen werden. Die Nachweisgrenze liegt bei ca. 10<sup>5</sup> Bq h/m<sup>3</sup>.

## Radonexposition

Begriff aus der Dosimetrie bezüglich Radon; die Radonexposition P ist definiert als Produkt aus der Radon-Aktivitätskonzentration in der Luft (in Bq/m<sup>3</sup>) und der Aufenthaltszeit in dieser Luft (in h). Die Radonexposition ist mit einer effektiven Folgedosis H verknüpft über die Beziehung

$$H = 8,0 \cdot 10^{-6} P \quad (\text{für Berufstätige})$$

$$H = 6,2 \cdot 10^{-6} P \quad (\text{für Personen der Bevölkerung})$$

Für natürlich vorkommende Radonexpositionen an Arbeitsplätzen gibt die Strahlenschutzverordnung eine Faustformel für die Umrechnung der Radon-222-Exposition in eine effektive Dosis vor:  $0,32 \cdot 10^6 \text{ Bq h / m}^3$  entspricht 1 mSv. Diesem Wert liegt ein Gleichgewichtsfaktor zwischen Rn-222 und seinen kurzlebigen Folgeprodukten von 0,4 zugrunde (§ 95 Abs. 13 StrlSchV). →[Gleichgewichtsfaktor](#)

Lit.: BMU03, VOG04

## **Radonkonzentration, gleichgewichtsäquivalente**

→[Gleichgewichtsfaktor](#)

## **Rasmussen-Bericht**

Nach dem Leiter der Arbeitsgruppe, die in den USA die Reactor-Safety-Study (WASH-1400) erstellte, benannte Reaktorsicherheitsstudie →[Risikostudie](#).

## **Ratemeter**

→[Mittelwertmesser](#)

## **Raumlufüberwachung**

Methode zur Ermittlung der Aktivitätskonzentration in der Raumluf am Arbeitsplatz. Die Raumlufüberwachung dient der Kontrolle der radiologischen Verhältnisse am Arbeitsplatz und der Festlegung geeigneter Strahlenschutzmaßnahmen.

In der Dosimetrie wird sie zur Inkorporationsüberwachung angewendet, wenn andere geeignete Messverfahren nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand verfügbar sind. Aus den Ergebnissen der Raumlufüberwachung werden dann Körperdosiswerte ermittelt, die individuell zugeordnet werden können (s. BMU07).

## **Rauschen**

Begriff aus der Messtechnik (Spektrometrie); unter Rauschen versteht man die Gesamtheit der statistischen Prozesse bei der Ladungssammlung im Detektor und der anschließenden elektronischen Verarbeitung der Detektorsignale, die dazu führen, dass eine bestimmte im Detektor deponierte Energie nicht immer zur gleichen Impulshöhe und damit zur gleichen Energielage im Spektrum führt. Das Rauschen führt zu einer Verbreiterung der Peaks im Spektrum. Es ist zum Teil thermisch bedingt und kann deshalb durch Kühlung des Detektors und der Signal verarbeitenden Elektronik (Vorverstärker) verringert werden (thermisches Rauschen). Siehe auch →[Spektrometrie](#)

## **Rayleigh-Streuung**

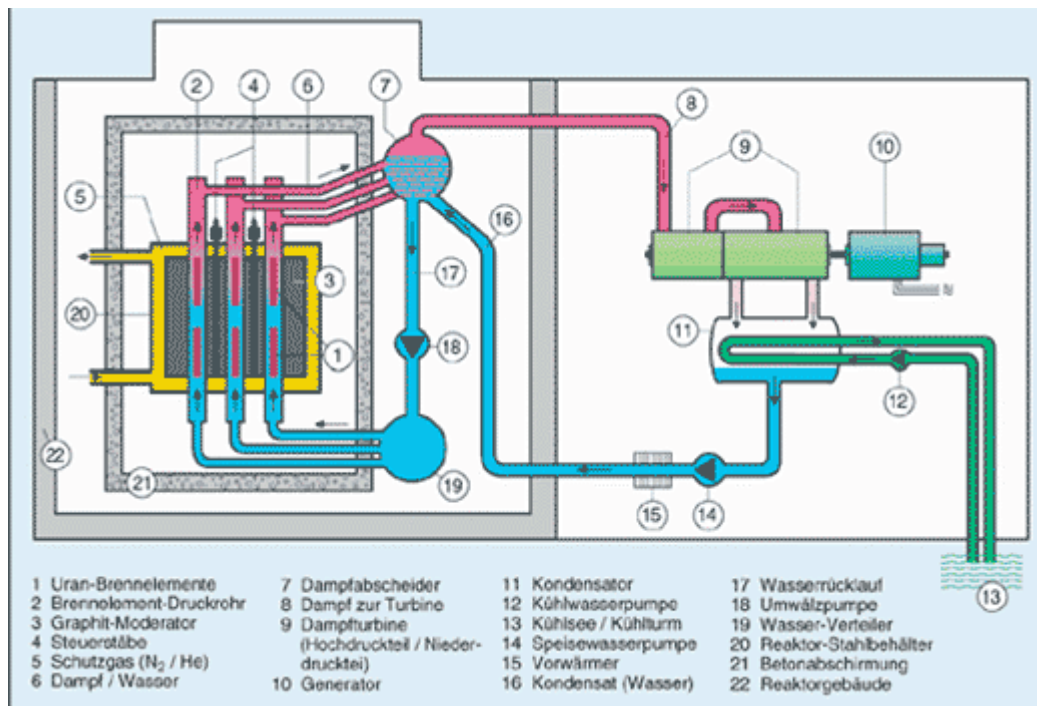
→[Streustrahlung](#)

## **RBE**

Abk. für **R**elative **B**iological **E**ffectiveness →[relative biologische Wirksamkeit](#)

## RBMK

In lateinische Schrift transkribierte Bezeichnung für einen russischen Reaktortyp: reaktor **balshoi moschnosti kanalui** (Hochleistungsreaktor mit Kanälen). RBMK ist ein graphitmoderierter Siedewasser-Druckröhrenreaktor. Bei diesem Typ eines Siedewasserreaktors wird der Dampf nicht in einem Druckgefäß, sondern in bis zu 2.000 separaten, die Brennelemente enthaltenden Druckröhren erzeugt. Die Benutzung von Graphit als Moderator führt zu einem großvolumigen Reaktorkern von 12 m Durchmesser und 7 m Höhe. Dies hat zur Folge, dass die Regelung des Reaktors neutronenphysikalisch relativ kompliziert ist und erhöhte Anforderungen an die Fahrweise der Regelstäbe stellt. In Rußland sind elf RBMK-Einheiten mit je 1.000 MWe und vier mit je 12 MWe in Betrieb.



Prinzip eines RBMK-Kraftwerks

Quelle: W. Koelzer, Lexikon zur Kernenergie, April 2001

## RBW

Abk. für →[relative biologische Wirksamkeit](#)

## Rd

Einheitenkurzzeichen für →[Rad](#)

## RDB

Abk. für →[Reaktordruckbehälter](#)

## RDD

Abk. für **R**adiological **D**ispersion **D**evice →[Radiologische Waffe](#)

## Reaktionsrate, massenbezogene

Anzahl der Wechselwirkungen pro Zeit und Masse der durchstrahlten Materie; die massebezogene Reaktionsrate  $dn_M/dt$  ist gleich der volumenbezogenen Reaktionsrate ( $\rightarrow$ Reaktionsrate, volumenbezogene) geteilt durch die Dichte  $\rho$  des bestrahlten Materials:

$$\frac{dn_M}{dt} = \frac{1}{\rho} \frac{dn_V}{dt}$$

Lit.: VOG04

## Reaktionsrate, volumenbezogene

Anzahl der Wechselwirkungen pro Zeit und Volumen der durchstrahlten Materie; ist  $\varphi$  die  $\rightarrow$ Flussdichte in der durchstrahlten Materie,  $n_a$  die Anzahldichte der Atome in der Materie und  $\sigma$  der totale Wirkungsquerschnitt ( $\rightarrow$ Wirkungsquerschnitt, totaler) für Wechselwirkungen, dann ist die volumenbezogene Reaktionsrate  $dn_V/dt$  gegeben durch

$$\frac{dn_V}{dt} = n_a \sigma \varphi$$

Lit.: VOG04

## Reaktionsratendichte

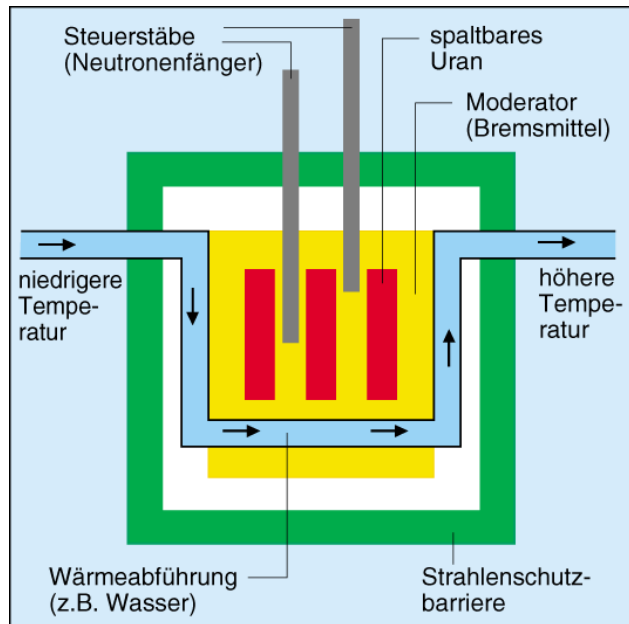
Synonyme Bezeichnung für volumenbezogene Reaktionsrate;  $\rightarrow$ Reaktionsrate, volumenbezogene

## Reaktivität

Maß für das Abweichen eines Reaktors vom kritischen Zustand; es entspricht dem um 1 verminderten Multiplikationsfaktor und ist somit im kritischen Zustand genau Null. Ist die Reaktivität positiv, steigt die Reaktorleistung an. Bei negativer Reaktivität sinkt der Leistungspegel.

## Reaktor

Einrichtung, mit deren Hilfe sich eine Spaltungskettenreaktion (Kettenreaktion) einleiten, aufrechterhalten und steuern lässt. Hauptbestandteil ist eine Spaltzone mit spaltbarem  $\rightarrow$ Kernbrennstoff. Ein Reaktor hat im allgemeinen einen  $\rightarrow$ Moderator, eine  $\rightarrow$ Abschirmung und Regelvorrichtungen. Reaktoren werden zu Forschungszwecken oder zur Leistungserzeugung errichtet. Reaktoren, bei denen die Kettenreaktion durch thermische Neutronen ( $\rightarrow$ Neutronen, thermische) aufrecht erhalten wird, werden thermische Reaktoren genannt; wird die Kettenreaktion durch schnelle Neutronen aufrechterhalten, spricht man von schnellen Reaktoren. Der erste Reaktor wurde am 2. Dezember 1942 durch eine Forschergruppe unter der Leitung von  $\rightarrow$ Fermi in Betrieb genommen. Siehe auch  $\rightarrow$ Druckwasserreaktor,  $\rightarrow$ Siedewasserreaktor



Reaktoraufbau, Prinzip

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Reaktor, gasgekühlter

Kernreaktor, dessen Kühlmittel ein Gas ist (Kohlendioxid, Helium); die AGR-Anlagen (→AGR) in Großbritannien werden z. B. mit Kohlendioxid gekühlt.

## Reaktor, schneller

Reaktor, bei dem die Spaltungen überwiegend durch schnelle Neutronen ausgelöst werden; ein schneller Reaktor hat im Gegensatz zum thermischen Reaktor keinen Moderator, da eine Geschwindigkeitsverminderung der bei der Spaltung entstehenden schnellen Spaltneutronen vermieden werden muss.

## Reaktor, thermischer

Kernreaktor, in dem die Spaltungskettenreaktion durch thermische Neutronen aufrechterhalten wird; die meisten existierenden Reaktoren sind als thermische Reaktoren konstruiert.

## Reaktor-Risikostudie

→Risikostudie

## Reaktordruckbehälter

Dickwandiger zylindrischer Stahlbehälter, der bei einem Kraftwerksreaktor den Reaktorkern umschließt. Er ist aus einem speziellen Feinkornstahl gefertigt, der sich gut schweißen lässt und eine hohe Zähigkeit bei geringer Versprödung unter Neutronenbestrahlung hat. Auf der Innenseite ist der Druckbehälter mit einer austenitischen

Plattierung zum Schutz gegen Korrosion versehen. Bei einem 1.300-MWe-Druckwasserreaktor beträgt die Höhe des Druckbehälters etwa 12 m, der Innendurchmesser 5 m, die Wandstärke des Zylindermantels rund 250 mm und das Gesamtgewicht ohne Einbauten etwa 530 t. Er ist auf einen Druck von 17,5 MPa (175 bar) und eine Temperatur von 350 °C ausgelegt.

Wiederkehrende Prüfungen am Reaktordruckbehälter finden aus Strahlenschutz-Gründen fernbedient unter Wasser statt.

## Reaktordruckgefäß

Alternative Bezeichnung für →[Reaktordruckbehälter](#)

## Reaktorgift

Substanzen mit großem Neutronenabsorptionsquerschnitt, die unerwünschterweise Neutronen absorbieren. Eine große Neutronenabsorption haben einige der bei der Spaltung entstehenden →[Spaltprodukte](#), so z. B. Xenon-135 und Samarium-149. Die Vergiftung eines Reaktors durch Spaltprodukte kann so stark werden, dass die Kettenreaktion zum Erliegen kommt.

## Reaktorperiode

Die Zeit, in der die Neutronenflussdichte in einem Reaktor sich um den Faktor  $e = 2,718$  ( $e$ : Basis der natürlichen Logarithmen) ändert, wenn die Neutronenflussdichte exponentiell zu- oder abnimmt.

## Reaktorschnellabschaltung

Möglichst schnelles Abschalten eines Kernreaktors (Reaktorschnellschluss), im Allgemeinen durch schnelles Einfahren der Abschaltstäbe; Notfälle oder Abweichungen vom normalen Reaktorbetrieb führen dazu, dass die automatische Regeleinrichtung den Reaktorschnellschluss auslöst.

## Reaktorschutzsystem

Ein System, das Informationen von verschiedenen Messeinrichtungen erhält, die die für die Sicherheit wesentlichen Betriebsgrößen eines Kernreaktors überwachen, und das imstande ist, automatisch eine oder mehrere Sicherheitsmaßnahmen auszulösen, um den Zustand des Reaktors in sicheren Grenzen zu halten.

## Reaktorsicherheitskommission

Die Reaktorsicherheitskommission (RSK) berät das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit in den Angelegenheiten der Sicherheit und damit in Zusammenhang stehenden Angelegenheiten der Sicherung von kerntechnischen Anlagen und der Entsorgung radioaktiver Abfälle. Die Reaktorsicherheitskommission besteht in der Regel aus zwölf Mitgliedern. In ihr sollen die Fachgebiete vertreten sein, die für die sachverständige Beratung des Bundesministeriums in den genannten Angelegenheiten erforderlich sind. Die Mitglieder müssen die Gewähr für eine sachverständige und objektive Beratung des Bundesministeriums bieten. Um eine ausgewogene Beratung sicherzustellen, soll die Reaktorsicherheitskommission so besetzt sein, dass die gesamte Bandbreite der nach dem Stand von Wissenschaft

und Technik vertretbaren Anschauungen repräsentiert ist.

Die Mitgliedschaft in der Reaktorsicherheitskommission ist ein persönliches Ehrenamt. Die Mitglieder der Kommission sind unabhängig und nicht an Weisungen gebunden. Die Kommission beschließt als Ergebnis ihrer Beratungen naturwissenschaftliche und technische Empfehlungen oder Stellungnahmen an das Bundesministerium. Sie trifft keine rechtlichen Bewertungen. Die Empfehlungen und Stellungnahmen der Kommission werden den Länderbehörden zur Kenntnis gegeben und der Öffentlichkeit auf Anfrage zur Verfügung gestellt.

Obwohl die RSK keine direkten Stellungnahmen zum Strahlenschutz abgibt (das ist Aufgabe der →[Strahlenschutzkommission](#)), haben ihre Stellungnahmen und Empfehlungen meistens direkte oder indirekte Auswirkungen auf den Strahlenschutz.

## Reaktorsteuerung

Einstellen der →[Reaktivität](#) zum Erreichen oder Einhalten eines gewünschten Betriebszustandes.

## Rechtfertigende Indikation

→[Indikation, rechtfertigende](#)

## Rechtfertigungsgebot

Eine der drei Strahlenschutzgrundsätze im deutschen Strahlenschutzrecht neben der Dosisbegrenzung und der Dosisreduzierung; das Rechtfertigungsgebot ist in § 4 StrlSchV und § 2a RöV verankert. Neue Arten von Tätigkeiten (im Sinne von § 3 Abs.1 StrlSchV oder § 2 RöV) müssen danach unter Abwägung ihres wirtschaftlichen, sozialen oder sonstigen Nutzens gegenüber der möglicherweise von ihnen ausgehenden gesundheitlichen Beeinträchtigung gerechtfertigt sein. Die Rechtfertigung bestehender Tätigkeiten kann überprüft werden. Welche Arten von Tätigkeiten nicht gerechtfertigt sind, ist in Anlage XVI StrlSchV aufgeführt. Dazu gehören z.B.

- die Verwendung von uranhaltigen oder thoriumhaltigen Stoffen bei der Herstellung von Farben für Glasuren, soweit ein Kontakt des Produkts mit Lebensmitteln nicht ausgeschlossen werden kann
- die Verwendung von Tritium-Gaslichtquellen zur Restlichtverstärkung, soweit nicht unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls zur Erledigung hoheitlicher Aufgaben notwendig
- die Verwendung von hochradioaktiven Strahlenquellen zur Untersuchung von Containern und Fahrzeugen außerhalb der Materialprüfung
- die Anwendung von umschlossenen radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung am Menschen zur Zutrittskontrolle oder Suche von Gegenständen, die eine Person an oder in ihrem Körper verbirgt, soweit die Anwendung nicht
  - aufgrund eines Gesetzes erfolgt und unter Berücksichtigung der Umstände des Einzelfalls zur Erledigung hoheitlicher Aufgaben notwendig ist oder
  - im Geschäftsbereich des Bundesministeriums der Verteidigung zum Zweck der Verteidigung oder zur Erfüllung zwischenstaatlicher Verpflichtungen zwingend erforderlich ist.

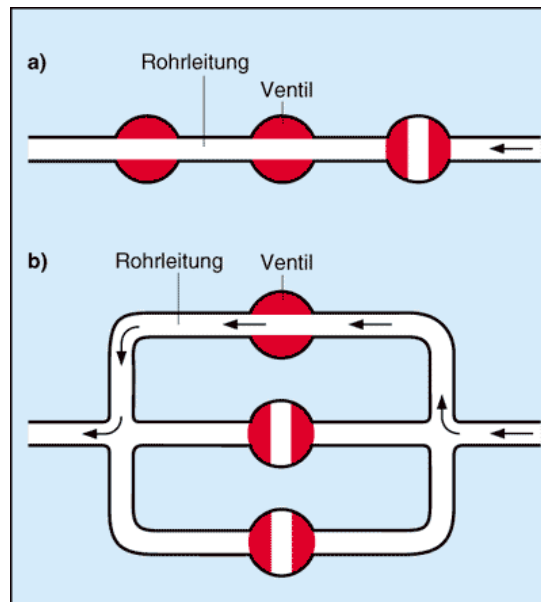


Im Bereich der medizinischen Anwendung ionisierender Strahlung gilt das Prinzip der rechtfertigenden Indikation. →[Indikation, rechtfertigende](#)

Hier ist z.B. die Anwendung von Ra 226 in umschlossener Form zur Behandlung von Menschen nicht gerechtfertigt.

## Redundanz

In der Informationstheorie Bezeichnung für das Vorhandensein von an sich überflüssigen Elementen in einer Nachricht, die keine zusätzlichen Informationen liefern, sondern lediglich die beabsichtigte Grundinformation stützen. In der Reaktortechnik werden alle sicherheitstechnisch bedeutsamen Messwerte, z. B. die Neutronenflussdichte im Reaktor, von drei voneinander unabhängigen Meßsystemen ermittelt und nur der Wert als richtig angesehen, der von mindestens zwei Systemen gleich angezeigt wird. Auch die Mehrfachauslegung wichtiger technischer Systeme (Notkühlsystem, Notstromgeräte) wird mit Redundanz bezeichnet. Siehe dazu auch →[Diversität](#).



Prinzipdarstellung der Redundanz für die Schließfunktion (a) und die Öffnungsfunktion (b) von Ventilen in einer Rohrleitung.

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021\\_lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021_lexikon2010_01.pdf)

## Reduzierungsgebot

→[Minimierungsgebot](#)

## Referenzperson

Normperson, von der bei der Ermittlung der Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung nach § 47 StrlSchV ausgegangen wird; die Annahmen zur Ermittlung der Strahlenexposition dieser Normperson (Lebensgewohnheiten und übrige Annahmen für die Dosisberechnung) sind in Anlage VII StrlSchV festgelegt.

## Referenzschwelle

Wert einer Größe der Körperdosis, der Aktivitätszufuhr oder der Kontamination, bei dessen Überschreitung bestimmte Handlungen oder Maßnahmen erforderlich werden. Siehe auch →[Aufzeichnungsschwelle](#), →[Interventionsschwelle](#), →[Untersuchungsschwelle](#)

## Referenzstrahlung

Zur Ermittlung der →[relativen biologischen Wirksamkeit](#) unterschiedlicher Strahlenarten, wird der Bezug zur Wirkung einer Referenzstrahlung herangezogen. Als Referenzstrahlung werden in der Wissenschaft unterschiedliche elektromagnetische Strahlungen verwendet, z.B. harte Röntgenstrahlung oder Co-60-Gammastrahlung. Die ICRP verwendet für ihre Empfehlungen Strahlungswichtungsfaktoren, die auf gemittelten Werten unter Verwendung von Röntgen- und Gammastrahlung als Referenzstrahlung beruhen.

## Referenzverfahren

Begriff aus der Inkorporationsüberwachung; im Referenzverfahren werden Überwachungsdaten die aus der regelmäßigen Inkorporationsüberwachung stammen, unter folgenden Standardannahmen dosimetrisch ausgewertet:

- Inkorporationspfad: Inhalation
- Inkorporationszeitpunkt: Mitte des Überwachungsintervalls
- AMAD bei Aerosolinhalation: 5 µm
- Biokinetische Modelle nach den ICRP-Publikationen Nr. 68 (ICRP68) und Nr. 78 (ICRP78)

Das Referenzverfahren wird angewendet, solange die Körperdosis unter der →[Nachforschungsschwelle](#) liegt.

## Referenzwert, diagnostischer

In der Röntgendiagnostik ist der Referenzwert ein Dosiswert, der für eine bestimmte Altersgruppe und Untersuchungsart die Strahlenexposition des Patienten angibt, die nicht wesentlich überschritten werden soll. In der Regel wird dabei die Einfalldosis angegeben, für bestimmte Untersuchungsarten ist aber auch das Dosisflächenprodukt geeignet.

In der Nuklearmedizin ist der diagnostische Referenzwert ein Aktivitätswert, mit dem die mit der Untersuchung verbundene Strahlenexposition gekennzeichnet wird (z.B. bei der Schilddrüsendiagnose die Aktivität der injizierten Mengen Tc-99m) und der in Abhängigkeit von der zu untersuchenden Altersgruppe und der Untersuchungsart eine aussagefähige Diagnose bei hinreichend kleiner Strahlenexposition ermöglicht.

Die Aufstellung diagnostischer Referenzwerte soll der strahlenschutzgerechten Arbeitsweise bei der diagnostischen Anwendung ionisierender Strahlen bei allen Anwendern dienen. Diagnostische Referenzwerte werden durch Auswertung der erfahrungsgemäß für die Bilderzeugung notwendigen Dosen und ihrer Schwankungsbreite so festgelegt, dass sich bei Einhaltung der Leitlinien der Bundesärztekammer gut auswertbare Röntgenaufnahmen bzw. Schnittbilder ergeben.

Siehe auch DIN 6814-5 ([→DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

In der Strahlenschutzverordnung sind diagnostische Referenzwerte definiert als

- Dosiswerte bei medizinischer Anwendung ionisierender Strahlung oder
- empfohlene Aktivitätswerte bei medizinischer Anwendung radioaktiver Arzneimittel

für typische Untersuchungen, bezogen auf Standardphantome oder auf Patientengruppen mit Standardmaßen, für einzelne Gerätekategorien (§ 3 Abs.2 Nr.26 StrlSchV).

Vom Bundesamt für Strahlenschutz wurden im Jahr 2010 aktualisierte diagnostische Referenzwerte veröffentlicht. Sie tragen den voran geschrittenen technischen Möglichkeiten Rechnung und sollen zu einer weiteren Verringerung der Strahlenexposition durch Röntgenuntersuchungen beitragen.

Quelle: <http://www.bfs.de/de/ion/medizin/diagnostik/roentgen/fachinformationen/referenzwerte.html>

## **Referenzzufuhr**<http://www.bfs.de/de/ion/medizin/diagnostik/roentgen/fachinformationen/referenzwerte.html>

Begriff aus der Dosisabschätzung für Bevölkerungsgruppen über die [→Referenzperson](#); Referenzzufuhr ist die Inkorporation offener radioaktiver Stoffe mit der Atemluft, dem Trinkwasser und der Nahrung durch die Referenzperson unter Referenzbedingungen in einer anzugebenden Zeitspanne (s.DIN 6814-5 [→DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)).

## **Reflektor**

Materialschicht unmittelbar um die Spaltzone eines Kernreaktors; der Reflektor streut Neutronen in die Spaltzone zurück, die sonst entweichen würden. Die reflektierten Neutronen können wiederum Spaltungen auslösen und so die Neutronenbilanz des Reaktors verbessern.

## **Regelstab**

Eine stab- oder plattenförmige Anordnung zur Regelung der Reaktivitätsschwankungen eines Kernreaktors; der Regelstab besteht aus neutronenabsorbierendem Material (Cadmium, Bor usw.). Ausgediente Regelstäbe sind in der Regel hochradioaktiver Abfall.

## **Reichweite**

Die Reichweite von Strahlungsteilchen ([→ionisierende Strahlung](#)) hängt von der Strahlenart, der Energie der Strahlung und dem Medium ab, in dem sich die Strahlung ausbreitet. Dies ist bedingt durch die Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie.

Für Alphateilchen in Luft gilt die Näherungsformel:  
Reichweite in cm  $\approx$  Energie in MeV.

Für Betastrahlung mit einer Maximalenergie  $E_{\beta\max}$  (in MeV) gilt für die maximale Reichweite  $R_{\max}$  (in cm) in einem Material der Dichte  $\rho$  (in  $\text{g}/\text{cm}^3$ ) die Näherungsformel:

$$R_{\max} \approx E_{\beta\max} / 2 \rho$$

Die Reichweiten können in Abhängigkeit von Material und Strahlungsenergie Tabellenwerken entnommen werden. (z.B. VOG04, ICRU49, SSK43)

## Reinelement

Chemisches Element, das nur aus einem stabilen Isotop besteht; z.B. Fluor, Aluminium, Gold.

## Reinstgermanium-Detektor

→**Halbleiter-Detektor** aus einem hochreinen Germanium-Einkristall (engl.: High Purity Germanium – HPGe), bei dem die Störleitfähigkeit aufgrund von Verunreinigungen minimal ist; der Detektor-Kristall wird gezielt mit Fremdatomen dotiert, um einen n-leitenden Kristall oder einen p-leitenden Kristall zu erhalten. Fremdatome, die dazu neigen, Elektronen abzugeben (z.B. Lithium, Phosphor) werden als Donatoren bezeichnet und führen zu einem n-leitenden Kristall. Fremdatome, die Elektronen aufnehmen (z.B. Bor, Gallium) heißen Akzeptoren und führen zu einem p-leitenden Kristall. Auf den dotierten Kristall wird eine dünne Schicht entgegengesetzter Leitfähigkeit aufgebracht, damit sich beim Anlegen einer Spannung eine nahezu ladungsträgerfreie Sperrschicht über den gesamten Kristall ausbilden kann, die das empfindliche Volumen des Halbleiter-Detektors bildet.

Reinstgermanium-Detektoren sind insbesondere zum spektralen Nachweis von Photonenstrahlung geeignet. Das untere Ende des nachweisbaren Energiespektrums wird durch die Absorption im Eintrittsfenster und in der obersten n- oder p-leitenden Schicht des Germanium-Detektors bestimmt. Besonders geeignet für den Nachweis niederenergetischer Photonen sind n-leitende Detektoren, bei denen eine dünne p-leitende Oxidschicht als Deckschicht zusammen mit einem dünnen ionenimplantierten elektrischen Kontakt aufgebracht wurde. In Verbindung mit einem sehr dünnen Beryllium-Eintrittsfenster können Photonen ab ca. 3 keV nachgewiesen werden. P-leitende Detektoren haben üblicherweise eine untere Energieschwelle von 50 – 60 keV für Photonen.

Reinstgermanium-Detektoren können bei Raumtemperatur gelagert werden, müssen im Betrieb jedoch gekühlt werden, um die Eigenleitung zu unterdrücken. Dazu wird häufig Flüssigstickstoff verwendet. Alternativ stehen auch mechanische Kühlverfahren zur Verfügung (→**Pulse-Tube-Kühlung**).

Das Ansprechvermögen wird üblicherweise relativ zum Ansprechvermögen eines 3" x 3" NaI(Tl)-Szintillationszählers angegeben. Heute können mit großvolumigen Germanium-Einkristallen relative Ansprechvermögen von über 200 % erreicht werden. (Lit.: VOG04)

## Relative Atommasse

Masse  $m_a$  eines Atoms ausgedrückt in Vielfachen der →atomaren Masseneinheit  $m_u$ . Zeichen  $A_r$ :  $A_r = m_a / m_u$ . Die meisten chemischen Elemente sind Gemische aus

mehreren Isotopen. Dann ergibt sich die mittlere relative Atommasse  $\bar{A}_r$  des Elements aus den relativen Häufigkeiten  $h_i$  des Vorkommens der Isotope  $i$  und deren relativen Atommassen  $A_{r,i}$  entsprechend der Beziehung 
$$\bar{A}_r = \sum_i h_i A_{r,i} .$$

## Relative biologische Wirksamkeit

Die relative biologische Wirksamkeit (RBW) einer Strahlenart gibt an, um wieviel geringer die Energiedosis dieser Strahlenart im Vergleich zu einer Referenzstrahlung ist, wenn sie die gleiche biologische Wirkung wie die Referenzstrahlung erzeugt. Die Referenzstrahlung im Strahlenschutz ist nicht eindeutig festgelegt. Es wird 200 kV-Röntgenstrahlung aber auch Co-60-Gammastrahlung verwendet. Die ICRP verwendet für ihre Empfehlungen einen Mittelwert aus Röntgen- und Gammastrahlung.

Die RBW wird für viele biologische Endpunkte untersucht und hängt in der Regel von vielen unterschiedlichen Einflussgrößen ab. Sie wird in der Strahlenbiologie verwendet und ist für den praktischen Strahlenschutz wenig geeignet. Für diesen Zweck werden deshalb für unterschiedliche Strahlenarten →[Qualitätsfaktoren](#) bzw. →[Strahlungswichtungsfaktoren](#) definiert, die noch von der Strahlungsenergie abhängen können.

## Relatives Ansprechvermögen (Ge-Detektoren)

Das →[Ansprechvermögen](#) eines Detektors ist definiert als der Quotient aus den registrierten Impulsen und der auf den Detektor treffenden Strahlungsteilchen. Es wird häufig in Prozent angegeben. Diese Angabe darf nicht mit dem ebenfalls in Prozent angegebenen relativen Ansprechvermögen eines Germanium-Halbleiterdetektors verwechselt werden. Für diese Detektoren ist das relative Ansprechvermögen definiert als das Verhältnis des Ansprechvermögens zu dem Ansprechvermögen eines 3" x 3"- NaI(Tl)-Szintillationsdetektors. Diese Definition ist historisch bedingt und stammt aus einer Zeit, in der die Herstellung großvolumiger Germanium-Detektoren noch problematisch und dementsprechend teuer war. →[Reinstgermanium-Detektoren](#)

## Relatives Risiko

→[Risiko](#)

## Relatives Risikomodell

Nach dem relativen Risikomodell ist das Risiko für einen stochastischen Schaden nach einer Strahlenexposition während des gesamten Lebens nach der Strahlenexposition um einen konstanten Faktor gegenüber dem spontanen Risiko erhöht. Wenn das spontane Risiko  $R_s(t)$  ist – dabei signalisiert  $t$  die Zeitabhängigkeit des Risikos – und sei  $a(D)$  der dosisabhängige Erhöhungsfaktor, so ist eine einfache Beschreibung des Risikos  $R$  nach einer Strahlenexposition mit der Dosis  $D$  möglich durch

$$R(t) = a(D) R_s(t)$$

Der zeitliche Verlauf des strahlungsbedingten Risikos für solide Tumore lässt sich mit dem relativen Risikomodell beschreiben, während für Leukämie das →[absolute Risikomodell](#) besser geeignet ist.

## Relaxationslänge

Schichtdicke eines Abschirmmaterial, in der die Dosisleistung eines kollimierten Photonenstrahlbündels auf  $1/e$  ( $=0,368$ ) des Ausgangswertes verringert wird; eine Relaxationslänge entspricht  $1,44$  →[Halbwertschichtdicken](#).

## Rem

Frühere Einheit der →[Äquivalentdosis](#) Kurzzeichen: rem. Für Strahlenschutz Zwecke wurde häufig die Strahlendosis in Millirem (mrem) angegeben.  $1 \text{ rem} = 1000 \text{ mrem}$ . Die neue Einheit der Äquivalentdosis ist das Joule durch Kilogramm mit dem besonderen Einheitennamen →[Sievert](#).  $1 \text{ rem} = 1/100 \text{ Sv}$ .

## Rem-Counter

Alte Bezeichnung für ein Neutronenmessgerät zur Ermittlung der Ortsdosis oder der Ortsdosisleistung; ein zum Nachweis langsamer Neutronen geeigneter Detektor (Zählrohr oder Thermolumineszenzdetektor) ist von einem zylindrischen oder kugelförmigen Moderator aus wasserstoffhaltigem Material umgeben, in dem die Neutronen so abgebremst werden, dass sie mit dem für langsame Neutronen empfindlichen Detektormaterial reagieren können. →[Ortsdosisleistungsmessgerät](#)

## Reprocessing

→[Wiederaufarbeitung](#) von Kernbrennstoffen.

## Resorptionsfaktor

Biokinetische Konstante; der Resorptionsfaktor gibt in mathematischen, →[biokinetischen Modellen](#) den Anteil der im Dünndarm vorhandenen Radioaktivität an, der vom Dünndarm ins Blut übergeht.

## Restrisiko

Nicht näher zu definierendes, noch verbleibendes Risiko nach Beseitigung bzw. Berücksichtigung aller denkbaren quantifizierten Risiken bei einer Risikobetrachtung.

## Retention

Dauerhaftes oder zeitlich begrenztes Verbleiben inkorporierter radioaktiver Stoffe im menschlichen Körper; das zeitliche Verbleiben der inkorporierten Aktivität hängt von der Art des Radionuklids und seiner chemischen Verbindung ab. Es wird durch Retentionsfunktionen beschrieben.

Die Retentionsfunktion  $r(t)$  für das Verbleiben eines radioaktiven Stoffes in einem Organ zur Zeit  $t$  nach der Aufnahme des Stoffes in das Blut ist eine Exponentialfunktion zur Basis  $2$  ( $2^{-t/T_b}$ ;  $T_b$  = biologische Halbwertszeit). Da sich der radioaktive Stoff in der Regel auf mehrere Organe verteilt, setzt sich die gesamte Retentionsfunktion aus den einzelnen Beiträgen der Organe zusammen. Bei der Summation können die Or-

gane zusammengefasst werden, die durch eine gleiche biologische Halbwertszeit gekennzeichnet sind. Wenn  $\alpha_i$  den relativen Anteil des radioaktiven Stoffes im Blut bezeichnet, der in die Organe mit der biologischen Halbwertszeit  $T_{bi}$  übergeht, dann ergibt sich für die resultierende Retentionsfunktion:

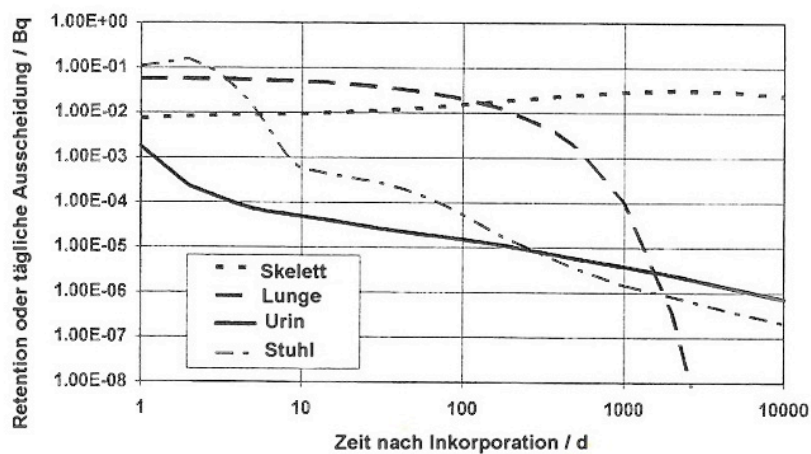
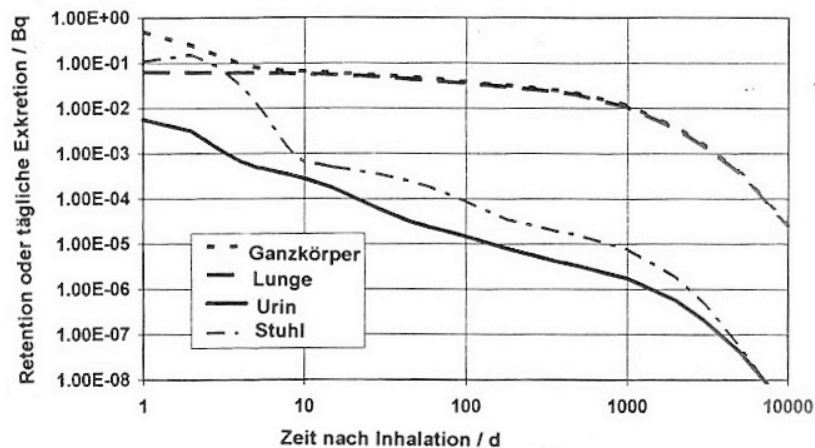
$$r(t) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot 2^{-t/T_{bi}}$$

Die Veränderung der Retentionsfunktion mit der Zeit gibt die Zeitabhängigkeit der Ausscheidung an (Exkretion). Die Exkretionsfunktion  $e(t)$  ergibt sich daher durch die zeitliche Ableitung der Retentionsfunktion:

$$e(t) = -\ln 2 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i}{T_{bi}} 2^{-t/T_{bi}}$$

Beispiele für die zeitabhängige Retention und Exkretion zeigen die folgenden Abbildungen für die Nuklide Co-60 und Am-241 jeweils nach Inhalation (aus ICRP78)





Retentions- und Exkretionsfunktionen für Co-60 (oben) und Am-241(unten) nach Inhalation (ICRP78)

## Retentionshemmung

Völlige oder teilweise Verhinderung der Retention inkorporierter offener radioaktiver Stoffe, z.B. durch resorptionshemmende Maßnahmen (Def. DIN 6814-5 → [DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

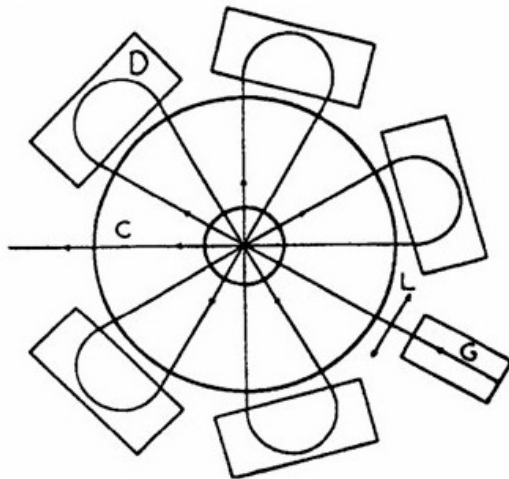
## RFA

Abk. für → [Röntgenfluoreszenzanalyse](#)

## Rhodotron

Spezialform eines Linearbeschleunigers für Elektronen; zwischen zwei koaxial angeordneten Hohlzylindern wird ein Hochfrequenzfeld aufgebaut (Hohlraumresonator), durch das die Elektronen, die vom Generator G durch die Linse L in den Resonator geschossen werden, in Richtung Innenzylinder beschleunigt werden. Sie durchlaufen den Innenzylinder gradlinig, indem sie ein Ein- und ein Austrittsfenster passieren, wobei die Flugzeit so bemessen ist, dass beim Austritt das Feld in Richtung Außenzylinder beschleunigt. Sie verlassen den Außenzylinder durch ein Fenster, werden außen durch einen Magneten D umgelenkt und treten wieder in den Raum zwischen den Zylindern ein, wenn die Feldstärke wiederum eine Beschleunigung in Richtung

des Innenzylinders erzeugt. Dieser Vorgang wiederholt sich mehrfach, bis die Elektronen den Hohlraumresonator durch ein Austrittsfenster endgültig verlassen (C).  
 Beispiel: Bei einem Kammerdurchmesser von 105 cm und einer Resonanzfrequenz von 215 MHz wird nach 12 Durchläufen eine Endenergie von 10 MeV erreicht. (s. auch →[Beschleuniger](#), →[Elektronenbeschleuniger](#))



Funktionsprinzip eines Rhodotrons

Quelle:

<http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/e96/PAPERS/THPG/THP076G.PDF>

Mit einem Rhodotron können hohe Strahlleistungen erzeugt werden. Typische Werte liegen im Bereich 1 – 35 kW bei Elektronenenergien von etwa 10 MeV. Daher wird es auch zur Sterilisation von Medizinprodukten oder zur Entkeimung von Hygieneartikeln oder Lebensmittelverpackungen eingesetzt. Die hochenergetische Bremsstrahlung erfordert aufwändige Abschirmmaßnahmen. Aktivierungen sind bei den genannten Photonenenergien von untergeordneter Bedeutung. (Lit.: VOG04)

### **Richtlinie „Fachkunde nach Röntgenverordnung Medizin“**

Die Richtlinie macht Vorgaben für die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz bei der Anwendung von Röntgenstrahlen am Menschen in der Heilkunde, Zahnheilkunde und in der medizinischen Forschung. Sie regelt insbesondere den Erwerb und den Umfang der erforderlichen Fachkunde sowie deren Aktualisierung. Außerdem sind Vorgaben zur Anerkennung von Fachkurseinheiten enthalten. (BMU05b)

### **Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis**

Richtlinie des BMU, in der ergänzend zu § 41 StrlSchV (Ermittlung der Körperdosis) Vorgaben gemacht werden, die bei der Ermittlung der Körperdosis zu beachten sind. Die Richtlinie besteht aus zwei Teilen: Teil 1 behandelt die Körperdosen durch äußere Strahlenexposition, Teil 2 die durch innere Strahlenexposition (BMU03c, BMU07)

### **Richtlinie für Sachverständigenprüfungen nach der Röntgenverordnung - SV-RL**

Richtlinie für die technische Prüfung von Röntgeneinrichtungen und genehmigungsbedürftigen Störstrahlern

## Richtlinie Strahlenschutz in der Tierheilkunde

Die Richtlinie führt aus, wie für den Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung die für den Anwendungsbereich der Tierheilkunde del-tenden Strahlenschutzregelungen vollzogen werden sollen. Sie enthält u.a. Vorgaben zur erforderlichen Fachkunde, zu Schutzvorschriften für das beruflich strahlenexpo-nierte Personal und für die Tier-Betreuungspersonen sowie zur Beseitigung von radi-oaktiven Abfällen.

Quelle: BMU05a

## Richtungs-Äquivalentdosis

Die Richtungs-Äquivalentdosis  $H'(0,07,\Omega)$  am interessierenden Punkt im tatsächli-chen Strahlungsfeld ist die →Äquivalentdosis, die im zugehörigen →aufgeweiteten Strahlungsfeld in 0,07 mm Tiefe auf einem in festgelegter Richtung  $\Omega$  orientierten Radius der →ICRU-Kugel erzeugt würde. In der Praxis wird in der Regel der bei Va-riation über alle Winkel auftretende Maximalwert  $H'(0,07)$  verwendet. Dieser Wert ist ein guter Schätzwert für die Hautdosis. 0,07 mm entspricht etwa der Dicke der Ba-salschicht der obersten Hautschicht.

## Richtwert

Allgemeine Bezeichnung für einen Wert, der von einem Grenzwert abgeleitet wird und sicherstellen soll, dass der Grenzwert nicht überschritten wird; an das Über-schreiten des Richtwertes werden Maßnahmen gekoppelt, mit denen dieses Ziel er-reicht wird.

## Richtwert der Jahresaktivitätszufuhr

Der Richtwert der Jahresaktivitätszufuhr (JAZ) ist in der →Richtlinie für die physikali-sche Strahlenschutzkontrolle definiert. Er ist der kleinste Wert der Jahresaktivitätszu-fuhr infolge Inhalation eines Radionuklids mit einem →AMAD von 5  $\mu\text{m}$ , die zu einer Körperdosis entweder in Höhe des Grenzwertes der effektiven Dosis oder in Höhe des Grenzwertes der grenzwertbestimmenden Organdosis führt. Der richtwert der Jahresaktivitätszufuhr ist der Quotient aus dem zutreffenden Grenzwert und dem für definierte →Absorptionsklassen geltenden Dosiskoeffizienten.

## RID

Abk. für die Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter – Anhang C des Übereinkommens über den internationalen Eisenbahnverkehr (CO-TIF)

## Ringbeschleuniger

Wechselfeld-Beschleuniger, bei der sich die beschleunigten Teilchen auf Kreisbah-nen bewegen; zu den Ringbeschleunigern zählen →Zyklotron, →Mikrotron, →Syn-chrontron und →Betatron.

## Ringschale

Spezielles Probengefäß für Aktivitätsmessungen; das becherförmige Gefäß hat im Zentrum einen Hohlraum, in den der Detektor hineinragt. Das Messgut ist damit schalenförmig in geringem Abstand um den Detektor herum angeordnet. Damit wird eine günstige Messgeometrie erreicht. Ringschalen haben in der Regel Volumina von 500 – 1000 cm<sup>3</sup>.

## Ringspalt

Raum zwischen den beiden Teilen eines Doppelcontainments, das aktivitätsführende Anlagen (z.B. einen Reaktor) als Schutz umgibt; der Ringspalt wird unter Unterdruck gehalten. Bei Undichtigkeiten im inneren Containment in den Ringspalt eindringende radioaktive Stoffe werden abgesaugt und entweder in das innere Containment zurückgepumpt oder gefiltert und kontrolliert über den Abluftkamin abgegeben.

## Ringversuch

Ringversuche dienen der objektiven Überprüfung der Richtigkeit der Ergebnisse von Messtellen. Die den Ringversuch durchführende Stelle verschickt an die teilnehmenden Messtellen gleichartige Proben definierter Aktivität. Die Messtellen analysieren die Proben und teilen der durchführenden Stelle ihr Ergebnis mit. Die den Ringversuch durchführende Stelle veröffentlicht die Ergebnisse der teilnehmenden Messtellen unter Angabe des „wahren“ Wertes. Die Namen der Messtellen sind dabei anonymisiert (z.B. über einen Nummerncode). Jede teilnehmende Messtelle kennt den eigenen Code. Somit ergänzt der Ringversuch als eine externe Kontrolle die laborinterne Qualitätssicherung.

## Riphyko

Abk. für →[Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis](#)

## Risiko

Als Risiko wird insbesondere bei Risikovergleichen häufig die Multiplikation von Schadensumfang (welche Folgen?) mit der Eintrittshäufigkeit (wie oft kommt das Ereignis vor?) definiert. Eine Technik mit häufig eintretenden Schadensereignissen, aber geringen Folgen (z. B. Auto), kann risikoreicher sein als eine Technik mit seltenen, aber schweren Schadensereignissen (Flugzeug). Diese Risikogröße ist der Maßstab, mit dem mögliche Folgen einer Technologie abgeschätzt bzw. die Folgen verschiedener Technologien verglichen werden.

Im Zusammenhang mit stochastischen Strahlenschäden wird mit Risiko auch die Wahrscheinlichkeit bezeichnet, mit der ein Mitglied einer großen, gleichartig exponierten Gruppe den Strahlenschaden erleidet.

Als relatives Risiko (oder zusätzliches relatives Risiko) bezeichnet man im Strahlenschutz den Quotient aus dem strahleninduzierten Risiko für einen Schaden und dem spontanen Risiko für denselben Schaden ohne Strahlenexposition.

## Risikoeffizient

Der Risikoeffizient  $r_{S,T}$  für einen stochastischen Strahlenschaden des Organs T verknüpft die →**Organdosis**  $H_T$  mit der Wahrscheinlichkeit  $R_{S,T}$  für das Auftreten des Schadens:  $R_{S,T} = r_{S,T} \cdot H_T$ .

Die Gesamtwahrscheinlichkeit  $R_S$ , dass nach einer Strahlenexposition mit der →**effektiven Dosis** E irgendwo im Körper ein stochastischer Schaden auftritt, ist gegeben durch:  $R_S = r_S \cdot E$ .  $r_S$  wird als Gesamtrisikoeffizient bezeichnet:

$$r_S = \sum_T r_{S,T}$$

Die Todesfall-Risikoeffizienten für →**stochastische Strahlenwirkungen** wurden von der ICRP aus den Hiroshima/Nagasaki-Daten ermittelt und werden noch regelmäßig aktualisiert. Die aktuellen Werte sind 0,04 / Sv für berufstätige Erwachsene und 0,05 / Sv für die allgemeine Bevölkerung.

Lit.: VOG04

## Risikostudie

In der Bundesrepublik Deutschland wurde in Anlehnung an entsprechende Studien in den USA eine eigene umfassende Studie zur Bewertung des Risikos von Kernkraftwerken erstellt. Die Studie hatte zum Ziel, unter Berücksichtigung deutscher Verhältnisse das mit Unfällen in Kernkraftwerken verbundene Risiko zu ermitteln. Die erste Phase wurde im August 1979 abgeschlossen. Die ersten Risikountersuchungen hatten hauptsächlich das Ziel, das mit Unfällen in Kernkraftwerken verbundene Risiko abzuschätzen und dieses mit anderen zivilisatorischen und naturbedingten Risiken zu vergleichen. Dagegen wurden in den Arbeiten zur Phase B der deutschen Risikostudie umfangreiche Untersuchungen zum Störfallverhalten vorgenommen. Dabei wurden Störfälle in ihrem zeitlichen Verlauf, die mit ihnen verbundenen Belastungen und das Eingreifen der zur Störfallbeherrschung vorgesehenen Sicherheitssysteme eingehend analysiert. In diesen Untersuchungen ist die Bedeutung von anlageninternen Notfallmaßnahmen (Accident-Management-Maßnahmen) erkannt worden. So zeigen die Analysen, dass Kernkraftwerke in vielen Fällen auch dann noch über Sicherheitsreserven verfügen, wenn Sicherheitssysteme nicht wie vorgesehen eingreifen und sicherheitstechnische Auslegungsgrenzen überschritten werden. Diese Sicherheitsreserven können für anlageninterne Notfallmaßnahmen genutzt werden, mit denen das Risiko aus Unfällen weiter vermindert werden kann. Risikoanalysen sind geeignet, anlageninterne Notfallmaßnahmen zu identifizieren und aufzuzeigen, wie weit mit ihnen das Risiko aus Unfällen vermindert werden kann. Untersuchungen zu anlageninternen Notfallmaßnahmen bildeten daher einen Schwerpunkt in den Arbeiten zur Phase B der Studie. Die 'Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke Phase B' wurde im Juni 1989 von der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) veröffentlicht.

## Rohabfall

Unverarbeiteter radioaktiver Abfall

## Rohrfaktor

Bei der Messung luftgetragener Aktivität wird die Luft häufig dem Messgerät über Rohr- oder Schlauchleitungen zugeführt. Dabei können sich radioaktive Stoffe an den Wänden der Rohrleitungen oder Schläuche ablagern, so dass die ermittelte Aktivitätskonzentration zu gering ausfällt. Der Aktivitätsverlust durch Ablagerungen in den Rohrleitungen wird durch den Rohrfaktor RF beschrieben. Beispiel:  $RF = 0,9$  bedeutet, dass nur 90 % der ursprünglich in der Luft vorhandenen Aktivität das Messgerät erreicht. Die Verluste sind umso größer, je ungünstiger das Verhältnis von Rohrvolumen zur Rohrrinnenfläche ist (je kleiner der Rohrquerschnitt) und je länger die Zuführung ist. In der Praxis sollten deshalb kurze, möglichst gerade verlegte Zuführungen mit großem Querschnitt verwendet werden. Auf glatte Innenflächen ist zu achten.

Der Rohrfaktor hängt von der Art der luftgetragenen Aktivität ab. Für Aerosole und Jod ist er von besonderer Bedeutung. Edelgase weisen dagegen praktisch keine Verluste auf.

## Rohrmolch

Spezieller Manipulator für Arbeiten in Rohrleitungen; wird z.B. für →[zerstörungsfreie Prüfungen](#) oder Rohrleitungsdekontaminationen eingesetzt.

## Röntgen

1. Wilhelm Conrad Röntgen, Physiker, \* 27.3.1845 Lennep (heute zu Remscheid), † 10.2.1923 München, entdeckte 1895 die Röntgenstrahlen, die von ihm X-Strahlen genannt wurden, und untersuchte ihre Eigenschaften. Er erhielt 1901 den Nobelpreis für Physik



Wilhelm Conrad Röntgen

Quelle:

<http://www.uni-kiel.de/anorg/lagaly/group/klausSchiver/Roentgen.pdf>

2. Frühere Einheit der →[Ionendosis](#), Kurzzeichen: R; die Ionendosis von 1 Röntgen liegt vor, wenn durch Gamma- oder Röntgenstrahlung in  $1 \text{ cm}^3$  trockener Luft unter Normalbedingungen (1,293 mg Luft) eine Ionenmenge von einer elektrostatischen Ladungseinheit (EstE) erzeugt wurde. Die neue Einheit der Ionendosis ist Coulomb durch Kilogramm (C/kg).  $1 \text{ R} = 258 \text{ } \mu\text{C/kg}$ ;  $1 \text{ C/kg}$  entspricht ungefähr 3876 R.



## **Röntgenaufnahmen**

Darstellungen des lebenden menschlichen oder tierischen Körpers oder einer Sache mittels Röntgenstrahlen, um deren Beschaffenheit, Zustand oder Funktionen zum späteren Betrachten sichtbar zu machen. Die den Körper durchdringenden Röntgenstrahlen schwärzen dabei entweder einen Röntgenfilm, der anschließend entwickelt werden muss, oder erzeugen in einem Detektor Signale, die als digitales Bild gespeichert werden (digitale Röntgenaufnahme /SSP11/).

## **Röntgenbehandlungen**

Bestrahlungen des lebenden menschlichen oder tierischen Körpers oder einer Sache mit Röntgenstrahlen, um deren Beschaffenheit, Zustand oder Funktionen zu beeinflussen.

## **Röntgendiagnostik**

Zweig der Radiologie, der sich mit Röntgenuntersuchungen d. h. Röntgenaufnahmen und Röntgendurchleuchtungen zum Zweck der Diagnosestellung beschäftigt.

## **Röntgendiffraktometrie**

Die Röntgendiffraktometrie (XRD) basiert auf der Untersuchung gebeugter Röntgenstrahlung. Sie ist damit eine zerstörungsfreie Methode zur Analyse von Materialien wie Flüssigkeiten, Metallen, Mineralien, Polymeren, Katalysatoren, Kunststoffen, pharmazeutischen Produkten, dünnen Schichten, Keramiken und Halbleitern. In Industrie und Forschung ist die XRD eine unentbehrliche Methode zur Materialforschung und -charakterisierung sowie Qualitätskontrolle geworden. Beispiele für die Einsatzbereiche sind die qualitative und quantitative Phasenanalyse, Kristallographie, Struktur- und Relaxationsbestimmung, Untersuchungen zur Vorzugsorientierung und Resteigenspannung, kontrollierte Probenumgebung, Mikrodiffraktometrie, Nanomaterialien, Labor- und Prozeßautomatisierung sowie polymorphes Screening mit hohem Probendurchsatz.

## **Röntgendiffraktometer**

Gerät, das die Beugung von Röntgenstrahlung am Kristallgitter zur Feinstrukturanalyse von Materialien ausnutzt (Diffraktion=Beugung); die Geräte sind in der Regel bauartugelassen und als →[Vollschutzgerät](#) ausgeführt.





Beispiel für eine Röntgenfluoreszenzspektrometer als Vollschutzgerät

Quelle: Bruker AXS; <http://www.bruker-axs.de/>



Beispiel für eine Röntgendiffraktometer als Vollschutzgerät

Quelle: Bruker AXS;  
<http://www.bruker-axs.de/>

## Röntgendurchleuchtungen

Durchleuchtungen des lebenden menschlichen oder tierischen Körpers oder einer Sache mit Röntgenstrahlen, um deren Beschaffenheit, Zustand oder Funktionen zum gleichzeitigen Betrachten sichtbar zu machen.

## Röntgeneinrichtung

Einrichtung, die zum Zweck der Erzeugung von Röntgenstrahlung betrieben wird einschließlich Anwendungsgeräte, Zusatzgeräte und Zubehör, der erforderlichen Software sowie Vorrichtungen zur medizinischen Befundung (Def.: § 2 Nr.14 RöV) siehe auch →[Röntgenstrahler](#), →[Vollschutzgerät](#), →[Hochschutzgerät](#)  
Röntgeneinrichtungen werden zu unterschiedlichen Zwecken eingesetzt. Dazu gehören

- Strukturuntersuchungen in der Werkstoffprüfung
- Sicherheitskontrollen an Personen und Gepäckstücken
- Qualitätskontrollen bei der industriellen Fertigung
- Auffinden von Fremdkörpern in Nahrungsmitteln
- Identifizierung von Elementen mit der Röntgenfluoreszenzanalyse
- Untersuchung von Kristallstrukturen mit der Feinstrukturanalyse

- Materialbestrahlung zur Veränderung der Materialeigenschaften (z.B. Härtung von Kunststoffen)
- Sterilisation und Pasteurisierung
- Medizinische Diagnostik mittels Röntgenaufnahmen, Röntgendurchleuchtungen und Computertomographie (CT)

Röntgeneinrichtungen sind in der Regel so aufgebaut oder angeordnet, dass während der Einschaltzeit für das bedienende Personal keine unzulässige Strahlenexposition zu besorgen ist; ggf. sind besondere Absperrungen vorzunehmen. Besondere Stahlschutzmaßnahmen sind vorzusehen, wenn Instandhaltungsarbeiten im eingeschalteten Zustand durchgeführt werden müssen.

## Röntgeneinrichtung, ortsveränderlicher Umgang

Beim ortsveränderlichen Umgang mit Röntgeneinrichtungen, z.B. zur Materialprüfung auf Baustellen, kommt der Absperrung der von der Strahlung betroffenen Bereiche große Bedeutung zu. Verantwortlich dafür ist der →[Strahlenschutzbeauftragte](#) für die Tätigkeiten vor Ort. Die Tätigkeit ist in der Regel 48 h vorher der für den Einsatzort zuständigen Behörde zu melden. Das Personal ist mit Dosisleistungswarngeräten auszustatten. (DIN 54113 →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Röntgeneinrichtung, Prüfung von

Röntgeneinrichtungen sind grundsätzlich prüfpflichtig. Wenn keine Genehmigungspflicht besteht, ist zusammen mit der Anzeige des Betriebs der Prüfbericht eines Sachverständigen bei der zuständigen Behörde vorzulegen, mit dem die Einhaltung der Schutzziele bestätigt werden (§ 4 RöV). Der Sachverständige muss nach § 4a RöV von der Behörde bestimmt sein. Bei genehmigungspflichtigem Betrieb wird die Einhaltung der Schutzziele im Rahmen des Genehmigungsverfahrens geprüft. Dies regelt § 3 Abs.7 Nr. 3 RöV.

Röntgeneinrichtungen sind zudem mindestens alle fünf Jahre wiederkehrend auf ihre sichere Funktion und die Einhaltung der Strahlenschutzanforderungen zu prüfen (§ 18 RöV).

## Röntgenfluoreszenzanalyse

Die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) mit einem Röntgenfluoreszenzspektrometer ist eine Methode zur Bestimmung von Elementkonzentrationen in festen und flüssigen Proben. Das Probenmaterial wird mittels einer primären Röntgenstrahlungsquelle bestrahlt. Die Wechselwirkung dieser primären Röntgenstrahlung mit der Probe führt zur Anregung der Elemente, in deren Folge →[Fluoreszenzstrahlung](#) emittiert wird, die für die Elementzusammensetzung der Probe charakteristisch ist. Neben der Materialanalyse sind auch Schichtdickenmessungen möglich.

Die Röntgenfluoreszenzspektrometer sind in der Regel als →[Vollschutzgeräte](#) ausgeführt und verfügen über eine Bauartzulassung.

Es gibt jedoch auch handgehaltene Röntgenfluoreszenzspektrometer für den mobilen Einsatz. Diese Geräte verfügen über eine Miniaturröntgenröhre mit einer Leistung von wenigen Watt und werden direkt auf die Probe aufgesetzt (Röntgenpistole). Bei korrekter Anwendung wird die Röntgenstrahlung dabei so abgeschirmt, dass die Teilkörperdosis der Hand durch Streustrahlung unter 2 mSv im Jahr liegt. Gleichwohl tre-

ten im offenen Strahlenfeld Ortsdosisleistungen von einigen Sv/h auf, so dass auf die Ausbildung des Personals großes Gewicht gelegt werden muss /BAC11, BÖR11/.



Beispiel für ein handgehaltenes Röntgenfluoreszenzspektrometer

Quelle: Olympus Deutschland GmbH

## Röntgenfluoreszenzspektrometer

→ Röntgenfluoreszenzanalyse

## Röntgenfluoreszenzstrahlung

→ Fluoreszenzstrahlung

## Röntgenpass

Von der untersuchten Person freiwillig geführtes Dokument, das Angaben über den Zeitpunkt einer Röntgenuntersuchung, die untersuchte Körperregion, die Art der Untersuchung und den untersuchenden Arzt enthält. (Def.: § 2 Nr.15 RöV)

Nach § 28 Abs.2 müssen bei Röntgenuntersuchungen Röntgenpässe bereit gehalten und dem Patienten angeboten werden.

## Röntgenraum

Allseitig umschlossener Raum, in dem Röntgeneinrichtungen betrieben werden

## Röntgenröhre

→Röntgenstrahlung

## Röntgenrückstreuung

Die Rückstreuung weicher Röntgenstrahlung (Röhrenspannung 50 – 60 kV) wird als Untersuchungsmethode im Sicherheitsbereich zur Objektkontrolle, aber auch zur Personenkontrolle eingesetzt. Die Anwendung zur Personenkontrolle ist in Deutschland noch nicht zulässig. Im Auftrag der Strahlenschutzkommission wird diese Methode im Hinblick auf die damit verbundene Dosis untersucht. Bei einer Ganzkörperkontrolle beträgt die effektive Dosis nach den vorläufigen Ergebnissen etwa 3 – 5  $\mu\text{Sv}$ .

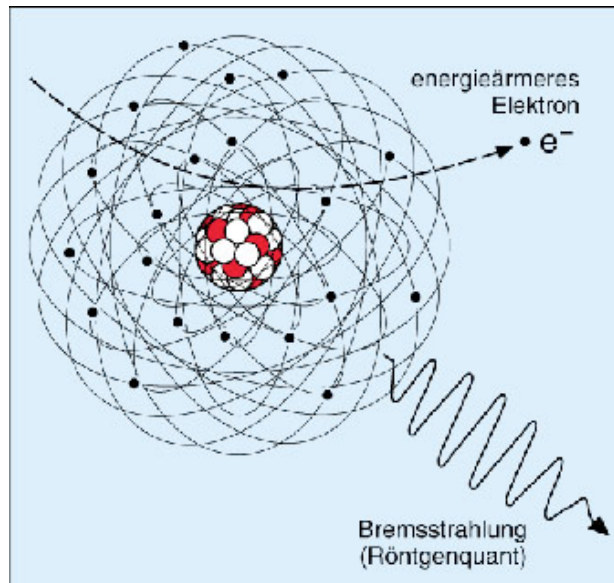
## Röntgenstrahler

Nach der Definition der Röntgenverordnung ist ein Röntgenstrahler ein Bestandteil einer →Röntgeneinrichtung und besteht aus der Röntgenröhre und dem Röhrenschutzgehäuse. Bei einem Einkesselgerät ist auch der Hochspannungserzeuger inbegriffen. (§ 2 Nr.16 RöV)

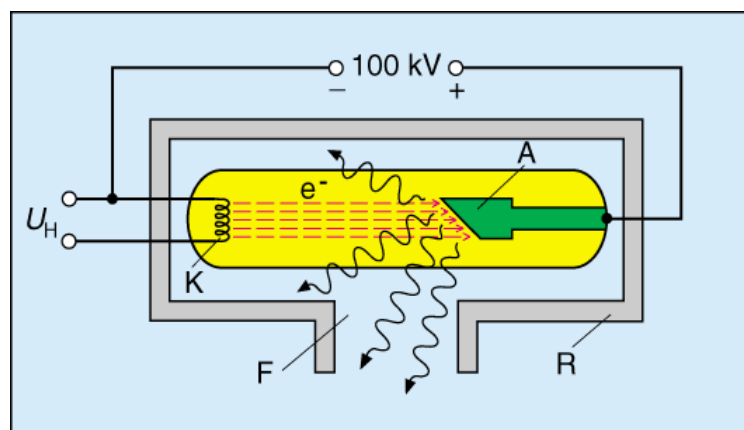
## Röntgenstrahlung

Durchdringende elektromagnetische Strahlung; die Erzeugung der Röntgenstrahlung geschieht durch Abbremsung von Elektronen oder schweren geladenen Teilchen. In einer Röntgenröhre werden Elektronen durch eine hohe Gleichspannung beschleunigt und auf eine Metallelektrode (Antikathode) geschossen. Die Elektronen (aus der Kathode kommend) werden im Material der Antikathode abgebremst. Die dabei entstehende Strahlung nennt man Röntgenstrahlung. Die Energie der beschleunigten Elektronen kann auf zwei Arten in elektromagnetische Wellenstrahlung umgesetzt werden:

- Die Elektronen ionisieren Atome des Antikathodenmaterials, indem Elektronen aus energetisch tief liegenden Schalen der Atomhülle herausgeschlagen werden. Diese Schalen werden nachfolgend durch Elektronen höherer Schalen wieder besetzt. Dabei wird elektromagnetische Strahlung emittiert, deren Energie der Energiedifferenz der betroffenen Schalen entspricht. Dies ist die charakteristische Röntgenstrahlung. Sie hat ein diskretes Energiespektrum.
- Die negativen Elektronen werden im negativen Feld der Atomhüllen der Antikathodenatome abgebremst und geben ihre Energie in Form von Bremsstrahlung ab. Die Bremsstrahlung hat ein kontinuierliches Energiespektrum. Die Maximalenergie entspricht der Maximalenergie der Elektronen: z.B. beträgt bei einer Röhrenspannung von 100 kV die Maximalenergie 100 keV.



Erzeugen von Bremsstrahlung bei der Abbremsung eines Elektrons bei der Wechselwirkung mit einem Atom



Vereinfachte Schnittzeichnung einer Röntgenröhre

$U_H$ : Heizspannung

K: Kathode

A: Anode (Antikathode)

$e^-$ : aus der Kathode austretende und zur Anode beschleunigte Elektronen

R: Röhrenabschirmung

F: Strahlungsaustrittsfenster

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

Die Anzahl der beschleunigten Elektronen und damit die Intensität der Röntgenstrahlung hängt von Röhrenstrom  $I$  ab, die Energie der Röntgenquanten von der Röhrenspannung (Beschleunigungsspannung).



## Röntgenverordnung

Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - RöV) vom 8. Januar 1987 (Bundesgesetzblatt, Teil I, S. 114), in Kraft getreten am 1. Januar 1988, zuletzt geändert durch die Verordnung zur Änderung der Röntgenverordnung vom 18. Juni 2002. Sie regelt den Umgang, den Betrieb, die Anwendung und die Schutzvorschriften für Röntgenanlagen und für bestimmte Elektronenbeschleuniger.

## RöV

Abk. für →[Röntgenverordnung](#)

## RPL

Abk. für →[Radiophotolumineszenz](#)

## RSK

Abk. für →[Reaktorsicherheitskommission](#)

## RTG

Abk. für **R**adioisotope **T**hermoelectric **G**enerator →[Radionuklidbatterie](#)

## Rückstände

In der Strahlenschutzverordnung werden Abfälle, die bei Arbeiten im Zusammenhang mit natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen anfallen und wegen ihrer Aktivität einer besonderen Überwachung bedürfen, als überwachungsbedürftige Rückstände bezeichnet. Den Umgang mit diesen Rückständen regelt § 97 StrlSchV in Verbindung mit Anlage XII. Die Entlassung von Rückständen aus der Überwachung regelt § 98 StrlSchV. Die Einfuhr von Rückständen aus dem Ausland zum Zwecke der Beseitigung ist verboten. (→[Strahlenschutzverordnung](#))

## Rückstoßkern

Atomkern, der von einem Stoßpartner kinetische Energie aufgenommen hat; im Sinne der Definition nach DIN 6814-2 (→[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)) muss diese Energie zudem zur weiteren Ionisation ausreichen.

## Rückstreu-Peak

Begriff aus der Photonenspektrometrie; die Rückstreu-Signale in einem Photonenpektrum werden durch Photonen erzeugt, die außerhalb des Detektors einen Teil ihrer Energie durch →[Compton-Streuung](#) in umgebenden Materialien verlieren und dann ihre restliche Energie vollständig im Detektor abgeben. Dabei wird der Rückstreu-Peak von den Photonen gebildet, die nur eine einzige externe Compton-Streuung ausführen und dabei die maximale Energie übertragen (Rückstreuung unter  $180^\circ$ ). Die Energie dieser Rückstreuphotonen  $E_R$  und damit die Lage des Rückstreu-Peaks im Spektrum hängt von der ursprünglichen Photonenenergie  $E_\gamma$  ab und lässt sich näherungsweise mit folgender Zahlenwertgleichung berechnen:

$$E_R \approx E_\gamma \frac{1}{3,914E_\gamma + 1} \quad (\text{Energien in MeV})$$

## Rückstreufaktor

Materialabhängige Kenngröße für das Rückstreuvermögen eines Materials; der Rückstreufaktor R verknüpft die durch die rückgestreuten Strahlungsanteile erzeugte Dosisleistung  $\dot{H}_R$  mit der Dosisleistung der auf die Streufläche auftreffenden Strahlung  $\dot{H}_0$  am Ort der Streufläche:

$$\dot{H}_R = R \cdot \frac{F}{s^2} \dot{H}_0 \quad ; F = \text{Streufläche}; s = \text{Abstand Streufläche} - \text{Aufpunkt}$$

Diese Faustformel impliziert das quadratische Abstandsgesetz und gilt daher nur für kleine Streuflächen, deren Ausdehnung kleiner als etwa  $s/4$  ist. Bei größeren Streuflächen müssen Teilflächen betrachtet werden, deren Beiträge am Aufpunkt zu summieren sind.

Rückstreufaktoren sind in der Fachliteratur für unterschiedliche Materialien und Strahlenarten zusammengestellt. (NCRP51, VOG04)

## Rückstreuung

Streuung von Strahlungsteilchen, die auf eine Oberfläche treffen, von dieser Oberfläche weg; die rückgestreuten Strahlungsteilchen dringen somit nicht in die Oberfläche ein. Die Rückstreuung ist im praktischen Strahlenschutz in der Regel nur für Gammastrahlung und Neutronenstrahlung relevant. Die durch die Rückstreuung bedingte Dosisleistung vor der Streufläche wird durch den →[Rückstreufaktor](#) bestimmt.

Der Anteil der Rückstreuung kann verringert werden, wenn die betroffenen Oberflächen mit einem Material verkleidet werden, das einen geringen Rückstreufaktor aufweist.

## Ruheenergie

Aus der Relativitätstheorie folgt, dass zwischen Masse und Energie eine Äquivalenzbeziehung besteht. Die Energie ist gleich dem Produkt aus Masse und dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit:  $E = mc^2$ . Ruheenergie  $E_0$  ist also das Energieäquivalent eines ruhenden, d. h. nicht bewegten Teilchens. So beträgt z. B. die Ruheenergie des Protons 938,257 MeV, die eines Elektrons 0,511 MeV. Die Ruheenergie von 1 g Masse entspricht etwa  $2,5 \cdot 10^7$  kWh.

## Ruhemasse

Die Masse eines Teilchens, das sich in Ruhe befindet. Nach der Relativitätstheorie ist die Masse geschwindigkeitsabhängig und nimmt mit wachsender Teilchengeschwindigkeit zu. Ist  $m_0$  die Ruhemasse,  $v$  die Teilchengeschwindigkeit und  $c$  die Lichtgeschwindigkeit, so errechnet sich die geschwindigkeitsabhängige Masse  $m$  aus:



$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

# S

## Safeguard

Maßnahmen zur Kernmaterialüberwachung. Im Wesentlichen sind das Maßnahmen zur Bilanzierung, Einschließung, Umschließung und beobachtenden Überwachung. Die Maßnahmen müssen einzeln oder in Kombination eine rechtzeitige Entdeckung einer Spaltstoffabzweigung aus dem Prozess gewährleisten.

## Sättigungsaktivität

Maximal erreichbare Aktivität eines radioaktiven Reaktionsprodukts; die Sättigungsaktivität hängt von den Bestrahlungsbedingungen (Teilchenflussdichte, Wirkungsquerschnitt) und der Zerfallskonstante  $\lambda$  des entstehenden radioaktiven Kerns ab. Bei der Sättigungsaktivität werden je Zeiteinheit gerade so viele radioaktive Kerne neu gebildet wie aufgrund der Radioaktivität zerfallen.

## SCA

Abk. für **Single Channel Analyser**; →[Einkanal-Analysator](#), →[Kanal](#)

## Scales

Engl. Fachbezeichnung für Ablagerungen in Rohrleitungen und anderen Komponenten bei der Erdöl-/Erdgasförderung (von engl. scale = Kesselstein); bei der Erdgasförderung wird z.B. mit dem Gas Lagerstättenwasser gefördert, in dem natürliche radioaktive Stoffe als Karbonate oder Sulfatverbindungen gelöst sind. Diese Stoffe setzen sich an den Innenwandungen der Steigleitungen oder in Armaturen und Behältern ab und können dabei Beläge von mehreren Millimetern Dicke bilden. Diese Beläge können erhebliche spezifische Aktivitäten aufweisen; so wurden Ra-226-Aktivitäten von bis zu 6000 Bq/g gemessen.

Um die Komponenten weiterverwenden oder verwerten zu können, müssen die Scales entfernt werden. Für die Reinigung der Rohrleitungen hat sich ein Hochdruck-Wasserstrahlverfahren bewährt, das in einer geschlossenen Kammer durchgeführt wird. Alternative Verfahren, welche die Scales auf mechanische Weise trocken ablösen, sind wegen der dabei auftretenden Staubentwicklung für den Strahlenschutz problematischer.

## Schauhöhle und Strahlenexposition

Die Strahlenexposition in Schauhöhlen und Schaubergwerken wird durch das natürliche Radionuklid Radon und seine radioaktiven Folgeprodukte bestimmt. Die effektiven Dosen können beträchtlich sein. Die im Jahr 2004 ermittelte maximale effektive Dosis betrug 12,4 mSv. →[Strahlenexposition, zivilisatorische](#), →[Radon](#)

## Schichtdickenmessung

In der Industrie werden radioaktive Strahler (umschlossene radioaktive Stoffe) oder Röntgeneinrichtungen zur Messung von Schichtdicken bei der industriellen Fertigung eingesetzt. Messprinzip ist die Schwächung der Strahlung beim Durchgang durch das Material oder die Materialabhängigkeit der rückgestreuten Strahlung. Beispiele sind die Papierindustrie, Stahlindustrie oder die Kunststoffherstellung: Das zu messende Gut läuft im Produktionsprozess unter der radioaktiven Quelle oder Röntgeneinrichtung hindurch. Das Messsignal kann zur Steuerung des Produktionsprozesses verwendet werden.

Als radioaktive Strahler werden in der Regel Betastrahler eingesetzt, die so abgeschirmt angeordnet sind, dass im Normalbetrieb in der Umgebung des Strahlers kein Strahlenschutzbereich eingerichtet werden muss.

Beim Einsatz von Röntgeneinrichtungen (z.B. zur Schichtdickenmessung an Blechen) wird mit Röhrensparnungen von über 200 kV (bei Stahl) oder bis 100 kV (bei Aluminium) gearbeitet. Bei Kunststofffolien reichen Röhrensparnungen <15 kV aus. In der Umgebung der Röntgeneinrichtungen kann dabei die Abgrenzung eines Kontrollbereichs erforderlich sein.

## Schild, biologischer

Absorbermaterial rings um einen Reaktor; dient zur Abschirmung der von dem Reaktor ausgehenden ionisierenden Strahlung, insbesondere Gamma- und Neutronenstrahlung. Die Abschirmwirkung wird so ausgelegt, dass die außerhalb des biologischen Schildes gelegenen Raumbereiche weitgehend begehbar bleiben. →[Schild, thermischer](#)

## Schild, thermischer

Abschirmung eines Reaktors zwischen Reflektor und biologischem Schild; dient zur Herabsetzung der Strahlenschäden und der Bestrahlungserwärmung im Druckgefäß und im biologischen Schild.

## Schlüsselmesspunkt

Begriff aus dem Bereich der Kernmaterialüberwachung; es ist ein Ort, an dem das Kernmaterial in einer Form vorliegt, die seine Messung zur Bestimmung des Materialflusses oder des Bestandes ermöglicht. Schlüsselmesspunkte umfassen - jedoch nicht ausschließlich - die Eingänge und Ausgänge und die Lager in →[Materialbilanz-zonen](#).

## Schmalstrahlgeometrie

Fachbezeichnung im Zusammenhang mit der Abschirmung von Photonenstrahlung; in der Schmalstrahlgeometrie beschränkt sich die Betrachtung auf das kollimierte Strahlenbündel, in dem keine Streustrahlungsanteile zu berücksichtigen sind (→[Schwächungsfaktor](#)).

## Schmutzige Bombe

→ [Radiologische Waffe](#)

## Schneller Brutreaktor

Kernreaktor, dessen Kettenreaktion durch schnelle Neutronen aufrechterhalten wird und der mehr spaltbares Material erzeugt als er verbraucht. Der Brutstoff U-238 wird unter Neutroneneinfang und zwei nachfolgenden Betazerfällen in den Spaltstoff Pu-239 umgewandelt. Die Kernspaltung erfolgt zur Erzielung eines hohen Bruteffekts praktisch ausschließlich mit schnellen Neutronen. Da die Neutronen möglichst wenig abgebremst werden sollen, scheidet Wasser als Kühlmittel wegen seiner Bremswirkung aus. Aus technischen Gründen ist Natrium, das bei Temperaturen oberhalb 97,8 °C flüssig ist, besonders gut geeignet. Dabei ist die zuverlässige technische Trennung des Natriums vom Wasser, das verdampft und zum Antrieb der Turbinen verwendet wird, sicherzustellen, da Natrium mit Wasser heftig chemisch reagiert. Daher wurden auch anderen Stoffe als Primärkühlmedium untersucht und z.T. auch verwendet (Blei, Salzschnmelzen).

Der Schnelle Brüter kann das Uran bis zu 60-fach besser ausnutzen als die Leichtwasserreaktoren.

## Schneller Reaktor

→Reaktor, schneller

## Schnellschluss

Möglichst schnelles Abschalten eines Kernreaktors, im Allgemeinen durch schnelles Einfahren der Abschaltstäbe. Notfälle oder Abweichungen vom normalen Reaktorbetrieb führen dazu, dass die automatische Regeleinrichtung den Reaktorschnellschluss auslöst.

## Schnellspaltfaktor

Verhältnis der Anzahl der in einem Kernreaktor durch sämtliche Spaltungen erzeugten schnellen Neutronen zur Anzahl der durch thermische Spaltungen erzeugten schnellen Neutronen.

## Schulröntgeneinrichtung

Im Sinne der Röntgenverordnung eine Röntgeneinrichtung zum Betrieb im Zusammenhang mit dem Unterricht in Schulen; sie muss als →Vollschutzgerät ausgelegt sein, und es muss sichergestellt sein, dass die vom Hersteller oder Einführer angegebenen maximalen Betriebsbedingungen nicht überschritten werden können.

(§ 2 Nr.17 i.V.m. Anlage 2 RöV)

## Schutzgröße

Begriff aus der Dosimetrie; Schutzgrößen sind die direkt mit Körperschäden verknüpften Dosisgrößen →Organdosis und →effektive Dosis

## Schutzkleidung

Die Schutzkleidung soll im Strahlenschutz vorwiegend gegen →Kontamination und →Inkorporation radioaktiver Stoffe schützen. In Sonderfällen sind ist auch ein Schutz

gegen Direktstrahlung möglich: z.B. der Schutz der Augenlinse vor Beta-Strahlung mit einer →Beta-Brille oder ein Schutz vor weicher Röntgenstrahlung durch →Bleischürzen.

Bei der Schutzkleidung gegen Kontamination unterscheidet man Vollschutzanzüge, welche den gesamten Körper abdecken, und Schutzkleidung für einzelne Körperpartien. Vollschutzanzüge bestehen in der Regel aus Kunststoffmaterial oder aus mit Kunststoff beschichtetem Gewebe. Die Atemluft wird entweder von außen zugeführt oder über eine Filtermaske angesaugt. Im zweiten Fall wird der Übergang Schutzanzug-Filtermaske besonders abgedichtet. In der Praxis geschieht dies oft durch Kunststoff-Klebeband. Bei der Zufuhr von außen kann die Frischluft über einen Schlauch zugeführt werden, der an ein Druckluft-System angeschlossen ist, es kann mit Druckluft-Flaschen gearbeitet werden oder die Luft wird über ein im Schutzanzug integriertes System über Filter aus der Raumluft angesaugt.

Bei der Teilkörperschutzkleidung gibt es diverse Schutzhandschuhe für die Hände (Baumwolle, Gummi, Kunststoff, Latex), Überschuhe für die Füße (Baumwolle, Kunststoff), Overalls für den Rumpf (Papier, Baumwolle, Gore-Tex, Kunststoff), Kittel unterschiedlicher Art und Kopfbedeckungen für die Haare (Papier-Kappen, Kapuzen). Die Übergänge zwischen den einzelnen Kleidungsstücken, z.B. zwischen Overall und Handschuhen, werden bei Bedarf durch Klebeband abgedichtet, um einen Kontaminationseintrag unter die Schutzkleidung zu vermeiden.

Die Materialwahl der Schutzkleidung richtet sich nach den Einsatzbedingungen. Schutzkleidung aus speziellem reißfestem Papier ist nur geeignet zum Schutz bei trockener Kontamination und bei Arbeiten mit geringer mechanischer Belastung der Kleidung. Bei Einsatz dieser Kleidung ist zu berücksichtigen, dass sie in der Regel nicht den Ansprüchen an die Dekontaminierbarkeit genügt und bei Kontamination verworfen werden muss.

Vollschutzanzüge mit externer Luftzufuhr haben in der Regel einen höheren Tragekomfort, da durch die den Kopf umspülende Frischluft ein normales Atmen möglich ist. Außerdem liegen diese Anzüge nicht so eng an, wodurch die tragende Person nicht so sehr schwitzt. Nachteilig ist bei einer Schlauchzufuhr der eingeschränkte Bewegungsraum; gleiches gilt für aufblasbare Anzüge.

Vollschutzanzüge in Kombination mit einer Filtermaske garantieren einerseits eine größere Beweglichkeit am Arbeitsplatz, verursachen aber wegen des höheren Atemwiderstandes für die tragende Person eine größere körperliche Belastung. Die zulässigen Tragezeiten sind deshalb stark beschränkt, was bei der Arbeitsplanung und der Strahlenschutzplanung berücksichtigt werden muss.

Eine große Kontaminationsgefahr für die zu schützende Person besteht bei Ablegen der Schutzkleidung nach einer Arbeit in kontaminierten Bereichen. Um Aufwirbelungen von Kontamination von der Kleidung zu vermeiden, muss das Ablegen vorsichtig und zügig geschehen. Kunststoff-Kleidung, die an der Haut kleben könnte, wird deshalb möglichst über Baumwollkleidung getragen (z.B. Gummihandschuhe über Baumwollhandschuhen). Außerdem bietet sich eine Auskleidehilfe an (in der Praxis ist dies oft der Strahlenschutzmitarbeiter vor Ort), der sich dabei selbst angemessen schützen muss (Atemschutz).



Schutzhandschuhe aus Baumwolle (links) und Gummi (rechts)  
Quelle: ENS Nuclear Services GmbH



Beispiele für Überschuhe als Kontaminationsschutz;  
Quelle: ENS Nuclear Services GmbH



Vollschutzhaube mit Fremdluftzufuhr  
Quelle: ENS Nuclear Services GmbH



Beispiele für Vollschutzanzüge, belüftet (links) und unbelüftet (rechts)  
Quelle: ENS Nuclear Services GmbH



## Schutzvorkehrungen am Arbeitsplatz

Die Strahlenschutzverordnung fordert in § 43 Abs.1, beruflich strahlenexponierte Personen vor äußerer und innerer Strahlenexposition vorrangig durch bauliche und technische Vorrichtungen oder durch geeignete Arbeitsverfahren zu schützen. Diese Forderung löst die Forderung nach →**Dauereinrichtungen** in § 54 der früheren Version aus 1989 ab und geht über die frühere Forderung hinaus, indem explizit der Schutz vor äußerer und innerer Strahlenexposition gefordert wird und bauliche und technische Maßnahmen angesprochen werden. Damit sind z.B. auch Lüftungstechnische Maßnahmen eingeschlossen. Außerdem wird klar gestellt, dass organisatorische Maßnahmen oder Körperschutzmittel erst nachrangig zum Einsatz kommen dürfen. Dies wird auch in der amtlichen Begründung zu § 43 verdeutlicht.

## Schutzzone

Begriff aus der medizinischen Strahlungsanwendung; die Schutzzone ist ein Teil des Kontrollbereichs in der Nähe von Strahlungsquellen, in dem bei bestimmungsgemäßen Gebrauch und anzugebenden Betriebsbedingungen eine vorgegebene (niedrige) Ortsdosisleistung nicht überschritten werden kann. Die Schutzzone hat fest umrissene Grenzen und dient u.a. dem Aufenthalt des Personals.

## Schwächungsfaktor

Materialkenngröße für Abschirmmaterial; der Schwächungsfaktor  $S$  ist für ungestreute Photonenstrahlung definiert als das Verhältnis zwischen der Ortsdosisleistung  $\dot{H}_0$  an einem Aufpunkt ohne Abschirmung zwischen Quelle und Aufpunkt und der Ortsdosisleistung  $\dot{H}_1$  am gleichen Aufpunkt mit vorhandener Abschirmung im Strahlengang:

$$S = \frac{\dot{H}_0}{\dot{H}_1}$$

Der Schwächungsfaktor ist mit dem →**linearen Schwächungskoeffizienten**  $\mu$  verknüpft über die Beziehung

$$1/S = e^{-\mu d} \quad (d = \text{Schichtdicke der Abschirmung})$$

Da  $\dot{H}_1$  als Ortsdosisleistung ohne Streustrahlungsanteil definiert ist, gilt diese Beziehung nur im kollimierten Strahl einer Strahlenquelle. In unkollimierten breiten Strahlenfeldern ist die Ortsdosisleistung hinter der Abschirmung wegen des zusätzlich vorhandenen Streustrahlungsanteils höher, der Schwächungsfaktor  $S_B$  entsprechend niedriger. Dies wird durch den sog. →**Dosisaufbaufaktor**  $A_B$  berücksichtigt:

$$S_B = \frac{S}{A_B}$$

Wenn die Gesamtabschirmung aus zwei Abschirmwänden unterschiedlichen Materials mit den Wanddicken  $d_1$  und  $d_2$  sowie den Schwächungsfaktoren  $S_{B1}$  und  $S_{B2}$  besteht, kann bei monoenergetischer Strahlung der Gesamtschwächungsfaktor  $S_B$  häufig über die Beziehung  $S_B = S_{B1} \cdot S_{B2}$  abgeschätzt werden. Der tatsächliche Schwächungsfaktor ist in der Regel größer als dieser Schätzwert.

Die Schwächungsfaktoren sind in Abhängigkeit von der Photonenenergie und dem Abschirmmaterial in der Fachliteratur enthalten (z.B. VOG04)

## Schwächungskoeffizient

Der Schwächungskoeffizient  $\mu$  (oder [→linearer Schwächungskoeffizient](#)) ist definiert für Photonenreaktionen durch das Produkt aus der Anzahldichte der Atome  $n_a$  im durchstrahlten Material und dem totalen Wirkungsquerschnitt  $\sigma_T$ :  $\mu = n_a \cdot \sigma_T$

## Schwächungslänge

Begriff aus der Strahlungsphysik; die Schwächungslänge ist definiert als die totale mittlere freie Weglänge  $\lambda_{\text{eff}}$  bei Photonenstrahlung ([→freie Weglänge, mittlere totale](#)).

Es gilt zudem  $\lambda_{\text{eff}} = 1 / \mu$ , wobei  $\mu$  der lineare Schwächungskoeffizient ist. Bei Photonenstrahlung nimmt die Fluenz der auf ein Material auftreffenden Photonen in einer Schicht nach einer der Schwächungslänge entsprechenden Materialschicht um den Faktor  $1/e$  ab. (s. auch DIN 6814-2 [→DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Schwebstofffilter

Filter zur Abscheidung von trockenen [→Aerosolen](#).

## Schweißen und Strahlenexposition

Beim WIG-Schweißen (Wolfram-Inertgas-Schweißen) werden Wolfram-Elektroden eingesetzt, die zur Verbesserung der Zündfähigkeit und der Lichtbogenstabilität mit Thoriumoxid versetzt sind. Diese thorierten Wolfram-Elektroden enthalten bis zu etwa 4 % die radioaktiven Nuklide Th-230 und Th-232, die beim Schweißen freigesetzt und eingeatmet werden können. Außerdem kann Staub beim Anschleifen der Elektroden freigesetzt und eingeatmet werden. Untersuchungen der resultierenden Strahlenexposition haben folgende Maximalwerte ergeben (4 % ThO<sub>2</sub>-Dotierung):

1 h Wechselstromschweißen incl. Rüstzeiten: 8,4  $\mu\text{Sv}$

1 h Gleichstromschweißen incl. Rüstzeiten: 0,12  $\mu\text{Sv}$

Anschliff der Elektroden (je Anschliff): 0,58  $\mu\text{Sv}$

Die Strahlenexpositionen können durch lokale Absaugungen im Mittel auf die Hälfte reduziert werden. Externe Strahlenexpositionen sind nur von Bedeutung, wenn größere Mengen an Elektroden gelagert werden. (Quelle: VOG04)

## Schwellendetektor

Detektor zum Nachweis von Neutronenstrahlung oberhalb einer bestimmten Energie (Schwellenenergie); Schwefel kann z. B. in einem Schwellendetektor eingesetzt werden. Über die Reaktion  $\text{S-32} (n,p) \text{P-32}$  werden nur Neutronen mit einer Energie  $> 2 \text{ MeV}$  gemessen.

## Schwellendosis

Deterministische Schäden treten in der Regel erst nach Strahlenexpositionen auf, die oberhalb einer Schwellendosis liegen, die typisch für den betreffenden Strahlensch-

den ist. Die Schwellendosis gilt für Kurzzeit-Expositionen. Protrahierte (über einen längeren Zeitraum verteilte) Expositionen können oft wegen der Reparaturmechanismen in den Zellen deutlich höher sein, bevor sie zum gleichen Schaden führen. Typische Schwellendosen sind z.B.

Bei Ganzkörperexposition:

- 1 – 2 Gy akute Strahlenkrankheit

Bei Teilkörperexposition

- 1 – 10 Gy Linsentrübung des Auges
- 3 – 5 Gy Hautrötung nach 3 – 5 Wochen
- 3,5 – 6 Gy Dauersterilisation (Hoden)

## Schwellendosis

Kleinste Energie- oder Körperdosis, die eine bestimmte Wirkung hervorruft.

## Schwellenwertmessungen

Begriff aus der Inkorporationsüberwachung; Messungen zur Kontrolle von Schwellenwertüberschreitungen. Nach der [→Richtlinie zur physikalischen Strahlenschutzkontrolle](#) genügen einfache Geräte mit einer Relativkalibrierung zur Anzeige der Raumlufaktivität oder zur Anzeige der Körperaktivität.

Die Messungen liegen im Zuständigkeitsbereich des fachkundigen Strahlenschutzverantwortlichen oder des Strahlenschutzbeauftragten. Sie dienen dazu

- nachzuweisen, dass bei den vorliegenden radiologischen Verhältnissen eine regelmäßige Inkorporationsüberwachung nicht erforderlich ist oder
- bei nicht praktikablen Überwachungsintervallen Inkorporationen oberhalb vorgegebener Dosis-schwellen zeitnah zu identifizieren.

Schwellenwertmessungen sind grundsätzlich nicht zur Feststellung der individuellen Körperdosis geeignet. (s. BMU07)

## Schwerer Wasserstoff

→[Deuterium](#)

## Schweres Wasser

Deuteriumoxid,  $D_2O$ ; Wasser, das an Stelle der zwei leichten Wasserstoffatome zwei Deuteriumatome enthält. Natürliches Wasser enthält ein Deuteriumatom pro 6.500 Moleküle  $H_2O$ .  $D_2O$  hat einen niedrigen Neutronenabsorptionsquerschnitt. Es ist daher als Moderator in Natururanreaktoren verwendbar.

## Schwerwasserreaktor

Mit schwerem Wasser ( $D_2O$ ) gekühlter und/oder moderierter Reaktor; Beispiel:

→[CANDU-Reaktoren](#);  $D_2O$ -Druckwasserreaktor Atucha, Argentinien.

## Schwimmbadreaktor

Reaktor, in dem die Brennelemente in ein oben offenes Wasserbecken, dessen Wasser als Moderator, Reflektor und Kühlmittel dient, eingetaucht sind; dieser Reaktortyp wird für Forschung und Ausbildung benutzt. Der Forschungsreaktor FRG-1 der GKSS in Geesthacht ist ein Schwimmbadreaktor.

## Scram

Amerikanischer Sprachgebrauch für →[Schnellschluss](#) (scram => am. Slang: abhauen).

## Screening

Bezeichnung für eine qualitative Kontaminationsprüfung durch Abwischen großer Flächen; durch Screening-Tests wird häufig eine Vorabkontrolle auf Kontamination durchgeführt, die bei Kontaminationsbefund durch quantitative →[Wischteste](#) ergänzt wird. Für das Screening kommen großflächige Wischtest-Papiere oder Wischtücher zum Einsatz.



Beispiele für Screening-Papiere mit Entnahmevorrichtung  
Quelle: ENS Nuclear Service GmbH

## SEE

Abk. für →[Spezifische effektive Energie](#)

## Sekundärelektron

Elektron, das durch Wechselwirkung von Primärstrahlung mit Materie entsteht und dessen Energie ausreicht, mindestens einen weiteren Ionisationsprozess auszuführen (DIN 6814-2 →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)); mit dieser Definition sind nicht alle durch Primärlionisation entstehenden Elektronen Sekundärelektronen.

## Sekundärelektronengleichgewicht

Idealisierter Zustand eines Photonen-Strahlungsfeldes in Materie; Sekundärelektronengleichgewicht besteht dann, wenn innerhalb eines kleinen Volumenelements der

Materie die Summe der Energie der Sekundärelektronen konstant bleibt. Dies bedeutet, dass die Energie, welche durch Sekundärelektronen aus dem Volumenelement heraustransportiert wird, durch andere Sekundärelektronen ersetzt wird, die von außen in das Volumenelement eindringen.

## **Sekundäres Photon**

Photon, das durch Wechselwirkung von Primärstrahlung mit Materie entsteht

## **Sekundärstrahlung**

Als Sekundärstrahlung wird die ionisierende Strahlung bezeichnet, die an einem interessierenden Aufpunkt durch Wechselwirkung einer einfallenden Strahlung mit der Materie entsteht. Zur Abgrenzung siehe auch →[Primärstrahlung](#).

Bei medizinischer Anwendung ionisierender Photonenstrahlung besteht die Sekundärstrahlung im Falle →[perkutaner Therapie](#) vor allem aus außerhalb oder innerhalb des Körpers erzeugten Sekundärelektronen. In der Röntgendiagnostik besteht eine wichtige Sekundärstrahlung aus Sekundärelektronen, die z.B. in den Verstärkungsfolien einer Film-Folien-Kombination ausgelöst wurden. (DIN 6814-2 →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## **Sekundärteilchen**

Teilchen, das durch Wechselwirkung eines →[Primärteilchens](#) mit Materie entsteht

## **Selbstabsorption**

Absorption einer Strahlung in der strahlenemittierenden Substanz selbst.

## **Selbsterhitzung**

Bei einer hohen Konzentration von Radionukliden in einem System kann die Produktion von Zerfallswärme die Wärmeabfuhr aus dem System übersteigen. Es liegt dann Selbsterhitzung vor. Selbsterhitzung ist z. B. bei der Lagerung von abgebrannten Brennelementen und hochaktiven Abfalllösungen durch die Betriebskühlung zu verhindern.

## **Selbstretter**

→[Fluchtgeräte](#)

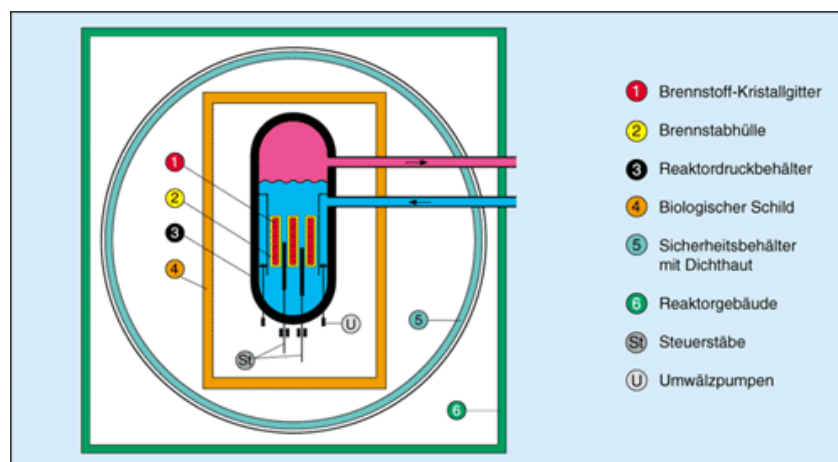
## **Sellafield**

Standort zahlreicher kerntechnischer Einrichtungen in Cumbria, England; am Standort Sellafield ist die Wiederaufarbeitungsanlage THORP seit 1994 in Betrieb, und von 1956 bis 2003 waren die vier Gas-Graphit-Reaktoren des Kernkraftwerks Calder Hall in Betrieb. Ein Teil des Standorts Sellafield ist unter dem Namen Windscale bekannt, an dem sich 1957 in einem der beiden militärischen Plutonium-Produktionsreaktoren ein Unfall ereignete. Siehe auch →[INES](#)

## Sicherheitsbarrieren

Der sichere Einschluss des radioaktiven Inventars einer kerntechnischen Anlage erfolgt nach dem Mehrfachbarrierenprinzip, d. h. zur Freisetzung radioaktiver Stoffe müssen diese mehrere verschiedene, hintereinander geschaltete Barrieren passieren. Barrieren eines Kernreaktors sind z.B.:

- Rückhaltung von Spaltprodukten im Kernbrennstoff selbst
- Einschluss des Kernbrennstoffes in Hüllrohren
- Einschluss der Brennelemente im Reaktordruckbehälter und Primärkühlkreislauf
- gasdichter Sicherheitsbehälter



Sicherheitsbarrieren eines Kernkraftwerks zur Verhinderung der Freisetzung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie

[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Sicherheitsbehälter

Gasdichte Umhüllung um einen Reaktor und die Kreislauf- und Nebenanlagen, damit - auch nach einem Störfall - keine radioaktiven Stoffe unkontrolliert in die Atmosphäre und Umgebung entweichen können; der Sicherheitsbehälter ist eine der Barrieren im Kernkraftwerk, die das Entweichen radioaktiver Stoffe in die Umgebung erschweren. Er umschließt den nuklearen Teil der Anlage und ist so ausgelegt, dass er bei schweren Störungen den austretenden Dampf aufnimmt, ohne zu versagen. Der Sicherheitsbehälter eines Druckwasserreaktors ist z. B. eine stählerne Kugel mit ca. 50 m Durchmesser und 30 mm Wanddicke. Dazu gehören schnellschließende Armaturen der herausführenden Rohrleitungen sowie Personen- und Materialschleusen. Den Behälter umgibt eine bis zu 2 m dicke Stahlbetonkuppel zum Schutz gegen äußere Einwirkungen.

Die Innenwand der Kuppel ist gasdicht mit einer Stahlhaut ausgekleidet. In dem Ringraum zwischen Sicherheitsbehälter und Stahlhaut herrscht Unterdruck. Die beim Normalbetrieb aus dem Sicherheitsbehälter austretenden radioaktiven Stoffe gelan-

gen in die Unterdruckzone und über Filter zum Abluftkamin. Im Störfall wird die Luft aus der Unterdruckzone in den Sicherheitsbehälter zurückgepumpt.

## Sicherheitsbericht

Kerntechnische Anlagen müssen so ausgelegt sein, dass die Schutzziele des Atomgesetzes eingehalten werden. Dies gilt nicht nur für den Normalbetrieb und die sicherheitstechnisch unbedeutenden Betriebsstörungen, sondern auch für Stör- und Schadensfälle. Daher müssen im Sicherheitsbericht eines Kernkraftwerkes neben Kapiteln über Standort, detaillierter technischer Anlagenbeschreibung, radiologischer und klimatologischer Auswirkung auf die Umgebung bei bestimmungsgemäßem Betrieb insbesondere auch Angaben für Störfallauswirkungen vorhanden sein. Der Sicherheitsbericht muss im Rahmen des Genehmigungsverfahrens öffentlich zur Einsichtnahme ausgelegt werden. Er dient Gutachtern und Behörden als wesentliche Unterlage bei der Prüfung auf Erteilung oder Versagen einer Genehmigung.

## Sicherheitserdbeben

Erdbeben, gegen das eine Anlage bei einmaligem Auftreten ausgelegt sein muss;  
→[Erdbebensicherheit](#)

## Sidot-Blende

Nach dem französischen Chemiker Sidot benanntes Szintillatormaterial; die Sidot-Blende besteht im Wesentlichen aus ZnS mit geringen Beimischungen von Metallionen. Sie wurde z.B. schon in der frühen Strahlungsmesstechnik zur Beschichtung von Leuchtschirmen (Nachweis von Röntgenstrahlen) benutzt. Eine frühe Anwendung zum Nachweis von Alphastrahlen erfolgte z.B. im →[Spinthariskop](#) von Crookes (1903).

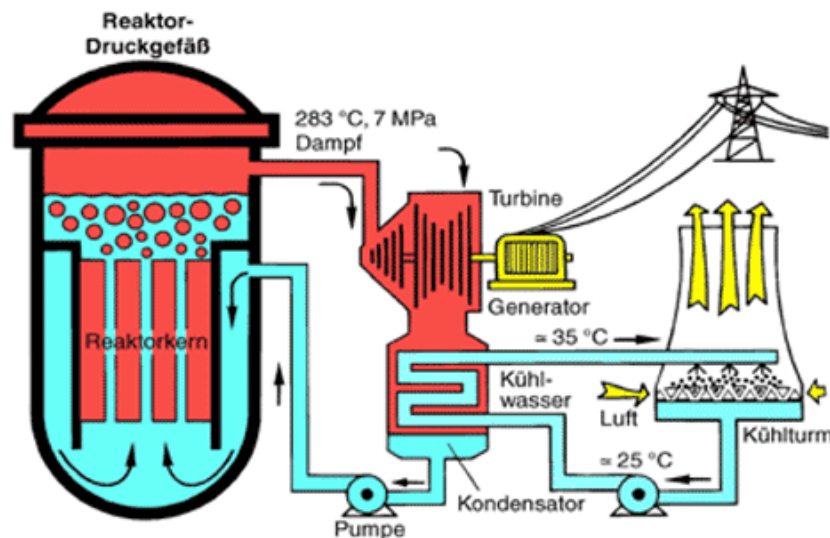
## Siedewasserreaktor

Kernreaktor, in dem Wasser sowohl als Kühlmittel als auch als Moderator dient und in der Spaltzone siedet; der entstehende Dampf wird im Allgemeinen direkt zum Antrieb einer Turbine verwendet. Beispiel: Kernkraftwerk Krümmel, 1.316 MWe. Die Brennelemente, die das Urandioxid enthalten, befinden sich in dem zu etwa zwei Drittel mit Wasser gefüllten Druckbehälter. Das Wasser strömt von unten nach oben durch den Reaktorkern und führt dabei die in den Brennstäben entwickelte Wärme ab. Ein Teil des Wassers verdampft. Nach einer Dampf-Wasser-Trennung im oberen Teil des Druckbehälters wird der Satttdampf mit einer Temperatur von rund 290 °C und einem Druck von ca. 70 bar (7 MPa) der Turbine zugeführt. Es sind bis zu 4.500 t Dampf pro Stunde. Die Turbine ist mit einem Drehstromgenerator gekoppelt. Der aus der Turbine austretende Dampf wird im Kondensator verflüssigt. Dazu sind pro Stunde etwa 120.000 m<sup>3</sup> Kühlwasser erforderlich, die einem Fluss entnommen werden, oder bei Rückkühlbetrieb aus dem Kühlturmkreislauf stammen. Das Speisewasser wird durch Vorwärmanlagen auf eine Temperatur von etwa 215 °C gebracht und dem Reaktor wieder zugeführt. Die Regelstäbe, die das neutronenabsorbierende Material enthalten, werden elektromotorisch (Normalantrieb) oder hydraulisch (Schnellabschaltung) von unten in den Reaktorkern eingefahren. Aus dem →[Sicherheitsbehälter](#) führen die Rohrleitungen in das Maschinenhaus. Eine Reihe von



Sicherheitsvorrichtungen ist eingebaut, um bei einer Störung eine sofortige Trennung des Reaktors vom Maschinenhaus zu erreichen.

Im Gegensatz zum →[Druckwasserreaktor](#) gelangt beim Siedewasserreaktor kontaminierter Dampf ins Maschinenhaus, das damit Teil des →[Kontrollbereichs](#) ist.



Prinzip eines Kernkraftwerks mit Siedewasserreaktor

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie

[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Sievert

1. Rolf Maximilian Sievert (1896 – 1966), schwedischer Radiologe; entwickelte die Sievert-Kammer zur Messung der Dosis und das Sievert-Integral zur Berechnung der Energiedosis an einem Punkt  $P$ . Er war eines der ersten Mitglieder der internationalen Strahlenschutzkommission (International Commission for Radiological Protection - →[ICRP](#)) und der International Commission for Radiation Units and Measurements (→[ICRU](#)). Als Strahlenschutzpionier hat er auf das erste schwedische Strahlenschutzgesetz hingewirkt, das 1941 in Kraft trat, und er hat die Pläne für das schwedische Strahlenschutz-Institut, das SSI, entwickelt. Rolf Sievert widmete einen großen Teil seines Lebens dem Strahlenschutz. Er war Vorsitzender der ICRP von 1956 bis 1962.

Ihm zu Ehren nahm die Conférence générale des poids et mesures (CGPM) 1979 in der Resolution 5 das Sievert (Sv) als die spezielle SI-Einheit für die Äquivalentdosis an. Vorgeschlagen worden war dies von der ICRP und der ICRU, und es war 1978 als Empfehlung U 1 vom Consultative Committee for Units akzeptiert worden. Eine Biographie findet sich unter

<http://ki.se/ki/jsp/polopoly.jsp?a=18510&d=9498&l=en>.



Rolf Sievert in seinem Labor (1929)

Quelle:

<http://ki.se/ki/jsp/polopoly.jsp?a=18510&d=9498&l=en>

2. SI-Einheit der →**Äquivalentdosis** (Kurzzeichen Sv).  $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J / kg}$

### **Si(Li)-Detektor**

→**Lithiumdrift-detektor**

### **Skyshine**

Durch Streuung in Luft entstehende Streustrahlung einer primären Gammastrahlenquelle

### **Somatische Strahlenwirkung**

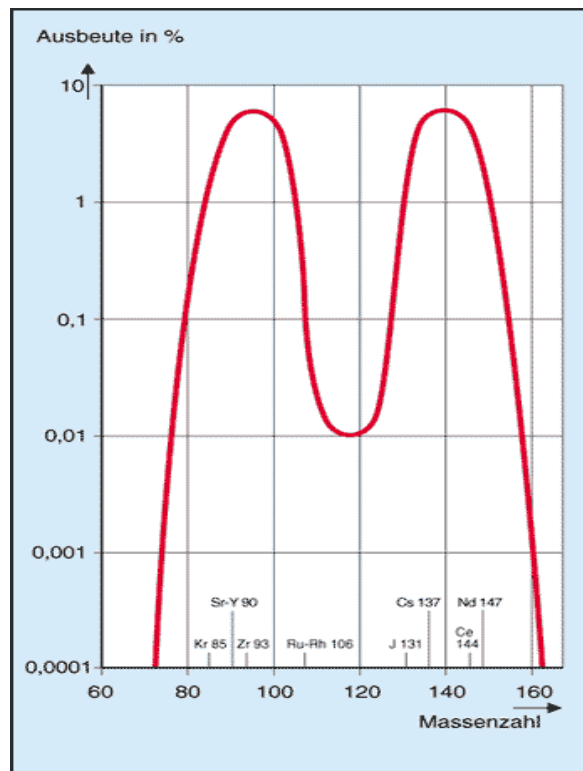
→**Strahlenschäden beim Menschen**

### **Spallation**

Kernumwandlung, bei der ein energiereiches Geschößteilchen aus dem getroffenen Kern zahlreiche einzelne Teilchen (Protonen, Neutronen) herausschlägt; zuerst als Wirkung der kosmischen Strahlung beobachtet.

### **Spaltausbeute, Spaltproduktausbeute**

Anteil der Spaltungen, der zu einem speziellen Nuklid führt; die Summe aller Spaltausbeuten ist bei Spaltung eines Atomkerns in zwei Teile gleich zwei. Spaltprodukte mit Massenzahlen um 95 und 140 haben bei der Spaltung von U-235 durch thermische Neutronen besonders hohe Spaltausbeuten.



Spaltausbeute, Summe der Ausbeuten aller Nuklide mit einer bestimmten Massenzahl bei Spaltung von U-235 durch thermische Neutronen in Abhängigkeit von der Massenzahl

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Spaltbarkeit

Eigenschaft eines Nuklides, durch irgendeinen Kernprozess gespalten zu werden

## Spaltgas

Bei der Kernspaltung entstehende gasförmige Spaltprodukte, z. B. Kr-85, Xe-133, Xe-135

## Spaltgasraum

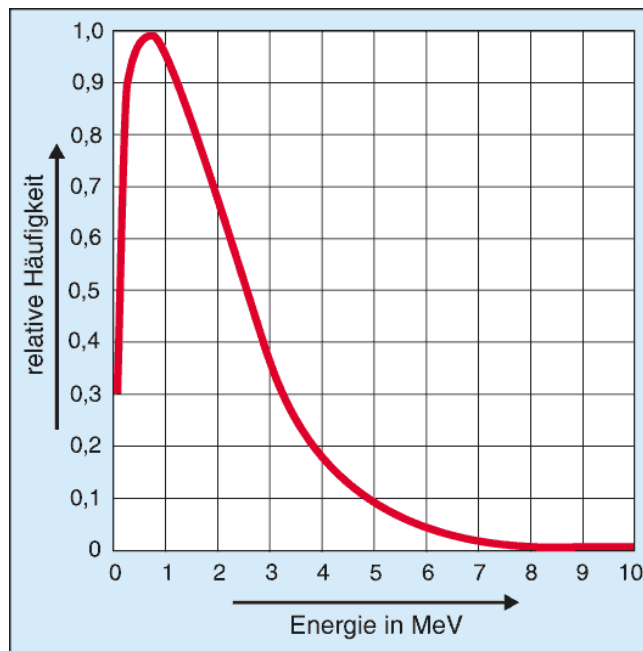
Zum Auffangen des während des nuklearen Abbrandes entstehenden Spaltgases freigelassener Raum im oberen Teil eines jeden → **Brennstabes**. Bei Defekten am Hüllrohr eines Brennstabes tritt als erstes Spaltgas aus diesem Raum ins Kühlmittel über.

## Spaltkammer

Neutronendetektor mit guter Diskriminierung gegenüber anderen Strahlenarten; in spaltbarem Material, das sich innerhalb eines Gasionisationsdetektors, z. B. einer Ionisationskammer, befindet, lösen die Neutronen Spaltungen aus. Die energiereichen Spaltprodukte erzeugen wegen ihrer hohen Ionisierungsdichte vom Untergrund gut unterscheidbare Spannungsimpulse.

## Spaltneutron

Neutronen, die aus dem Spaltungsprozess stammen und ihre ursprüngliche Energie beibehalten haben.



Energieverteilung bei der Spaltung von U-235 entstehenden Neutronen

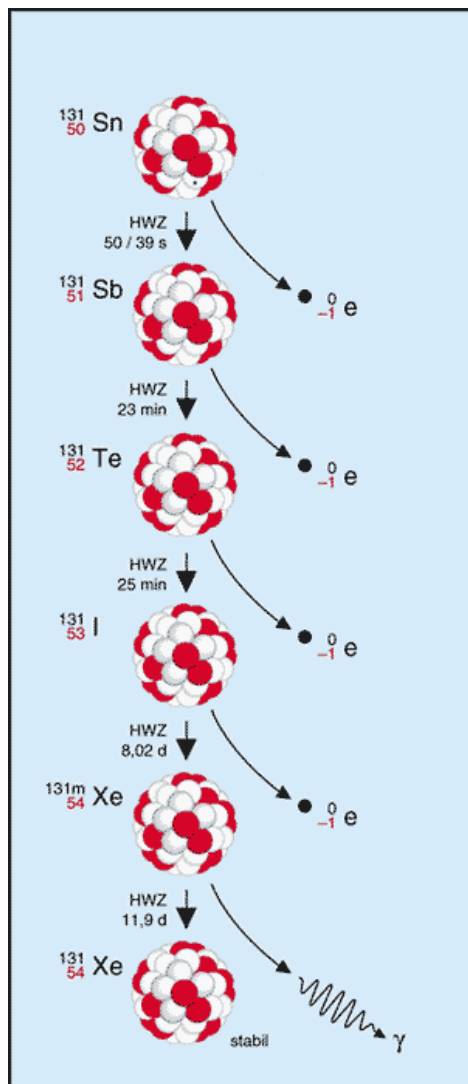
Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Spaltneutronenausbeute

Mittlere Anzahl der Spaltneutronen zur Anzahl der insgesamt im Brennstoff absorbierten Neutronen.

## Spaltprodukte

Nuklide, die durch Spaltung oder nachfolgenden radioaktiven Zerfall der durch Spaltung direkt entstandenen Nuklide entstehen; z. B.: Kr-85, Sr-90, Cs-137.



Zerfallskette des primären Spaltprodukts Sn-131

Quelle: Informationskreis Kernenergie,  
 Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Spaltproduktgift

→ **Reaktorgift**, das ein Spaltprodukt ist; z. B. Xe-135

## Spaltspektrum

→ **Spaltung, spontane**

## Spaltstoff

Jeder Stoff, der sich durch Neutronen spalten lässt, wobei weitere Neutronen frei werden; z. B. Uran-235, Plutonium-239.

## Spaltstoffflußkontrolle

→ **Kernmaterialüberwachung**

## Spaltung

→ **Kernspaltung**

## Spaltung, spontane

Eigenschaft sehr schwerer Atomkerne, sich ohne Anregung von außen zu spalten; meist überlagert durch andere Zerfallsarten. Die Halbwertszeit für Spontanspaltung bei U-238 beträgt  $8 \cdot 10^{15}$  Jahre, d. h. pro Gramm U-238 wandelt sich etwa alle 2,5 Minuten ein Kern durch Spontanspaltung um. (Die Halbwertszeit des U-238 für Alphazerfall beträgt demgegenüber 'nur'  $4,5 \cdot 10^9$  Jahre, pro Gramm U-238 wandeln sich daher rund 750.000 Uranatome pro Minute durch Alphazerfall um.) Cf-254 und Fm-256 wandeln sich fast ausschließlich durch spontane Spaltung um.

Nur bei sehr schweren Kernen trägt die Spontanspaltung wesentlich zur Gesamtzahl der Kernumwandlungen bei. Die Energieverteilung der Neutronen (Spaltspektrum), die für solche Nuklide typisch ist, zeigt einen asymmetrischen Verlauf. Sie ist im niederenergetischen Teil (bei 1 – 2 MeV) maximal und fällt zu hohen Energien hin sanfter ab als zu niedrigen.

## Spaltung, thermische

Kernspaltung durch thermische Neutronen; →[Neutronen, thermische](#)

## Spaltzone

Teil des Kernreaktors, in dem die Spaltungskettenreaktion abläuft

## Spätschaden

Strahlenschaden, der erst Jahre nach der Strahlenexposition auftritt, z.B. Krebs oder Linsentrübung; für Bestrahlungsfolgen nach einer Strahlentherapie gilt nach internationaler Festlegung der 90. Tag nach Bestrahlungsbeginn als Trennung zwischen Früh- und Spätschäden.

## SPECT

Abk. für **S**ingle **P**hoton **E**mission **C**omputed **T**omography; SPECT ist ein diagnostisches Verfahren in der Medizin, mit dem Schnittbilder von lebenden Organismen erzeugt werden. Hauptzielrichtung ist die Analyse von Stoffwechselfvorgängen. Ein injiziertes Gamma-emittierendes Radiopharmakon verteilt sich mit dem Stoffwechsel im Körper. Die Gammastrahlung wird von Detektoren registriert, die sich um den Körper bewegen. Vor den Detektoren angeordnete Kollimatoren bewirken, dass nur die Signale aus einer „Körperscheibe“ registriert werden. Die Signale werden nach Ort und Intensität aufgelöst in einem Computer gespeichert und zu einem Schnittbild zusammengesetzt.

Nachteilig gegenüber dem konkurrierenden Verfahren →[PET](#) ist die geringere räumliche Auflösung der Bilder und die geringere Empfindlichkeit der Detektoren (wegen der Kollimation).

## Speicherring

Gerät der Hochenergiephysik; in einer ringförmigen Vakuumröhre innerhalb von Magnetfeldanordnungen werden die mittels eines Teilchenbeschleunigers auf hohe Energien beschleunigten Teilchen (Protonen, Elektronen) gruppenweise gespeichert.

Zur Erzielung von Kernreaktionen können diese Teilchengruppen gegen in umgekehrter Richtung umlaufende Teilchengruppen gerichtet werden. Dadurch wird eine bessere Ausnutzung der Teilchenenergie bei den Zusammenstößen erreicht.

## **Spektrometrie**

Im Strahlenschutz bezeichnet man mit Spektrometrie die Methoden zur Messung der Energie der Strahlungsteilchen in einem Strahlungsfeld. Das Ergebnis der Spektrometrie ist im Idealfall ein Energiespektrum, das die Häufigkeit der Strahlungsteilchen mit einer definierten Energie in Abhängigkeit von dieser Energie zeigt. Messtechnisch beruht die Spektrometrie in den meisten Fällen auf der Registrierung von Detektorimpulsen, deren Höhe proportional zur im Detektor abgegebenen Energie ist. Als Detektoren kommen Halbleiterdetektoren, Szintillatordetektoren und Proportionalzählrohre zum Einsatz. Die Detektorimpulse werden nach elektronischer Bearbeitung (Verstärkung, Impulsformung) entsprechend ihrer Höhe digitalisiert und in ein Raster eingezählt. Dieses Raster wird als „Kanalaraster“ bezeichnet und besteht aus „Kanälen“, deren Breite mit einem Impulshöhen-Intervall korreliert. Da die Impulshöhe wiederum mit der Teilchenenergie korreliert ist, entspricht die Kanalbreite auch einem Energieintervall. Alle Impulse von Teilchen, deren Energien in dieses Intervall fallen, werden in den Kanal eingezählt. In der Praxis besteht ein Kanalaraster in der Regel, bedingt durch die Digitalisierung, aus  $2^k$  Kanälen. Häufig verwendet werden 1024 ( $k=10$ ), 2048 ( $k=11$ ) oder 4096 ( $k=12$ ) Kanäle. Über die Energieeichung erfolgt die Zuordnung einer Kanalnummer zu einer Teilchenenergie und der Kanalbreite zu einem Energieintervall.

Das primär aufgenommene Spektrum korreliert direkt zu den Höhen der registrierten Impulse und wird als Impulshöhenspektrum bezeichnet. Im Idealfall bei einer Messung mit hoher Energieauflösung ist dieses das Energiespektrum. In der Praxis gibt es jedoch vielfach störende Einflüsse, die eine weitere Bearbeitung des Impulshöhenspektrums erforderlich machen: z.B. unvollständige Energieabgabe im Detektor, statistische Schwankungen bei der Signalverarbeitung (Rauschen), Störstrahlung von außen. Das Herausrechnen dieser Einflüsse und damit die Umwandlung des originären Impulshöhenspektrums wird als Entfaltung bezeichnet. Der Entfaltungsaufwand hängt von der registrierten Strahlenart und der Art des verwendeten Detektors ab.

### ***Spektrometrie von Photonen***

Zur Photonenspektrometrie werden vorzugsweise Halbleiterdetektoren (heute in der Regel Reinstgermanium-Detektoren) und Szintillatoren (z.B. NaI(Tl)-Detektoren) eingesetzt. Nur ein Teil der den Detektor treffenden Photonen geben ihre Energie vollständig im Detektor ab. Diese Photonen erzeugen, auch wenn sie die gleiche Energie haben, aufgrund der statistischen Schwankungen bei der Ladungssammlung und Impulsverstärkung (Rauschen) Impulshöhen, die um eine mittlere Impulshöhe schwanken. Die Impulse werden daher nicht in einem Kanal aufaddiert, sondern verteilen sich auf mehrere Kanäle. Das Ergebnis ist im Idealfall eine steile, gaußförmige Verteilung (in der Praxis mit dem engl. Ausdruck „Peak“ bezeichnet), bei der der Kanal des Maximums die Energie der zugehörigen Photonen angibt. Der Inhalt des Peaks ist ein Maß für die Photonenfluenz, oder bei der Aktivitätsanalyse von Proben ein Maß für die Aktivität des zugehörigen Stoffes.



Die übrigen Photonen geben nur einen Teil ihrer Energie an Ladungsträger im Detektor ab (hauptsächlich durch Compton-Streuung) und verlassen den Detektor als gestreutes Photon mit niedrigerer Energie. Diese Streuprozesse führen zu einem kontinuierlichen Untergrund im Spektrum (Compton-Untergrund), der energetisch niedriger liegt als der zur vollen Energie gehörige Peak. Der hochenergetische Rand des Compton-Untergrundes, die → **Compton-Kante**, wird durch den maximalen Energieübertrag bei der Compton-Streuung ( $180^\circ$  Streuung) bestimmt. Zum Untergrund tragen noch weitere Effekte bei, z.B. Photonen, die erst nach einer Streuung an externen Materialien in den Detektor gelangen (→ **Rückstreu-Peak**) oder Photonen aus dem Zerfall radioaktiver Stoffe in der Umgebung des Detektors (meistens natürliche Radioaktivität). Enthält die Photonenstrahlung Komponenten mit unterschiedlichen diskreten Energien, erzeugen jeweils die Photonen einer Energie auch einen Compton-Untergrund, was insbesondere die Analyse schwacher Anteile erschwert.

Die Nachweisempfindlichkeit eines Photonen-Spektrometriemessplatzes hängt wesentlich vom Anteil der Photonen ab, die ihre gesamte Energie im Detektor abgeben (→ **Peak-Compton-Verhältnis**). Dieser ist umso höher, je größer das Detektorvolumen ist, d.h. je weniger gestreute Photonen den Detektor wieder verlassen. Die Trennung zweier Photonenstrahlungsanteile mit eng benachbarten Energien ist umso besser, je schmaler ein Peak ist. Charakteristisch dafür ist die Halbwertsbreite eines Peaks (Anzahl der Kanäle auf der Höhe des halben Peakmaximums) und das damit verknüpfte → **Energie-Auflösungsvermögen**.

Beeinflusst wird das Photonenpektrum weiterhin durch → **Summationseffekte**, bei denen die Summe der Energien von nahezu gleichzeitig den Detektor treffenden Photonen als ein Ereignis registriert und somit ein Photon höherer Energie vorgetäuscht wird. Bei hohen Photonenenergien tritt im Detektor auch → **Paarbildung** auf. Das dabei entstehende Positron rekombiniert mit einem Elektron unter Bildung zweier Gammaquanten von 511 keV. Wenn eins dieser Gammaquanten oder beide den Detektor ohne Energieabgabe verlassen, treten Peaks im Spektrum auf (Paarbildungspeaks), die um 511 keV bzw. 1,022 MeV unter dem Hauptpeak der vollen Energie liegen.

### **Spektrometrie von Betastrahlung**

Betastrahlung weist ein kontinuierliches Energiespektrum auf. Die Identifizierung von Beta-strahlenden radioaktiven Stoffen, bei denen sich verschiedene Betastrahler überlagern, ist deshalb anhand eines Impulshöhenspektrums sehr schwierig. Hinzu kommt, dass durch Streuprozesse Elektronen aus dem Detektor herausgestreut werden und Bremsstrahlungsphotonen entweichen und somit die ursprüngliche Energieverteilung modifiziert wird. Als Detektoren werden feste (anorganische und organische) und flüssige Szintillatoren sowie Halbleiterdetektoren eingesetzt. Die Rückstreuverluste sind bei anorganischen Szintillatoren mit hoher Ordnungszahl am größten, diese Detektoren haben aber ein besseres Energie-Auflösungsvermögen als organische Szintillatoren. Halbleiterdetektoren sind prinzipiell gut geeignet, müssen aber ein hinreichend großes Volumen aufweisen, um Streuverlust gering zu halten.

### **Spektrometrie von Alphastrahlung**

Alphastrahlung wird in der Regel mit → **Oberflächensperrschicht-Detektoren** spektrometriert. Da Alphateilchen schon in Luft stark absorbiert werden, muss die Analysenprobe in der Regel speziell aufbereitet und als dünnes Messpräparat bereitge-

stellt werden. Die Messung erfolgt zur Vermeidung von Energieverlusten in der Regel in einer Vakuumkammer. Die Verluste im Detektor selbst sind bei den üblichen sehr dünnen Eintrittsfenstern vernachlässigbar. Man erhält dann energetisch gut aufgelöste Spektren, wobei das Energie-Auflösungsvermögen für Alphateilchen mit typischen Energien von einigen MeV deutlich unter 1 % liegt. Neuere Methoden der Spektralanalyse, bei denen verschiedene, physikalisch begründete Algorithmen parallel eingesetzt werden, erzielen auch gute Ergebnisse bei dicken Proben (s. dazu WES09).

### **Spektrometrie von Neutronen**

Zur Spektrometrie von Neutronen werden zumeist Proportionalzähler und Flüssigszintillationszähler eingesetzt. Dazu müssen zusätzlich leichte (meistens wasserstoffhaltige) Materialien vorhanden sein, aus denen die Neutronen durch Stoß geladene Rückstoßkerne (Protonen) herausschlagen, welche im Detektor nachgewiesen werden. Beim Proportionalzählrohr kann dem Messgas Wasserstoff zugesetzt werden oder die Detektorwandungen können mit geeigneten Materialien beschichtet werden. In organischen Flüssigszintillatoren sind es auch die geladenen Rückstoßprotonen, welche die Detektorsignale erzeugen. Die Impulshöhenspektren der Rückstoßprotonen zeigen keine diskreten Peaks, sondern ein mehr oder weniger strukturiertes Kontinuum. Aussagen zur energetischen Verteilung der Neutronen lassen sich erst (und das auch nicht immer) über aufwändige Entfaltungsmechanismen gewinnen.

Eine Alternative zur Spektrometrie über die Aufnahme von Impulshöhenspektren ist bei Neutronen die Messung mit einem →[Bonnerkugel-System](#).

(Lit.: DEB88, VOG04)

### **Spektrum**

Mit Spektrum bezeichnet man in der Messtechnik des Strahlenschutzes den Auftrag der Häufigkeit der Strahlungsteilchen einer definierten Energie eines Strahlenfeldes gegen die Energie. Diese Abhängigkeit wird als → [Energiespektrum](#) bezeichnet. In der praktischen Messtechnik ist das Ergebnis der Messung primär ein Impulshöhenspektrum, das nur in Sonderfällen als gute Näherung des Energiespektrums verwendet werden kann. (→[Spektrometrie](#))

### **Sperrbereich**

Bereich des →[Kontrollbereiches](#), in dem die Ortsdosisleistung höher als 3 mSv pro Stunde sein kann. Sperrbereiche sind nach § 36 Abs.2 StrlSchV abzugrenzen und deutlich und dauerhaft mit dem Hinweis SPERRBEREICH – KEIN ZUTRITT zu kennzeichnen.

Sperrbereiche sind so abzusichern, dass Personen, auch mit einzelnen Körperteilen, nicht unkontrolliert hineingelangen können.

In der Praxis werden Sperrbereiche häufig weiträumiger abgesperrt, als aufgrund der Ortsdosisleistung erforderlich wäre, um die Absperrung und Zugangskontrolle praktikabel zu gestalten.

Der Zutritt zu Sperrbereichen darf nach § 37 Abs.1 Nr.3 StrlSchV einer Person nur erlaubt werden, wenn

- sie zur Durchführung der im Sperrbereich vorgesehenen Betriebsvorgänge oder aus zwingenden Gründen tätig werden müssen und sie unter der Kontrolle eines

Strahlenschutzbeauftragten oder einer von ihm beauftragten fachkundigen Person stehen oder

- ihr Aufenthalt in diesem Bereich als Patient, Proband oder helfende Person erforderlich ist und eine zur Ausübung des ärztlichen oder zahnärztlichen Berufs berechnigte Person, die die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz besitzt, schriftlich zugestimmt hat.

## Spezifische effektive Energie

Mathematische Hilfsgröße für die Dosisberechnung infolge inkorporierter radioaktiver Stoffe; bei der Berechnung wird der Standardmensch mit seinen Organen mathematisch nachgebildet. Wenn die Aktivitätsverteilung in den Organen als Ergebnis der biokinetischen Modellrechnungen bekannt ist, kann die Dosisleistung in einem Organ T, die durch die Aktivität in anderen Organen bewirkt wird, berechnet werden. Die spezifische effektive Energie  $SEE(T \leftarrow S, t)$  ist dabei die Dosisleistung im Organ T, die vom Organ S erzeugt wird, wenn die Aktivität im Organ S 1 Bq beträgt.

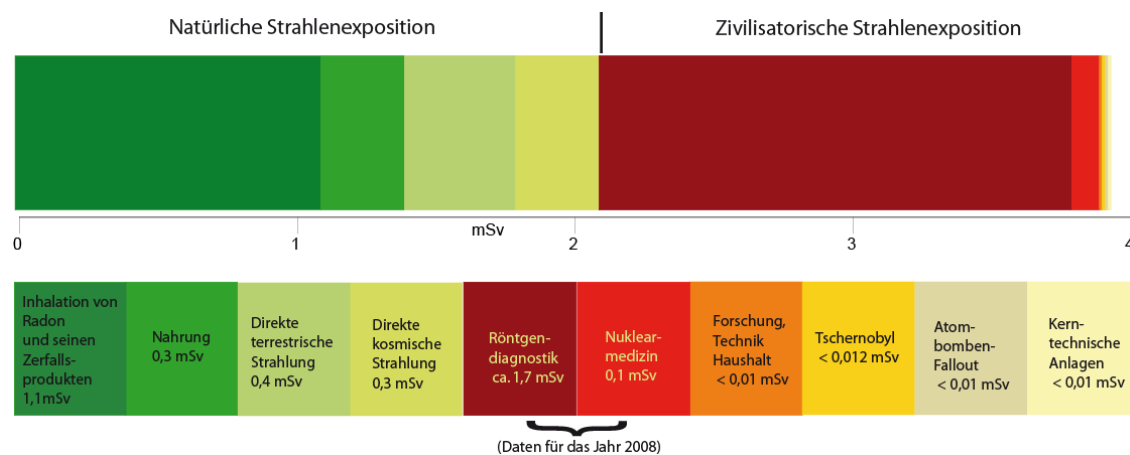
Wenn  $A_S(t)$  die Aktivität im Organ S zur Zeit t ist, folgt für den Beitrag des Organs S zur Dosisleistung im Organ T :

$$\dot{H}_T = A_S(t) \cdot SEE(T \leftarrow S, t)$$

Die Gesamtdosisleistung ergibt sich, wenn man die Beiträge aller Organe S summiert.

## Spin

Mittlere effektive Jahresdosis durch ionisierende Strahlung im Jahr 2009  
(gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands)



Quelle: BUN11

Der Spin (oder Drall, Eigendrehimpuls im klassischen Bild) ist eine charakteristische Eigenschaft der Elementarteilchen.

## Spinthariskop

Nachweisgerät für radioaktive Korpuskularstrahlung, insbesondere Alphastrahlung; dieses bereits 1903 von [Crookes](#) entwickelte Gerät bestand im Wesentlichen aus

einer kleinen Metallröhre, die auf der einen Seite durch ein mit Szintillatormaterial beschichtetes Blatt (→[Sidot-Blende](#)) und auf der anderen mit einer Lupe verschlossen war. Wird in das Röhrchen alphastrahlendes Material eingebracht, können die von den Alphateilchen im Szintillatormaterial erzeugten Lichtblitze mit der Lupe betrachtet werden. Noch heute werden Spinthariskope zu Demonstrationszwecken verwendet.



Beispiel für ein heute verwendetes Spinthariskop; nach Einschrauben eines Alpha-Strahlerstiftes, dessen Strahlenaustrittseite nach unten auf den offenen Zinksulfidschirm des Gerätes weist, können in völliger Dunkelheit durch die Lupe des Gerätes statistisch verteilte Lichtblitze beobachtet werden, die auf radioaktive Zerfälle zurückzuführen sind.

Quelle: [www.3bscientific.de](http://www.3bscientific.de)

## Spontanspaltung

→[Spaltung, spontane](#)

## SSK

Abk. für →[Strahlenschutzkommission](#)

## SSR

Abk. für →[Strahlenschutzregister](#)

## SSVO

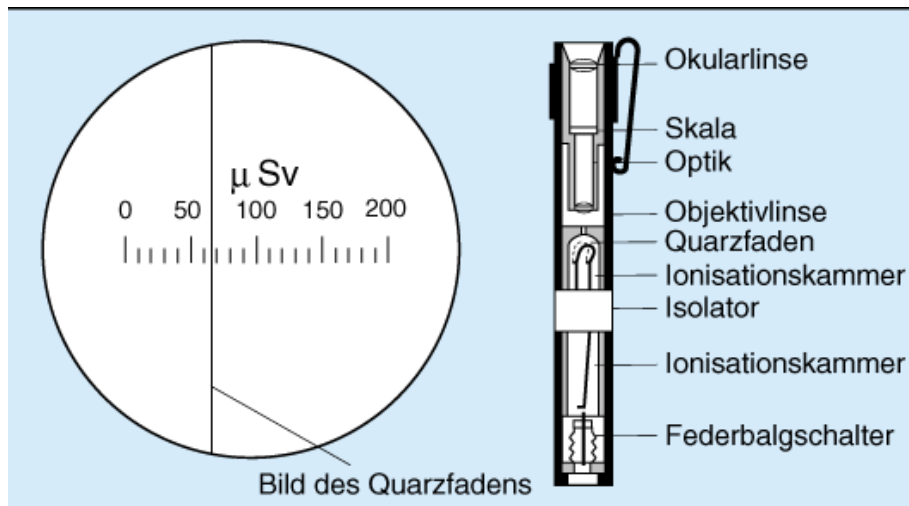
Früher übliche Abkürzung für →[Strahlenschutzverordnung](#) (StrlSchV).

## Stabdosimeter

Messgerät in Stabform zur Bestimmung der Dosis ionisierender Strahlung; die Entladung eines aufgeladenen Kondensators ist ein Maß für die vom Träger des Dosime-

ters empfangene Dosis. Der Vorteil dieser Dosimeter ist, dass die Dosis direkt vom Nutzer abgelesen werden kann. Die Stabdosisimeter verfügen über einen relativ eng begrenzten Messbereich und müssen für die erwarteten Expositionen gezielt ausgewählt werden; ggf. sind mehrere Stabdosisimeter mit verschiedenen Messbereichen zu verwenden. Dies gilt auch für den Energiebereich der die Exposition bestimmenden Strahlung, insbesondere bei niederenergetischer Röntgenstrahlung.

Stabdosisimeter sind empfindlich gegen Erschütterungen und wurden inzwischen durch elektronische Dosimeter weitgehend verdrängt.



Stabdosisimeter

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Stabilitätsklasse der Atmosphäre

Die Stabilitätsklasse oder Diffusionskategorie der Atmosphäre kennzeichnet die Turbulenz und ist für die Berechnung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre von Bedeutung. Es werden 6 Stabilitätsklassen unterschieden: A, B (instabile Zustände), C, D (neutrale Zustände), E, F (stabile Zustände). Die Ausdehnung einer Schadstoffwolke nimmt dabei von A bis F ab, die Aktivitätskonzentration in der Wolke steigt dementsprechend an.

## Standard-Ionendosis

Im freien Luftvolumen oder in einer Messkammer mit luftäquivalenten Wänden gemessene →[Ionendosis](#)

## Standortzwischenlager

Lager zur Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente in speziellen Lagerbehältern (z.B. →[Castor®](#)-Behältern) am Standort eines Kernkraftwerks; s. →[Brennelement-Zwischenlager](#). Durch die Forderung, Standortzwischenlager zu errichten, will

der Gesetzgeber die Transporte abgebrannter Brennelemente über öffentliche Verkehrswege minimieren.

## **Stationäres Gleichgewicht**

→[Gleichgewicht, radioaktives](#)

## **Statistischer Messfehler**

Fehler, der durch die statistischen (zufälligen) Schwankung der Messgröße bedingt ist; bei Radioaktivitätsmessungen sind diese Schwankungen im Wesentlichen durch den zufälligen Charakter des radioaktiven Zerfalls und der Wechselwirkung der Strahlung mit der Materie des Detektors bedingt. Statistische Fehler können durch häufigere Messungen oder, typisch für Radioaktivitätsmessungen, durch Verlängerung der Messzeit verringert werden. Statistische Messwertschwankungen bedingen eine Verteilung der Messwerte, deren Form durch die Art der zugrunde liegenden Statistik bestimmt wird (z.B. eine Gaußverteilung).

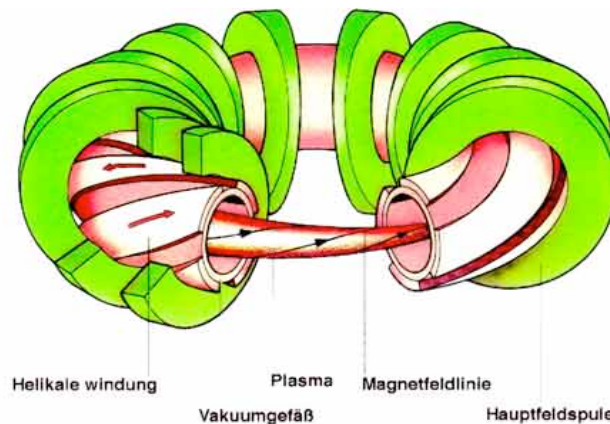
## **Stehwellenbeschleuniger**

Linearbeschleuniger, bei dem im Beschleunigungsrohr stehende elektromagnetische Wellen erzeugt werden; die Abstände der Schwingungsknoten sind dabei so auf die Teilchengeschwindigkeit abgestimmt, dass die beschleunigten Teilchen immer dann einen Knoten passieren, wenn die Feldstärke im anschließenden Bereich die Richtung so wechselt, dass die Kraft wieder in die Beschleunigungsrichtung zeigt.

## **Stellarator**

Versuchsanordnung zur kontrollierten Kernfusion; in einem Stellarator wird die schraubenförmige Verdrillung der Feldlinien um die Torus-Seele durch äußere Spulen erzeugt. Ein Stellarator kommt im Gegensatz zum →[Tokamak](#) ohne einen Längsstrom im Plasma aus. Er kann im Prinzip stationär arbeiten. In einem Stellarator wird der magnetische Käfig durch ein einziges Spulensystem erzeugt. Der Verzicht auf den ringförmigen Plasmastrom bedeutet jedoch die Aufgabe der beim Tokamak vorhandenen Axialsymmetrie; Plasma und Magnetspulen besitzen eine kompliziertere Form. Für ein Fusionskraftwerk könnten Stellaratoren eine technisch einfachere Lösung sein als Tokamaks. Auf theoretischem Wege ist diese Frage nicht zu beantworten; sie experimentell zu entscheiden, ist das Ziel der WENDELSTEIN-Experimente

des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik.



Prinzip des Stellarators

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Steuerstab

Steuerelement zur Veränderung der Reaktivität eines Reaktors; →[Regelstab](#)

## Stilllegung

Endgültige Aufgabe einer genehmigungspflichtigen Tätigkeit oder eines genehmigungspflichtigen Umgangs; die Stilllegung umfasst die gesamte Phase von der Aufgabe des ehemals genehmigten Betriebs über den Rückbau der Betriebseinrichtungen bis zur Entlassung der Betriebseinrichtungen aus der atomrechtlichen Überwachung.

Bei Kernkraftwerken ist Voraussetzung für den Beginn der Rückbauarbeiten, dass der Kernbrennstoff aus der Anlage entfernt ist. Dadurch wird das ursprüngliche Aktivitätsinventar weitgehend auf die in den aktivierten und kontaminierten Komponenten enthaltene Aktivität reduziert. Diese Restaktivität liegt dann überwiegend nur noch in fester Form vor und beträgt ein Jahr nach Außerbetriebnahme weniger als ein Prozent des Aktivitätsinventars einer in Betrieb befindlichen Anlage. Je nach Umständen des Einzelfalles ergeben sich zwei Stilllegungshauptvarianten: gesicherter Einschluss für eine längere Zeit und anschließender Rückbau oder sofortige totale Beseitigung. Zwischen diesen Extremen sind Mischformen möglich.

## Stilllegungsleitfaden

Leitfaden zur Stilllegung, zum sicheren Einschluss und zum Abbau von Anlagen oder Anlagenteilen nach § 7 Atomgesetz vom 26. Juni 2009; dieser Leitfaden des Bundes richtet sich in erster Linie an Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden mit dem Ziel,

- die bei der Stilllegung relevanten Aspekte der Genehmigung und Aufsicht zusammenzustellen,



- ein gemeinsames Verständnis von Bund und Ländern zur zweckmäßigen Durchführung von Stilllegungsvarianten anzustreben und
- die bestehenden Auffassungen und Vorgehensweisen zu harmonisieren.

Er enthält dazu u.a eine Zusammenstellung des kerntechnischen Regelwerks, das für Errichtung und Betrieb kerntechnischer Anlagen entwickelt wurde, und gibt an, welche Regeln direkt oder sinngemäß auf die Stilllegungsphase übertragen werden können. Davon sind insbesondere auch Regeln zum Strahlenschutz betroffen.

Quelle: [http://www.bfs.de/de/bfs/recht/rsh/volltext/3\\_BMU/3\\_73\\_1109.pdf](http://www.bfs.de/de/bfs/recht/rsh/volltext/3_BMU/3_73_1109.pdf)

## Stochastische Strahlenwirkung

Wirkungen ionisierender Strahlung, bei denen die Wahrscheinlichkeit, dass sie auftreten, jedoch nicht ihr Schweregrad, eine Funktion der Dosis ist, ohne dass ein Schwellenwert besteht. Nicht stochastische Wirkungen, heute → **deterministische Strahlenwirkungen** genannt, sind solche, bei denen der Schweregrad der Wirkung von der Dosis abhängt und für die ein Schwellenwert besteht. In dem für Strahlenschutz zwecke relevanten Dosisbereich gehören vererbare Schäden und Krebs und Leukämie zu den stochastischen Strahlenwirkungen. Die Wahrscheinlichkeit, dass stochastische Strahlenschäden auftreten, ist bei einer Bestrahlung für die einzelnen Organe oder Gewebe sehr verschieden. Die Internationale Strahlenschutzkommission gibt für eine Ganzkörperbestrahlung einen Wert von 5 % pro Sievert an.

Organ	Risikokoeffizient für Krebsmortalität pro Sievert
Magen	$11 \cdot 10^{-3}$
Dickdarm	$8,5 \cdot 10^{-3}$
Lunge	$8,5 \cdot 10^{-3}$
rotes Knochenmark	$5 \cdot 10^{-3}$
Blase	$3 \cdot 10^{-3}$
Speiseröhre	$3 \cdot 10^{-3}$
Brust	$2 \cdot 10^{-3}$
Leber	$1,5 \cdot 10^{-3}$
Keimdrüsen	$1 \cdot 10^{-3}$
Schilddrüse	$0,8 \cdot 10^{-3}$
Knochenoberfläche	$0,5 \cdot 10^{-3}$
Haut	$0,2 \cdot 10^{-3}$
alle anderen Organe zusammen	$5 \cdot 10^{-3}$
<b>gesamt</b>	<b><math>50 \cdot 10^{-3}</math></b>

Risikokoeffizienten für Krebsmortalität für verschieden Organe

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

Der Risikoeffizient für schwerwiegende vererbare Schäden beträgt für die ersten beiden Folgegenerationen  $0,4 \cdot 10^{-2}$  pro Sievert Gonadendosis, über alle folgenden Generationen  $1 \cdot 10^{-2}$  pro Sievert.

## Störfall

Ereignisablauf, bei dessen Eintreten der Betrieb der Anlage oder die Tätigkeit aus sicherheitstechnischen Gründen nicht fortgeführt werden kann und für den die Anlage auszulegen ist oder für den bei der Tätigkeit vorsorglich Schutzvorkehrungen vorzusehen sind (Def.: § 3 Abs.2 Nr.28 StrlSchV). Der Störfall wird somit gegenüber dem Unfall abgegrenzt, gegen den die Anlage aufgrund seiner sehr geringen Eintrittswahrscheinlichkeit nicht auszulegen ist.

## Störfallablaufanalyse

Methodische Untersuchung des Ablaufes eines Störfalles; die Störfallablaufanalyse dient der Ermittlung physikalischer, chemischer und technischer Vorgänge beim Ablauf eines Störfalles sowie der Bestimmung der Auswirkung bezüglich Art und Menge der beim Störfall freigesetzten Radionuklide. Die aus der Störfallablaufanalyse möglichen Rückschlüsse auf die Qualität des untersuchten technischen Systems initiieren in der Regel Maßnahmen zur Steigerung von Systemsicherheit und -zuverlässigkeit.

## Störfalleintrittsanalyse

Methodische Analyse zur Untersuchung von Möglichkeit (Voraussetzungen) und Wahrscheinlichkeit des Eintritts von Störfällen anhand von Ereignis- und Fehlerbäumen

## Störfallkategorien

Die meldepflichtigen Ereignisse in kerntechnischen Anlagen werden in Deutschland nach der [→AtSMV](#) entsprechend ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung unterschiedlichen Kategorien zugeordnet.

- Kategorie S: Dieser Kategorie sind solche Ereignisse zuzuordnen, die der Aufsichtsbehörde sofort gemeldet werden müssen, damit sie gegebenenfalls in kürzester Frist Prüfungen einleiten oder Maßnahmen veranlassen kann. Hierunter fallen auch die Ereignisse, die akute sicherheitstechnische Mängel aufzeigen.
- Kategorie E: In die Kategorie E sind solche Ereignisse einzustufen, die zwar keine Sofortmaßnahmen der Aufsichtsbehörde verlangen, deren Ursache aber aus Sicherheitsgründen geklärt und in angemessener Frist behoben werden muß. Dies sind z. B. Ereignisse, die sicherheitstechnisch potentiell - aber nicht unmittelbar - signifikant sind.
- Kategorie N: Der Kategorie N sind Ereignisse von allgemeiner sicherheitstechnischer Relevanz zuzuordnen, über die die Aufsichtsbehörde informiert werden muss. Dies sind in der Regel Ereignisse, die über routinemäßige betriebstechnische Ereignisse hinausgehen und im Sinne der Sicherheitskriterien von Bedeutung sind (Gewährleistung eines möglichst störfallfreien und umweltverträglichen Betriebs der Anlage; ausreichend zuverlässige Vermei-

dung von Störfällen durch entsprechende Auslegung, Qualität und Fahrweise der Anlage).

- Kategorie V: Der Kategorie V sind alle Ereignisse in einem Kernkraftwerk vor Beladung mit Kernbrennstoff zuzuordnen, über die die Aufsichtsbehörde im Hinblick auf den späteren sicheren Betrieb der Anlage informiert werden muss.

Die Internationale Atomenergieorganisation hat eine 'Internationale Bewertungsskala für bedeutsame Ereignisse in kerntechnischen Anlagen' erarbeitet, die auch in Deutschland neben den oben genannten Meldekategorien angewandt wird. →[INES](#)

## Störfallvorsorge

Die atomrechtliche Genehmigung von kerntechnischen Anlagen verpflichtet den Betreiber zur Störfallvorsorge und zu Schutzmaßnahmen. Zusammen mit der behördlichen Katastrophenschutzplanung umfasst die Störfallvorsorge alle Maßnahmen zur Minderung der Auswirkung von Störfällen und Unfällen auf die Umwelt.

## Störstrahler

Störstrahler sind Geräte oder Vorrichtungen, in denen ausschließlich Elektronen beschleunigt werden und die Röntgenstrahlung erzeugen, ohne zu diesem Zweck betrieben zu werden (Def. § 2 Nr.18 RöV). Beispiele für Störstrahler sind

- Fernsehgeräte oder PC-Monitore mit Kathodenstrahlröhre
- Mikrowellenröhren (Klystron, Magnetron)
- Gleichrichterröhren
- Rasterelektronenmikroskope
- Elektronenstrahl-Schweißgeräte

Störstrahler mit Elektronenenergien zwischen 5 keV und 1 MeV fallen in den Regelungsbereich der Röntgenverordnung, solche mit Elektronenenergien  $> 1$  MeV in den der Strahlenschutzverordnung.

Der Betrieb eines Störstrahlers ist genehmigungsfrei, wenn aufgrund seiner Bauart außen in 10 cm Abstand vom Gehäuse keine Ortsdosisleistung  $> 1$   $\mu\text{Sv/h}$  auftreten kann.

## Störstrahlung

In der Bestrahlungstechnik wird als Störstrahlung die gesamte ionisierende Strahlung außerhalb des Strahlenfeldes bezeichnet. Sie ist damit von der →[Nutzstrahlung](#) abgegrenzt. Störstrahlung kann z.B. sein:

- Photonen-Streustrahlung, die durch Wechselwirkung der Nutzstrahlung mit Materie entsteht
- Gestreute oder durch →Kernphotoeffekt erzeugte Neutronenstrahlung
- Elektronenstreustrahlung

s. auch DIN 6814-2 →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)

## Strahlenbiologie

Teilgebiet der →[Radiologie](#); sie befasst sich mit den Wirkungsmechanismen und Effekten von Strahlungen, insbesondere von ionisierender Strahlung, auf biologische Systeme, und zwar auf subzellulärer und zellulärer Ebene sowie auf den Ebenen von Zellsystemen und Organismen. Aufgabengebiete:

- Verwendung von Strahlung zur Erforschung biologischer Phänomene
- Verwendung von Strahlung zur Aufklärung der Grundlagen des Tumorwachstums und der Strahlenbehandlung
- Erarbeitung und Verbesserung der Grundlagen für die Abschätzung des somatischen und genetischen Risikos und Umsetzung der Ergebnisse
- Erarbeitung und Verbesserung der Grundlagen zur Erkennung und Modifikation von strahlenbedingter Krankheiten.

## Strahlenchemie

Zweig der Chemie, der sich mit der Wirkung energiereicher Strahlung (z. B. Gamma- oder Neutronenstrahlen) auf chemische Systeme befasst

## Strahlenexponierte Personen

→[beruflich strahlenexponierte Personen](#)

## Strahlenexposition

Neutraler Fachbegriff für den Empfang einer Dosis durch ionisierende Strahlung; im Volksmund auch durch Verstrahlung oder Strahlenbelastung belegt.

Nach § 3 Abs.2 Nr. 30 ist die Strahlenexposition folgendermaßen definiert:

Einwirkung ionisierender Strahlung auf den menschlichen Körper:

- Ganzkörperexposition ist die Einwirkung ionisierender Strahlung auf den ganzen Körper;
- Teilkörperexposition ist die Einwirkung ionisierender Strahlung auf einzelne Organe, Gewebe oder Körperteile;
- Äußere Strahlenexposition ist die Einwirkung durch Strahlungsquellen außerhalb des Körpers;
- Innere Strahlenexposition ist die Einwirkung durch Strahlungsquellen innerhalb des Körpers.

Die Strahlenexposition des Menschen wird unterteilt in herkunftsbezogene Beiträge. Man unterscheidet Strahlenexpositionen durch natürliche radioaktive Stoffe (→[Strahlenexposition, natürliche](#)) und zivilisatorisch bedingte Strahlenexpositionen (→[Strahlenexposition, zivilisatorische](#)). Die natürliche Strahlenexposition kann durch menschliches Handeln künstlich erhöht sein (z.B. im Bergbau oder im Flugverkehr). Bei der zivilisatorischen Strahlenexposition macht in Deutschland die medizinische Strahlenexposition den größten Anteil aus.

Alle Arten ionisierender Strahlen bewirken die gleichen primären physikalischen Prozesse der Ionisation oder Anregung von Atomen oder Molekülen des bestrahlten Materials. Dies ist unabhängig davon, ob sie natürlichen oder künstlichen Ursprungs sind. Wenn die Strahlenexpositionen in der Einheit Sievert angegeben werden, so sind sie direkt vergleichbar, gleichgültig, ob es sich um natürliche oder künstliche, von innen oder von außen kommende Strahlenexpositionen handelt.

Die effektive Dosis aus allen natürlichen und künstlichen Strahlenquellen beträgt für einen Einwohner in Deutschland im Mittel 3,9 Millisievert im Jahr (Stand 2009). Diese Dosis stammt zu etwas mehr als der Hälfte aus der natürlichen Strahlung - 2,1 Millisievert/Jahr - und ergänzend im Wesentlichen aus der Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung in der Medizin, überwiegend aus der Röntgendiagnostik - 1,8 Millisievert/Jahr. Gegenüber den Beiträgen zur Strahlendosis durch Natur und Medizin und insbesondere unter Berücksichtigung der nicht unerheblichen Streuung dieser Dosiswerte sind alle anderen Dosisbeiträge faktisch zu vernachlässigen (BUN11).

## **Strahlenexposition, natürliche**

Nach DIN 6814-5 ([→DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)) ist die natürliche Strahlenexposition definiert als die unter üblichen Lebensbedingungen auftretende Strahlenexposition durch kosmische Strahlung und durch Strahlung radioaktiver Stoffe, die in der Umgebung des Menschen und im menschlichen Körper natürlicherweise vorkommen. Nicht dazu zählen Strahlenexpositionen an Orten, an denen Menschen üblicherweise nicht dauernd leben (z.B. in Bergwerken oder in großer Höhe im Flugzeug) sowie Strahlenexpositionen durch radioaktive Stoffe natürlichen Ursprungs in künstlich aufbereitetem oder angereichertem Zustand. Diese Strahlenexpositionen werden zur Unterscheidung häufig „zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexpositionen“ genannt. Wenn die damit verbundene Strahlenexposition bei Arbeiten nicht außer Acht gelassen werden darf, gelten dafür Schutzvorschriften der Strahlenschutzverordnung ([→Arbeit](#)).

Die natürliche Strahlenexposition hat ihre Ursache in drei Quellen:

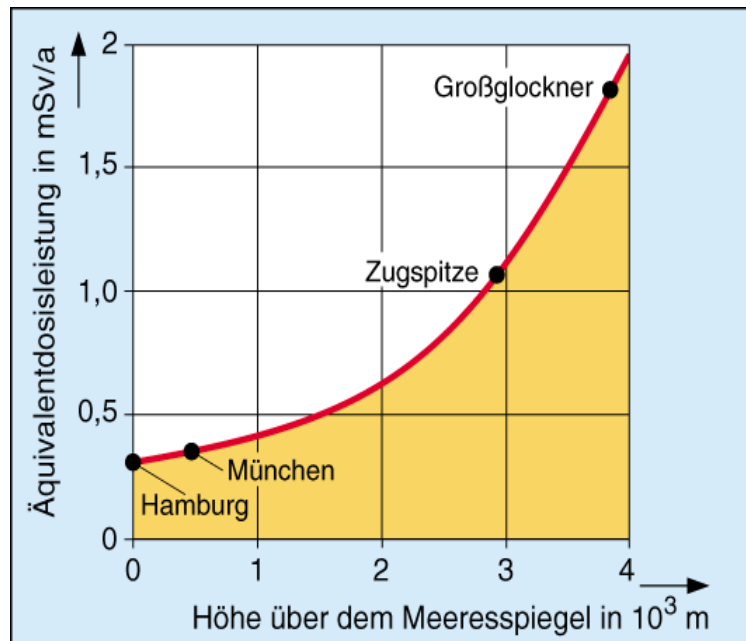
- Kosmische Strahlung
- Terrestrische Strahlung
- Strahlung durch inkorporierte radioaktive Stoffe natürlichen Ursprungs

### ***Kosmische Strahlenexposition***

Die aus dem Weltraum zur Erde gelangende Strahlung ist überwiegend galaktischen und nur zum Teil solaren Ursprungs. Sie ist sehr energiereich. Diese primäre kosmische Strahlung besteht überwiegend aus Protonen (ca. 86%) und Alphateilchen (ca. 12%). Durch verschiedene Wechselwirkungsprozesse in den äußersten Schichten der Atmosphäre entstehen neue Strahlengruppen - Photonen, Elektronen, Positronen, Neutronen und Myonen. Die ersteren Strahlenarten bilden die 'weiche' sekundäre Höhenstrahlkomponente, die Myonen die durchdringende 'harte' sekundäre Höhenstrahlkomponente, die selbst in tiefen Bergwerken noch nachweisbar ist.

Die Beeinflussung der primären kosmischen Strahlung durch das Magnetfeld der Erde ergibt eine Abhängigkeit der sekundären Höhenstrahlung mit der geomagneti-

schen Breite. Die Intensität der Höhenstrahlung ist in starkem Maße von der Höhe über dem Meeresspiegel abhängig, da ein Teil der Strahlung von der Atmosphäre absorbiert wird. Bei einer Berücksichtigung aller Komponenten der Höhenstrahlung ergibt sich z.B. eine jährliche Strahlenexposition von 0,3 mSv in Meereshöhe, von 1,2 mSv auf der Zugspitze und 2 mSv im 4 000 m hoch gelegenen La Paz.



Dosisleistung der kosmischen Strahlung in Abhängigkeit von der Höhe über dem Meeresspiegel

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

### ***Terrestrische Strahlenexposition***

Die terrestrische Strahlung stammt aus den natürlichen radioaktiven Stoffen, die in unterschiedlicher Konzentration überall auf der Erde vorhanden sind. Die von der terrestrischen Strahlung hervorgerufene Dosisleistung ist abhängig von den geologischen Formationen des Untergrundes und wechselt daher von Ort zu Ort. Im Mittel ergibt sich durch die terrestrische Strahlung in Deutschland eine externe Strahlendosis von 0,4 mSv pro Jahr, in einigen Gebieten Brasiliens und Indiens sind diese Werte etwa zehnmal so hoch.

Gebiet	mittlere effektive Dosis mSv/Jahr	max. Energiedosis im Freien mGy/Jahr
Deutschland	0,4	5
Indien: Kerala, Madras	4	55
Brasilien: Espirito Santo	6	175
Iran: Ramsar	6	850

Strahlendosis durch die terrestrische Strahlung in verschiedenen Gebieten

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie

[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

Das zum Hausbau verwendete Baumaterial hat einen Einfluss auf die Strahlenexposition des Menschen durch natürliche radioaktive Stoffe. Die Strahlung ist innerhalb von Gebäuden, die aus Ziegel oder Beton errichtet sind, größer als in Gebäuden aus Holz oder manchen Fertigteilelementen, da in diesem Baumaterial weniger natürliche radioaktive Stoffe enthalten sind.



Baustoff	zusätzliche Strahlenexposition / mSv/Jahr
Holz	0
Kalksandstein, Sandstein	0 bis 0,1
Ziegel, Beton	0,1 bis 0,2
Naturstein, technisch erzeugter Gips	0,2 bis 0,4
Schlackenstein, Granit	0,4 bis 2

Strahlenexposition durch Baumaterial

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

Exposition durch	jährliche effektive Dosis (mSv)		
	Bestrahlung von außen	Bestrahlung von innen	gesamt
<i>kosmische Strahlung:</i>			
in Meereshöhe:			
ionisierende Komponente	0,24		} 0,27
Neutronen	0,03		
in 1000 m Höhe:			
ionisierende Komponente	0,32		} 0,4
Neutronen	0,08		
<i>kosmogene Radionuklide</i>		0,02	0,02
<i>primordiale Radionuklide:</i>			
• K-40	0,17	0,17	0,34
• U-238-Reihe:		0,02	
U-238 -> Ra-226	} 0,12	1,1	} 1,3
Rn-222 -> Po-214		0,05	
Pb-210 -> Po-210			
• Th-232-Reihe:	} 0,14	0,01	} 0,2
Th-232 -> Ra-224		0,07	
Rn-220 -> Tl-208			
<b>Summe</b>	<b>0,7</b>	<b>1,4</b>	<b>2,1</b>

Beiträge der verschiedenen Quellen zur natürlichen Strahlenexposition in Deutschland

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

In Deutschland beträgt die natürliche Strahlenexposition für die meisten Einwohner 1 bis 6 mSv/Jahr mit einem mittleren Wert von 2,1 mSv/Jahr. Zur effektiven Dosis aus allen natürlichen Strahlungsquellen trägt die äußere Strahlenexposition zu einem Drittel und die innere Strahlenexposition zu zwei Drittel bei.

Die Dosis durch äußere Bestrahlung stammt zu etwa gleichen Anteilen von der kosmischen Strahlung, Kalium-40 und den Nukliden der Uran- und Thorium-Reihe. Die effektive Dosis durch inkorporierte Radionuklide wird zu etwa 3/4 durch Radon-222 und Radon-220 und insbesondere deren kurzlebige Folgeprodukte verursacht, dann folgen Kalium-40 und Polonium-210.

## **Strahlenexposition, zivilisatorische**

Als zivilisatorische Strahlenexposition wird jede Strahlenexposition von Personen aus zivilisatorischen Ursachen verstanden, z.B. die berufliche oder medizinische Strahlenexposition oder die Strahlenexposition von unbeteiligten Dritten in der Umgebung von strahlenemittierenden Betrieben (DIN 6814-5 → [DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)).

Hinsichtlich der Relevanz der Beiträge kann die zivilisatorische Strahlenexposition untergliedert werden in

- medizinische Strahlenexpositionen und
- berufliche Strahlenexpositionen

Die übrigen Beiträge zur Strahlenexposition der Bevölkerung, z.B. durch die Anwendung der Kernenergie oder die in der Umwelt vorhandenen radioaktiven Stoffe aus Kernwaffen-Fallout oder dem Tschernobyl-Unfall sind dagegen klein.

### ***Medizinische Strahlenexposition***

Die medizinische Strahlenexposition ist in der Strahlenschutzverordnung (§ 2 Abs.2 Nr.32) definiert als

- Exposition einer Person im Rahmen ihrer Untersuchung oder Behandlung in der Heilkunde oder Zahnheilkunde (Patient)
- Exposition einer Person, an der mit ihrer Einwilligung oder mit Einwilligung ihres gesetzlichen Vertreters radioaktive Stoffe oder ionisierende Strahlung in der medizinischen Forschung angewendet werden (Proband)

Die mittlere effektive Dosis der Bevölkerung in Deutschland durch die medizinische Anwendung ionisierender Strahlen und radioaktiver Stoffe beträgt im Jahr ca. 1,8 mSv. Die Röntgendiagnostik bedingt mit ca. 1,7 mSv den größten Anteil an der zivilisatorischen Strahlenexposition der Bevölkerung. Die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen nimmt weiter zu. Zwar zeichnet sich bei manchen Röntgenuntersuchungen ein rückläufiger Trend ab, was auf den vermehrten Einsatz alternativer Untersuchungsverfahren, insbesondere Sonographie und Endoskopie, zurückzuführen ist, andererseits gibt es eine Zunahme bei modernen, dosisintensiven Untersuchungsverfahren wie Computertomographie. Die damit verbundenen Strahlenexpositionen sind jedoch infolge technischer Verbesserungen leicht zurückgegangen, so dass auch die mittlere medizinische Strahlenexposition leicht gesunken ist (von 1,9 mSv 2007 auf 1,8 mSv 2008). Außerdem ist die Anzahl der Magnetresonanztomographien, die mit keiner ionisierenden Strahlung verbunden sind, stark angestiegen.

Die Nuklearmedizin liefert aufgrund der im Vergleich zur Röntgendiagnostik niedrigeren Anwendungshäufigkeit und der zum Teil niedrigen effektiven Dosis je Untersuchung einen wesentlich geringeren Beitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung. Er lag 2008 mit 0,1 mSv je Einwohner unter einem Zehntel des Betrages der durch die Röntgendiagnostik verursachten Strahlenexposition. Die für die kollektive effektive Dosis maßgeblichen nuklearmedizinischen Untersuchungen sind Skelett-, Myocard- und Schilddrüsen-Szintigraphien. Die mittleren effektiven Dosen je Untersuchung lagen 2008 z.B. für Herzsintigraphien bei 7,4 mSv, für Tumorsintigraphien

bei 6,5 mSv und für Schilddrüsenszintigraphien bei 0,7 mSv. Gemittelt über alle Untersuchungen ergab sich 2008 eine effektive Dosis von 2,7 mSv je Untersuchung.

Untersuchungsart	effektive Dosis / mSv	Untersuchungsart	effektive Dosis / mSv
CT Bauchraum	8,8 - 16,4	Magen	4 - 8
CT Thorax	4,2 - 6,7	Harntrakt	2 - 5
CT Lendenwirbelsäule	4,8 - 8,7	Lendenwirbelsäule	0,6 – 1,1
CT Kopf	1,7 - 2,3	Becken	0,3 - 0,7
Galle	1 - 8	Thorax	0,02 – 0,04
Arteriographie	10 - 30	Halswirbelsäule	0,1 – 0,2
Dünndarm	10 - 18	Zahn	< 0,01

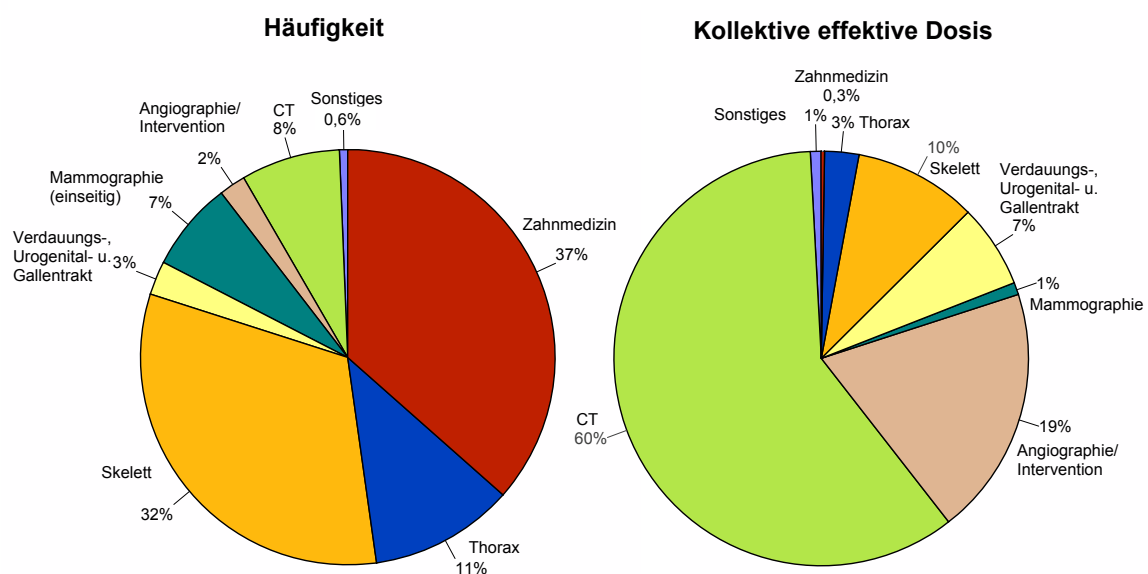
Effektive Dosis bei verschiedenen Röntgenuntersuchungen (Quelle: BUN11)

Untersuchungsart	Injizierte Aktivität je Patient / Bq
Schilddrüsen-Szintigraphie	ca. $4 \cdot 10^6$ (Tc-99m)
Knochen-Szintigraphie	ca. $5,5 \cdot 10^8$ (Tc-99m)
Myocard-Szintigraphie	ca. $7,5 \cdot 10^6$ (Tl-201)

Injizierte Aktivität bei verschiedenen nuklearmedizinischen Untersuchungen (VOG04)

Im internationalen Vergleich liegt die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland, wenn man die EU-Länder vergleicht, im oberen Bereich.

Prozentualer Anteil der verschiedenen Untersuchungsarten an der Gesamthäufigkeit und an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland für das Jahr 2008



Quelle: BUN11

## **Berufliche Strahlenexposition**

Die berufliche Strahlenexposition ist in der Strahlenschutzverordnung definiert als die Strahlenexposition einer Person, die

- zum Ausüben einer Tätigkeit nach § 2 Abs. 1 Nr. 1 oder einer Arbeit nach § 2 Abs. 1 Nr. 2 StrlSchV in einem Beschäftigungs- oder Ausbildungsverhältnis steht oder diese Tätigkeit oder Arbeit selbst ausübt,
- eine Aufgabe nach § 19 oder § 20 des Atomgesetzes oder nach § 66 StrlSchV wahrnimmt oder
- im Rahmen des § 15 oder § 95 StrlSchV in fremden Anlagen, Einrichtungen oder Betriebsstätten beschäftigt ist, dort eine Aufgabe nach § 15 selbst wahrnimmt oder nach § 95 eine Arbeit selbst ausübt.

Eine nicht mit der Berufsausübung zusammenhängende Strahlenexposition bleibt dabei unberücksichtigt. (§ 3 Abs.2 Nr.31 StrlSchV)

Im Jahr 2009 wurden in Deutschland rund 333.700 Personen während ihrer beruflichen Tätigkeit mit Personendosimetern überwacht. Dazu kamen 36.200 Personen des Flugpersonals, deren Dosis mit anerkannten Rechenprogrammen ermittelt wurde. Von diesen 369.900 Personen waren ca. 70 % im medizinischen Arbeitsbereich tätig, ca. 21 % im nicht medizinischen Bereich ausgenommen Flugpersonal und ca. 9 % als Flugpersonal (BUN11). Das Flugpersonal wurde erstmals 2004 separat erfasst. Die Verteilung der Personendosen zeigt für medizinisches und nicht medizinisches Personal (ausgenommen Flugpersonal) einen Abfall zu höheren Dosen. Bei ca. 87 % aller Überwachten im medizinischen Bereich und ca. 76 % aller Überwachten im nicht medizinischen Bereich (außer Flugpersonal) wurde 2007 keine Personendosis oberhalb der Erkennungsgrenze der Dosimeter registriert. Weitere 7,7 % bzw. 8,7% lagen im untersten Dosisintervall bis 0,2 mSv.

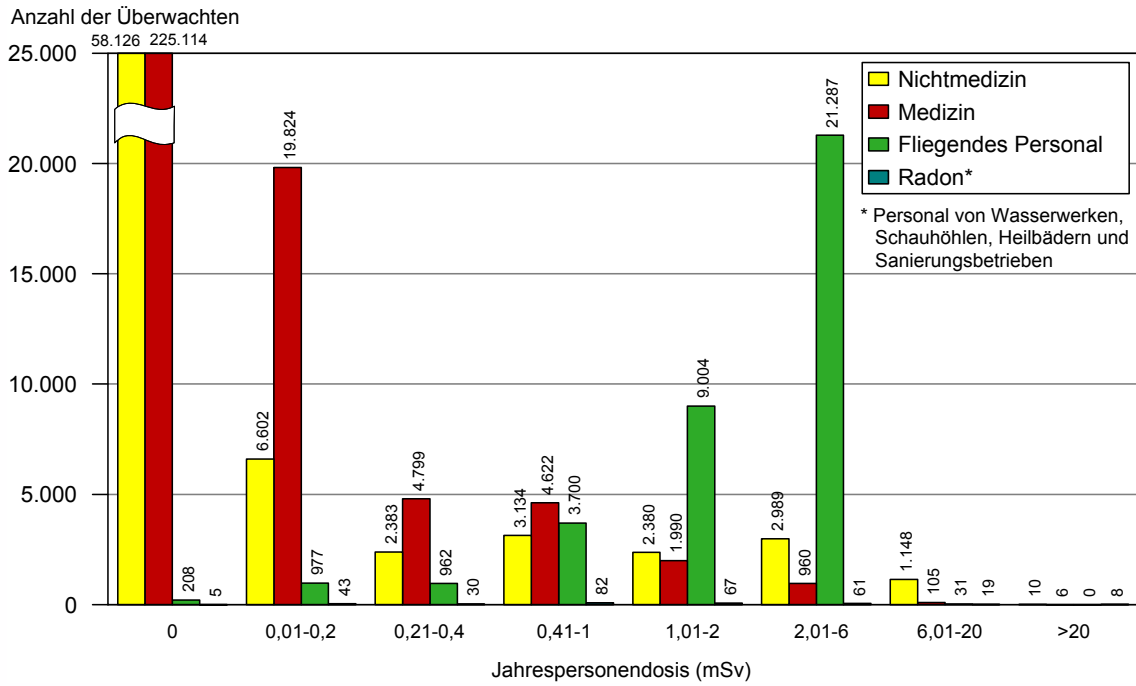
Für das fliegende Personal ist dies grundsätzlich anders. Hier liegt das Maximum im Bereich 2 – 6 mSv (ca. 59 % der Überwachten) und bei etwa 84 % aller Personen des fliegenden Personals wurden Personendosen im Bereich zwischen 1 mSv und 6 mSv ermittelt (s. Diagramm). Damit gehört das fliegende Personal zu den am höchsten exponierten Berufsgruppen in Deutschland. Die Kollektivdosis dieser Gruppe betrug 2009 86 Personen-Sv, die mittlere Personendosis 2,4 mSv und die maximale Individualdosis 7 mSv (BUN11).

Beim übrigen nichtmedizinischen Personal und beim medizinischen Personal lagen die mittleren Personendosen zwar niedriger, aber es wurden auch vergleichsweise hohe Personendosen ermittelt. Bei insgesamt 1.327 Personen lag die Personendosis oberhalb von 6 mSv, davon bei 24 über 20 mSv. Ein Teil davon wurde durch Radon-Expositionen beim Personal von Wasserwerken, Schauhöhlen, Heilbädern und Sanierungsbetrieben verursacht (s. Diagramm).

Die Jahreskollektivdosen der beruflich strahlenexponierten Personen in Deutschland bewegen sich für die Summe aus medizinischem Personal und nicht medizinischem Personal (außer Flugpersonal) seit dem Jahr 2000 auf relativ konstantem Niveau zwischen 42 Personen-Sv und 48 Personen-Sv. Im Jahr 2004 lag infolge der Einbeziehung des fliegenden Personals die Kollektivdosis bei 100 Personen-Sv und ist seitdem wegen der Zunahme der Dosis für das fliegende Personal auf 121 Personen-Sv (2007) angestiegen.

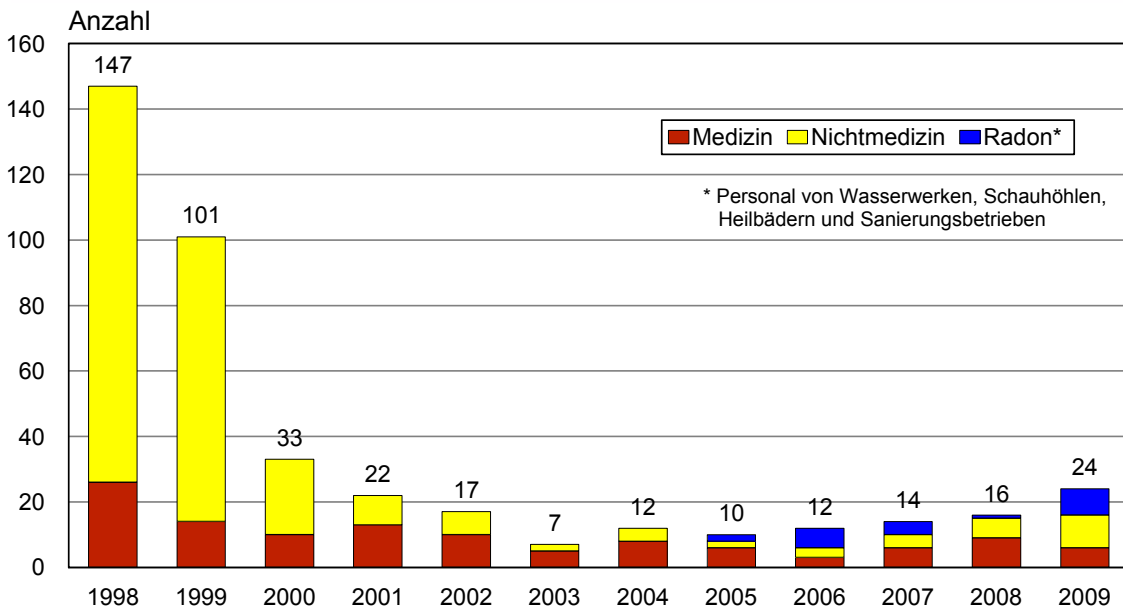
Die berufliche Strahlenexposition durch Inkorporation radioaktiver Stoffe ist kollektiv gesehen klein gegen die durch äußere Exposition. Für das Jahr 2007 wurden Daten von 1392 überwachten Personen durch behördlich bestimmte Messstellen registriert. Von diesen erhielten 125 Personen eine Dosis oberhalb der Nachweisgrenze der Messeinrichtungen. Die Kollektivdosis betrug 0,03 Personen-Sv und die maximale Jahresdosis 3,3 mSv.

### Verteilung der Jahrespersonendosen beruflich Strahlenexponierter im Jahr 2009



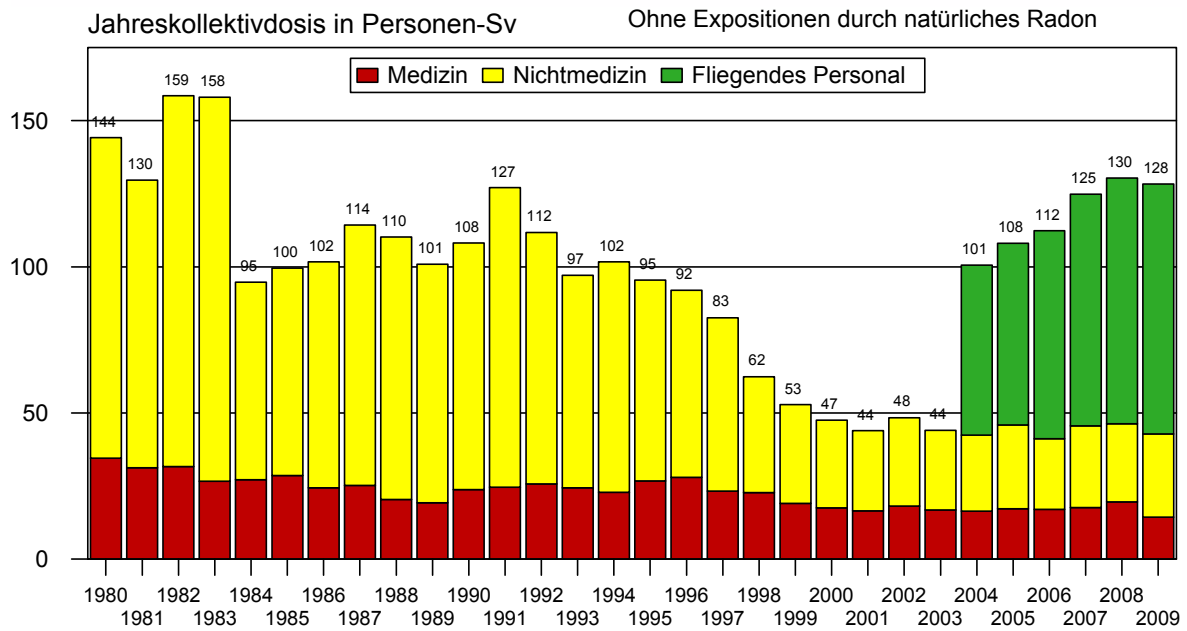
Quelle: BUN11

### Anzahl der Personen mit Ganzkörperjahresdosen über 20 mSv



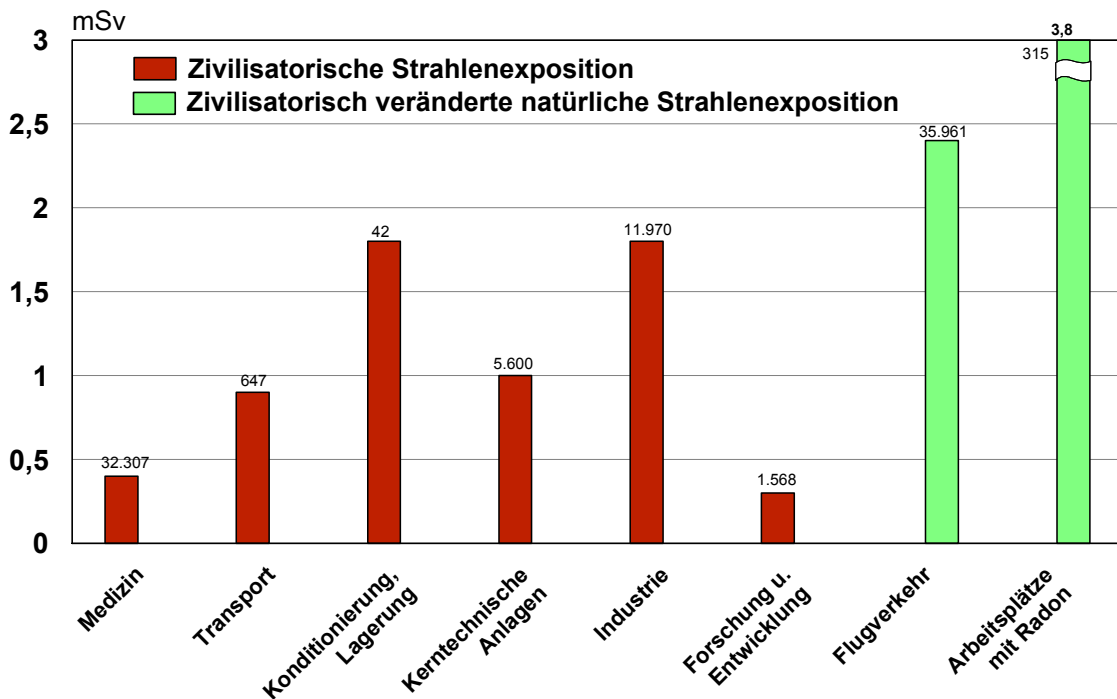
Quelle: BUN11

**Entwicklung der jährlichen Kollektivdosis beruflich Strahlenexponierter**  
(ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer)



Quelle: BUN11

**Mittlere Jahrespersonendosis beruflich strahlenexponierter Personen in Deutschland**  
im Jahr 2009 in bestimmten Tätigkeitsbereichen



Quelle: BUN11

**Berufliche Strahlenexposition durch Radon und seine Folgeprodukte**



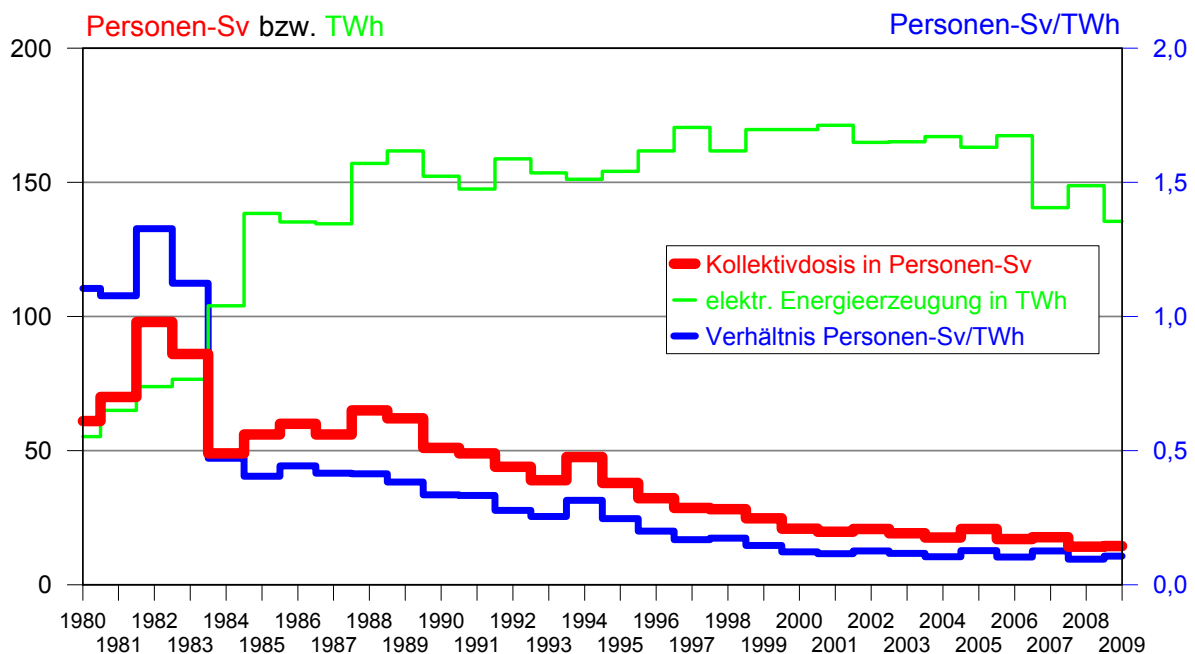
Berufliche Strahlenexpositionen durch Radon und seine Folgeprodukte treten in Deutschland hauptsächlich im Bergbau (Sanierungsbetriebe der Wismut AG), in Wasserwerken, Schauhöhlen und Heilbädern auf. Im Jahr 2009 wurden für 315 Personen effektive Dosen an das Strahlenschutzregister übermittelt, von denen rund 71 % Sanierungsarbeiten in der Wismut GmbH ausführten. Die höchsten effektiven Dosen traten bei Mitarbeitern von Wasserwerken auf. Für die insgesamt 92 Personen, deren Daten an das Strahlenschutzregister übermittelt wurden, betrug die mittlere effektive Dosis im Jahr 2009 10 mSv. Für acht Personen lag die Dosis über dem Grenzwert von 20 mSv, der Maximalwert betrug 103 mSv. Die Kollektivdosis dieser Personengruppe betrug 1,0 Personen-Sv.

Für Beschäftigte in der Wismut GmbH betrug der Mittelwert der jährlichen effektiven Dosis im Jahre 2009 1,1 mSv, die maximale Individualdosis 4,7 mSv und die Kollektivdosis 0,3 Personen-Sv. (BUN11)

### **Berufliche Strahlenexposition in Kernkraftwerken**

Die beruflichen Strahlenexpositionen des Personals in den Kernkraftwerken mit Leistungsreaktoren in Deutschland führten 2009 zu einer Kollektivdosis von ca. 20 Personen-Sv, die sich sehr unterschiedlich auf die einzelnen Anlagen verteilt. Bedingt durch die Optimierung der Strahlenschutzvorsorge bei der Planung der Kernkraftwerke weisen jüngere Anlagen im Mittel deutlich geringere Kollektivdosen auf als ältere. Die Kollektivdosen in den jüngsten Anlagen, den Kernkraftwerken Emsland (KKE), Isar-2 (KKI-2) und Neckarwestheim-2 (GKN-2) liegen im Bereich von 100 – 200 mSv im Kalenderjahr.

**Kollektivdosis und Energieerzeugung in Leistungskernkraftwerken**



Quelle: BUN11

### ***Sonstige zivilisatorische Strahlenexpositionen der Bevölkerung***

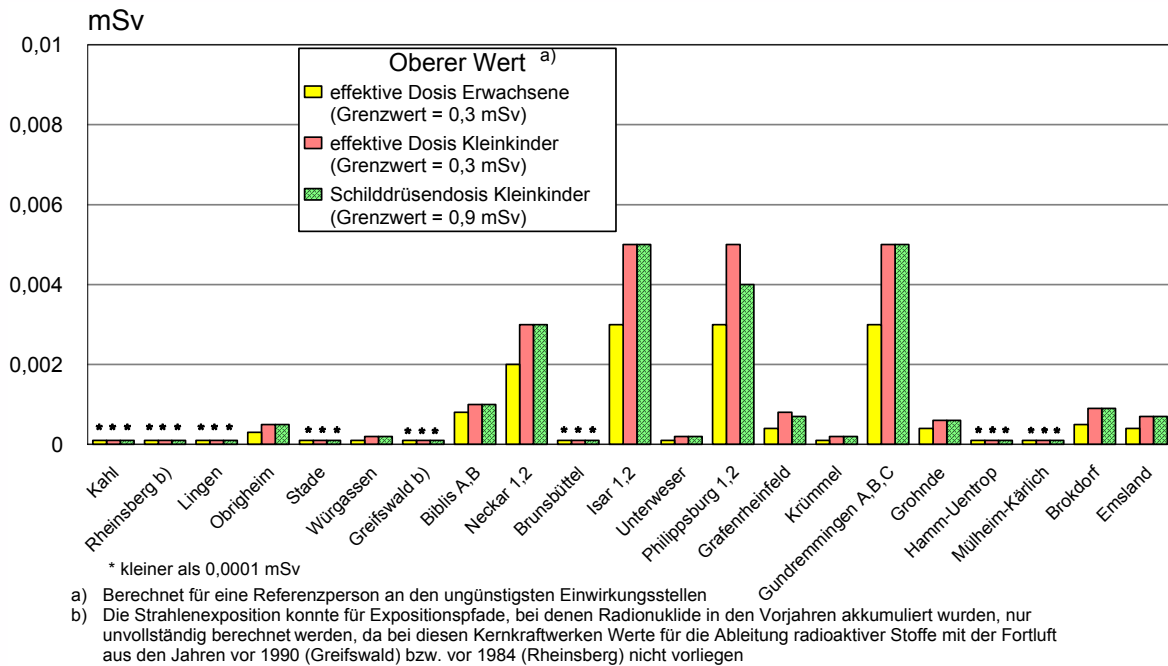
Weitere Beiträge zu zivilisatorischen Strahlenexposition in Deutschland ergeben sich aus

- der Anwendung der Kernenergie
- dem Atomwaffenfallout
- der Umweltradioaktivität aufgrund der Tschernobyl-Katastrophe
- dem Flugverkehr
- fossilen Energieträgern

Die Strahlenexposition durch den Betrieb der Kernkraftwerke wird im Wesentlichen durch Ableitungen über den Luft- und den Wasserpfad bestimmt. Aus den Ergebnissen der Emissionsüberwachung wird die Strahlenexposition in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen für die in der Strahlenschutzverordnung definierte Referenzperson nach dem Verfahren ermittelt, das in der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen“ festgelegt ist. Die Ergebnisse der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft ergaben z.B. für das Jahr 2009 als größten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 0,003 mSv und für Kleinkinder 0,005 mSv; dies sind 1 % bzw. 1,7 % des Grenzwertes nach der Strahlenschutzverordnung. Der größte Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder lag bei 0,005 mSv (0,6 % des entsprechenden Dosisgrenzwertes).

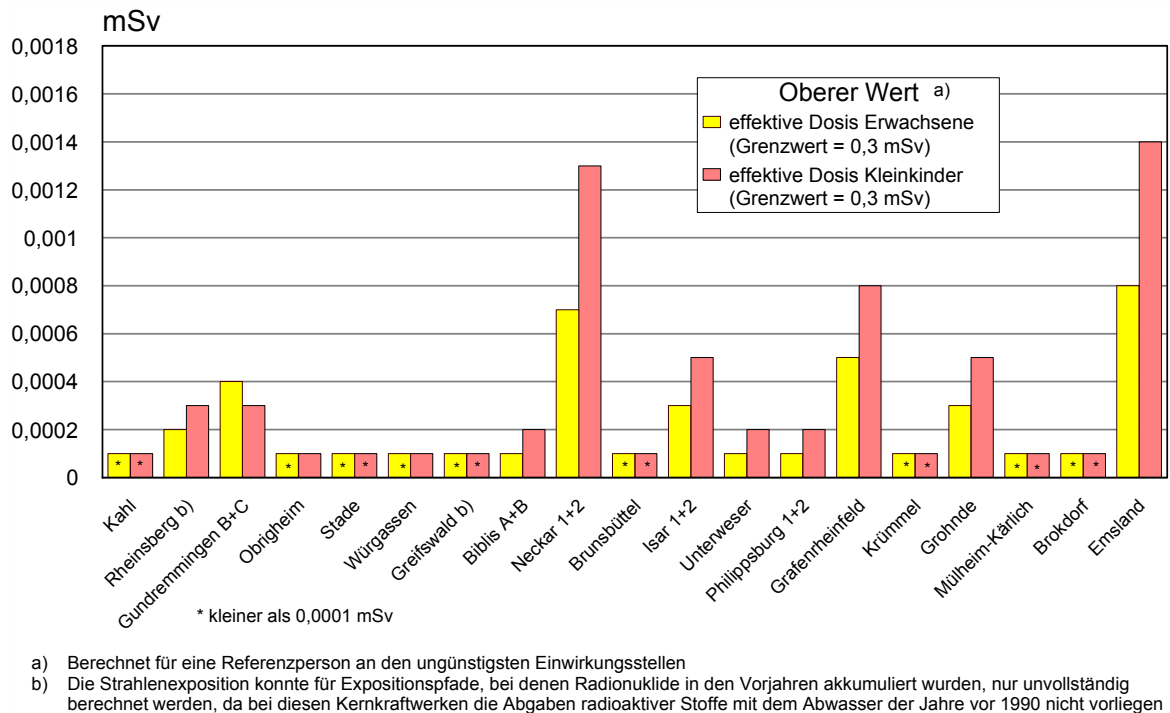
Die größten Dosiswerte aufgrund von Ableitungen mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken ergaben sich im Jahr 2009 für Erwachsene zu 0,0008 mSv (entsprechend 0,3 % des Dosisgrenzwertes) und für Kleinkinder zu 0,0014 mSv (entsprechend 0,5 % des Grenzwertes).

### Strahlenexposition im Jahr 2009 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft



Quelle: BUN11

### Strahlenexposition im Jahr 2009 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser



Quelle: BUN11

Ein weiterer Beitrag zur Strahlendosis ergibt sich aus den noch bestehenden Auswirkungen der oberirdischen Kernwaffenversuche. Die Strahlendosis als Folge des weltweiten Fallouts nimmt seit der Einstellung der Kernwaffentests in der Atmosphäre ab. Sie betrug Mitte der 60er Jahre bis zu 0,2 mSv pro Jahr, zurzeit ist die Exposition geringer als 0,01 mSv pro Jahr.

Die Strahlenexposition durch Radionuklide aus der Reaktorkatastrophe in Tschernobyl wird in Deutschland fast ausschließlich durch die Gammastrahlung des Cs-137 im Erdboden bestimmt. Im Jahr 2009 betrug die mittlere effektive Dosis weniger als 0,01 mSv (10 µSv) im Jahr. Innerhalb Deutschlands unterliegt dieser Wert starken Schwankungen. In einigen Gebieten, insbesondere südlich der Donau, in denen es durch Niederschlag erhöhte Ablagerungen gab, kann die Dosis bis zu einer Größenordnung höher sein. Dagegen ist die Dosis durch den Verzehr kontaminierter Nahrungsmittel von untergeordneter Bedeutung. Die Ingestionsdosis betrug im Jahr 2009 im Mittel 1 µSv im Jahr (BUN11) (→Tschernobyl).

Flugverkehr, industrielle Strahlenanwendung, Fernsehen und Leuchtzifferblätter von Armbanduhren tragen mit rund 0,02 mSv pro Jahr zur jährlichen effektiven Dosis bei. Die zusätzliche Strahlendosis auf einem Flug Frankfurt - New York - Frankfurt beträgt etwa 0,1 mSv.

Die Strahlenexposition durch konventionelle Kraftwerke, in denen fossile Energieträger verbrannt werden, ist durch die natürliche Radioaktivität bestimmt, die bei der Verbrennung freigesetzt wird. Die fossilen Brennstoffe enthalten natürliche radioaktive Stoffe in unterschiedlicher Konzentration. Unterschiedliche Feuerungstechniken führen durch die temperaturabhängige Flüchtigkeit zu stark variierenden Anreicherungen in der Flugasche. Für eine erzeugte elektrische Energie von 1 Gwa beträgt die Emission an langlebigen alphastrahlenden Stoffen etwa 10 GBq bei einem Steinkohle- und 1 GBq bei einem Braunkohlekraftwerk. Die für verschiedene Kraftwerke an der ungünstigsten Einwirkungsstelle auftretende effektive Äquivalentdosis liegt im Bereich von 0,1 bis 100 Mikrosievert pro Jahr.

Primärenergieträger	max. effektive Dosis in der Umgebung µSv pro Jahr	Dosisrelevante Nuklide
Braunkohle Steinkohle Öl	0,5 bis 2 1 bis 4 1	U-238, Th-232 und Folgeprodukte, insbesondere Ra-226, Pb-210, Po-210
Erdgas Erdwärme	0,2 bis 1 100	Radon-222 und Folgeprodukte
Kernenergie	0,1 bis 5	Spalt- und Aktivierungsprodukte

Strahlenexposition durch Kraftwerke mit verschiedenen Primärenergieträgern, normiert auf die Erzeugung einer elektrischen Energie von 1 Gwa

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

Der Mittelwert der gesamten zivilisatorischen Strahlenexposition in Deutschland beträgt rund 1,8 mSv pro Jahr.

## Strahlenfeld

Nach DIN 6814-2 (→[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)) wird mit Bezug auf Bestrahlungseinrichtungen als Strahlenfeld der von Strahlung erfüllte räumliche Bereich definiert, der innerhalb der vom →[virtuellen Quellpunkt](#) ausgehenden und die wirksamen Kanten des Blendensystems schneidenden geometrischen Strahlen liegt. Diese Definition ist einschränkender als der allgemeine Feldbegriff, der zur Unterscheidung als →[Strahlungsfeld](#) bezeichnet wird.

Ein Strahlenfeld hat eine klar definierte geometrische Ausdehnung, die Feldgröße. Diese wird an jedem Ort bestimmt durch die Schnittfläche des Strahlenfeldes mit einer zum Zentralstrahl senkrechten Fläche an diesem Ort. Damit ist die äußere Feldbegrenzung durch den Abstand vom →[Fokus](#) und durch das Blendensystem bestimmt.

In der Röntgenverordnung wird das Strahlenfeld auch als Nutzstrahlenbündel bezeichnet.

## Strahlenhormesis

Mit Strahlenhormesis, oft nur kurz Hormesis genannt, werden positive Effekte nach Einwirkung ionisierender Strahlung auf lebende Organismen bezeichnet. Nachgewiesen ist z.B. die Anregung von Prozessen der Immunabwehr oder die Anregung von Reparaturen von Schäden an der DNS. Es gibt Wachstumsförderung bei Mäusen und bei Insekten sowie Ertragssteigerung bei Saatgut. Ob positive Auswirkungen auch beim Menschen auftreten ist nicht nachgewiesen und sehr umstritten.

## Strahlenhygiene

Strahlenhygiene umfasst die Feststellungen und Maßnahmen zum Erkennen und Beurteilen biologischer Strahlenwirkungen beim Menschen, die Maßnahmen zum Strahlenschutz und damit zusammenhängende technische Fragen der medizinischen und nichtmedizinischen Anwendung ionisierender Strahlen sowie die Grundsätze zur Indikation für Anwendungen ionisierender Strahlen.

## Strahlenkrankheit

Als Folge einer kurzzeitigen hohen Strahlenexposition des ganzen Körpers auftretende Symptome; →[Strahlenwirkung bei hohen Ganzkörperbestrahlungen](#)

## Strahlenmedizin

Teilgebiet der Medizin mit den Fachgebieten Strahlenbiologie, Röntgendiagnostik, Strahlentherapie, Nuklearmedizin

## Strahlenpass

Die Strahlenschutzverordnung und die Röntgenverordnung legen fest, dass bei einer Beschäftigung in Kontrollbereichen in fremden Anlagen und Einrichtungen, die zu einer effektiven Dosis von mehr als 1 Millisievert führen kann, ein "Strahlenpass" vorliegen muss.

Ein Genehmigungsinhaber nach § 15 StrlSchV hat dafür zu sorgen, dass die unter seiner Aufsicht stehenden Person bei →[Tätigkeiten](#) in fremden Anlagen/Einrichtungen

gen im →**Kontrollbereich** nur beschäftigt werden, wenn ein vollständig geführter, bei der zuständigen Behörde registrierter Strahlenpass vorliegt.

Desgleichen müssen Personen, die in fremden Anlagen anzeigepflichtige →**Arbeiten** ausüben, mit einem Strahlenpass ausgestattet sein (§ 95 StrlSchV). Im Regelungs-  
bereich der Röntgenverordnung muss einen Strahlenpass besitzen, wer im Kontrollbe-  
reich aufgrund einer Anzeige nach § 6 Abs.1 RöV in Verbindung mit einer fremden  
Röntgeneinrichtung oder einem fremden Störstrahler tätig wird.

Der Strahlenpass ist in der fremden Einrichtung vorzulegen. Nach Beendigung des Einsatzes sind die Eintragungen des Betreibers (z. B. nichtamtliche →**Dosis**) auf Vollständigkeit zu prüfen. Die amtlichen Personendosen sind monatlich einzutragen, bei einem längeren Einsatz in einer fremden Anlage oder Einrichtung spätestens nach drei Monaten.

Die "Allgemeine Verwaltungsvorschrift Strahlenpass" vom 14. Juni 2004 (BMU04) legt Form und Inhalt des Strahlenpasses für beruflich strahlenexponierte Personen und die Anforderungen an die Registrierung und das Führen eines Strahlenpasses fest.

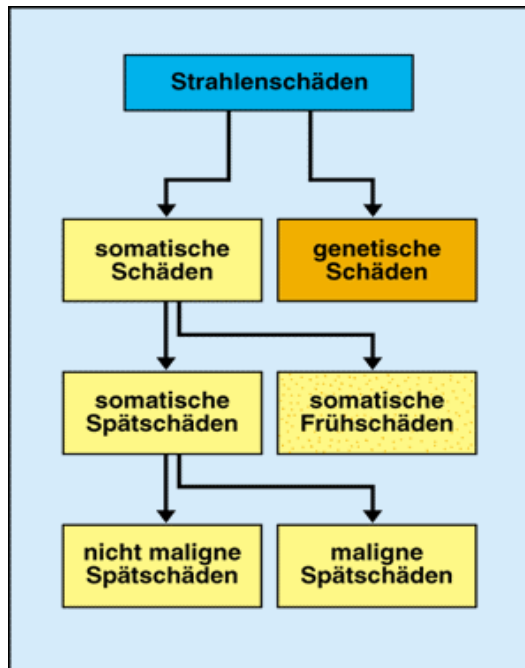
## **Strahlenphysik**

Teil der Physik, der sich mit den Eigenschaften und physikalischen Wirkungen ionisierender Strahlen befasst.

## **Strahlenschäden beim Menschen**

Als Folge einer Strahlenexposition können somatische und vererbare Effekte auftreten. Die somatischen Effekte beruhen auf der Schädigung von Körperzellen und treten bei den exponierten Personen selbst auf. Die vererbaren Effekte oder genetischen Strahlenschäden beruhen auf Schädigungen der Keimzellen und können sich nur bei den Nachkommen manifestieren. Bei den somatischen Strahlenwirkungen unterscheidet man zwischen →**stochastischen** und →**deterministischen Strahlenwirkungen**. Genetische Schäden sind immer stochastischer Art.

Eine andere Unterteilung der somatischen Strahlenschäden unterscheidet zwischen somatischen Spätschäden und Frühschäden. Frühschäden sind deterministischer Art, während Spätschäden stochastisch (z.B. maligne Spätschäden) oder deterministisch (z.B. Trübung der Augenlinse) sein können.



Einteilung der Strahlenschäden

Quelle: Informationskreis Kernenergie,  
Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/  
documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Strahlenschaden, biologischer

Nachteilige Änderung in den biologischen Eigenschaften als Folge der Einwirkung ionisierender Strahlung

## Strahlenschaden, Frühsymptome

Akute Strahlenschäden des Menschen werden nur nach Bestrahlungen mit sehr hohen Dosen beobachtet. Die zeitliche Abfolge der Krankheitssymptome ist dosisabhängig. → [Strahlenwirkung bei hoher Ganzkörperbestrahlung](#)

## Strahlenschaden, genetischer

Ein genetischer Strahlenschaden beruht auf der strahleninduzierten Mutation des Erbgutes einer Person. Er manifestiert sich nicht in der bestrahlten Person, sondern in seinen Nachkommen. Er zählt zu den stochastischen Strahlenschäden, der keine untere Schwellendosis besitzt. In der Regel wird angenommen, dass die Wahrscheinlichkeit einer Erbgutschädigung nicht von der zeitlichen Abfolge der erhaltenen Dosis abhängt und dass sie linear mit der Dosis ansteigt.

Die Mutationen können einzelne Gene (Genmutation) oder auch Struktur oder Anzahl der Chromosomen (Chromosomenaberration) betreffen. Man unterscheidet zwischen rezessiv oder dominant vererbten Mutationen. Rezessive Mutationen wirken sich erst dann aus, wenn sich zwei Keimzellen mit gleicher Mutation vereinigen. Die Wahrscheinlichkeit dafür ist gering, so dass der Schaden erst nach mehreren Generationen auftreten kann. Dominante Mutationen wirken sich bereits in der ersten Nachfolgeneration aus.

Die Auswirkungen genetischer Strahlenschäden reichen von leichten Anomalien über schwere Leiden bis zu Fehl- und Totgeburten. Beispiele sind Schielen, Kurzfingerigkeit (dominante Mutationen) oder Farbblindheit, Taubstummheit, Albinismus (rezessive Mutation). Das Down-Syndrom wird durch Chromosomenaberration verursacht.



Das spontane Risiko für genetische Strahlenschäden liegt bei etwa 1,65% aller Lebendgeburten. Für das durch Strahlenexpositionen verursachte zusätzliche Risiko gibt es nur grobe Schätzwerte, die hauptsächlich auf Untersuchungen an Mäusen basieren. Man schätzt daraus ab, dass der Risikoeffizient für Erbschäden bei andauernder Strahlenexposition der Bevölkerung in der ersten Folge-Generation bei 0,41 % - 0,64 % je Gy liegt und für die zweite Folgegeneration bei 0,51 % - 0,91 % je Gy. Rechnerisch ergeben sich daraus z.B. bei einer mittleren individuellen Strahlenexposition von 10 mGy auf eine Million Lebendgeburten etwa 91 strahleninduzierte Erbschäden. Im Vergleich dazu treten 740.000 natürliche Defekte auf, die jedoch zum überwiegenden Teil erst in höherem Alter evident werden (z.B. angeborener Herzfehler, Asthma, Epilepsie)

Lit.: VOG04

## **Strahlenschaden, physikalisch-chemischer**

Nachteilige Änderung in den physikalischen und chemischen Eigenschaften eines Materials als Folge der Einwirkung ionisierender Strahlung

## **Strahlenschaden, somatischer**

Schädigung von Körperzellen, die sich beim Geschädigten selbst auswirkt; im Gegensatz dazu wirkt sich die Schädigung von Keimzellen bei den Nachkommen aus (→[Strahlenschaden, genetischer](#)).

## **Strahlenschutz**

Der Strahlenschutz befasst sich mit dem Schutz von Einzelpersonen, deren Nachkommen und der Bevölkerung in ihrer Gesamtheit vor den schädigenden Wirkungen ionisierender und nicht ionisierender Strahlung. Ziel des Strahlenschutzes vor ionisierender Strahlung ist es, →[deterministische Strahlenwirkungen](#) zu verhindern und die Wahrscheinlichkeit →[stochastischer Wirkungen](#) auf Werte zu begrenzen, die als tolerierbar betrachtet werden. Darüber hinaus sind Strahlenexpositionen so gering wie möglich zu halten (Minimierung). Eine zusätzliche Aufgabe besteht darin, sicherzustellen, dass Tätigkeiten, die eine Strahlenexposition mit sich bringen, gerechtfertigt sind. Diese drei international anerkannten Strahlenschutzgrundsätze – Rechtfertigung, Dosisbegrenzung und Dosisminimierung – werden im deutschen Strahlenschutzrecht an exponierter Stelle hervorgehoben (§§ 4 – 6 StrlSchV). Auf diesen drei Säulen ruht das Strahlenschutzgebäude.

## **Strahlenschutzanweisung**

Organisatorische, schriftliche Anweisung zum Strahlenschutz, in dem die im Betrieb zu beachtenden Strahlenschutzmaßnahmen aufgeführt sind; dazu gehören z.B. die personelle Strahlenschutzorganisation, die Regelung des für den Strahlenschutz wesentlichen Betriebsablaufs, die Regelungen der messtechnischen Überwachung oder die Regelungen zum Verhalten bei Störungen sowie zum Schutz gegen Störmaßnahmen und sonstiger Einwirkungen Dritter. Die Erstellung einer Strahlenschutzanweisung ist für den Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung zwingend vorgeschrieben (§ 34 StrlSchV). Im Regelungsbereich der Röntgenverordnung kann die Behörde die Erstellung einer Strahlenschutzanweisung fordern (§ 15a RöV).

## Strahlenschutzbeauftragter

Der →[Strahlenschutzverantwortliche](#) hat entsprechend den Vorschriften der Strahlenschutz- und der Röntgenverordnung Strahlenschutzbeauftragte (SSB) schriftlich zu bestellen, soweit dies für den sicheren Betrieb der Anlage und die Beaufsichtigung der Tätigkeiten notwendig ist (§§ 31 bis 33 StrlSchV). In der Bestellung müssen seine Aufgaben und sein innerbetrieblicher Entscheidungsbereich eindeutig festgelegt sein.

SSB müssen die erforderlicher Fachkunde (§ 30 StrlSchV) besitzen, die durch die für den jeweiligen Anwendungsbereich geeignete Ausbildung und praktische Erfahrung erworben werden kann. Ebenfalls Voraussetzung für die "Bestellung" einer Person zum SSB ist die erfolgreiche Teilnahme an einem von der zuständigen Stelle anerkannten Kurs. Die Anforderungen an die Fachkunde von Strahlenschutzbeauftragten hängen von dessen Verantwortungsbereich ab. Sie sind in diversen Richtlinien festgelegt. (BMU03a, BMU04a, BMU90)

Neben den Strahlenschutzbeauftragten, denen innerhalb ihres innerbetrieblichen Entscheidungsbereiches alle Pflichten nach § 33 StrlSchV obliegen, gibt es Strahlenschutzbeauftragte mit eingeschränktem Entscheidungsbereich, denen nur ein Teil der Aufgaben übertragen wird und an deren Fachkunde entsprechend geringere Anforderungen gestellt werden. Ein Beispiel ist der Schichtführer in einem Kernkraftwerk, der nur für Sofortmaßnahmen im Strahlenschutz bei besonderen Ereignissen oder die Einhaltung der Randbedingungen bei Ableitungen während der Abwesenheit des „normalen“ Strahlenschutzbeauftragten verantwortlich ist. Bereiche wie Dosimetrie, Arbeitsplanung und Vorbereitung oder Strahlenschutzmesstechnik gehören nicht in seinen Aufgabenbereich.

## Strahlenschutzbereiche

Bei genehmigungspflichtigen Tätigkeiten nach der Strahlenschutzverordnung oder der Röntgenverordnung sind Strahlenschutzbereiche einzurichten. Je nach Höhe der Strahlenexposition wird zwischen Überwachungsbereichen, Kontrollbereichen und Sperrbereichen unterschieden. Dabei sind die äußere und die innere →[Strahlenexposition](#) zu berücksichtigen. Entsprechend StrlSchV (§ 36) und RöV (§ 19) gelten folgende Werte:

- **Überwachungsbereiche**  
Überwachungsbereiche sind nicht zum Kontrollbereich gehörende betriebliche Bereiche, in denen Personen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 1 Millisievert oder höhere Organdosen als 15 Millisievert für die Augenlinse oder 50 Millisievert für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel erhalten können.
- **Kontrollbereiche**  
Kontrollbereiche sind Bereiche, in denen Personen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 6 Millisievert oder höhere Organdosen als 45 Millisievert für die Augenlinse oder 150 Millisievert für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel erhalten können.
- **Sperrbereiche** (nur im Geltungsbereich der StrlSchV)  
Sperrbereiche sind Bereiche des Kontrollbereiches, in denen die Ortsdosisleistung höher als 3 Millisievert pro Stunde sein kann.

Kontrollbereiche und Sperrbereiche sind abzugrenzen und deutlich sichtbar und dauerhaft zu kennzeichnen. Maßgebend bei der Festlegung der Grenze von Kontrollbereich oder Überwachungsbereich ist eine Aufenthaltszeit von 40 Stunden je Woche und 50 Wochen im Kalenderjahr, soweit keine anderen begründeten Angaben über die Aufenthaltszeit vorliegen.



Beispiele für die Kennzeichnung von Kontroll- und Sperrbereichsgrenzen

## Strahlenschutzbevollmächtigter

Der →[Strahlenschutzverantwortliche](#) kann einen Teil seiner Pflichten auf einen Strahlenschutzbevollmächtigten übertragen. Der Strahlenschutzbevollmächtigte übernimmt dabei die Aufgaben des Strahlenschutzverantwortlichen, die Verantwortung vor dem Gesetz bleibt jedoch bei diesem.

Die Position des Strahlenschutzbevollmächtigten ist im deutschen Strahlenschutzrecht nicht enthalten. Sie wird in der amtlichen Begründung zu § 30 StrlSchV in der Fassung vom 30.6.1989 genannt. Auf den Strahlenschutzbevollmächtigten kann der Strahlenschutzverantwortliche danach seine Aufgaben delegieren, ohne dass dadurch seine Verantwortlichkeit eingeschränkt wird. Der Strahlenschutzbevollmächtigte steuert den Einsatz der →[Strahlenschutzbeauftragten](#) für den Strahlenschutzverantwortlichen.

## Strahlenschutzdokumentation

Alle für den Strahlenschutz wesentlichen Aufzeichnungen und Nachweise müssen in die Strahlenschutzdokumentation übernommen werden. Die Aufbewahrungsfristen sind in unterschiedlichen Paragraphen der Strahlenschutzverordnung festgelegt (§§ 42, 61, 70, 73, 85, 96, 103). Zur Strahlenschutzdokumentation gehören

- Ausbildungsnachweise
- Genehmigungen oder Zustimmungen der Behörde
- Urkunden über Bauartprüfungen oder von Bauartzulassungen
- Sicherheitsberichte
- Systembeschreibungen sicherheitstechnisch wichtiger Systeme

- Gebäudepläne, soweit für den genehmigten Betrieb und die Abgrenzung von Strahlenschutzbereichen relevant
- Strahlenschutzpläne mit Berechnungsunterlagen für bautechnische Strahlenschutzvorkehrungen
- Komponenten- und Bauzeichnungen, die für den Strahlenschutz relevante Informationen beinhalten (z.B. Abmessungen, Abschirmwandstärken, Konstruktionsdetails für Instandhaltungsarbeiten)
- Aufstellungspläne, in denen die räumliche Anordnung von Komponenten in Strahlenschutzbereichen dargestellt ist.
- Bedienungsanleitungen für den Umgang mit Geräten oder Einrichtungen, wenn dieser Umgang für den Strahlenschutz Bedeutung hat
- Aufzeichnungen über die Ergebnisse der physikalischen Strahlenschutzkontrolle (Personendosimetrie, Kontaminationsmessungen an Personen, Inkorporationsmessungen, Ermittlung der Körperdosen)
- Aufzeichnungen über die arbeitsmedizinische Vorsorge
- Aufzeichnungen über die messtechnische Anlagenüberwachung
- Aufzeichnungen über Inbetriebsetzungsprüfungen sowie über wiederkehrende Prüfungen an Strahlenschutzeinrichtungen, Strahlern und Bestrahlungseinrichtungen
- Zertifikate über Strahlenquellen und Bestrahlungseinrichtungen
- Nachweisbücher über Bestand, Zu- und Abgang radioaktiver Strahlungsquellen
- Innerbetriebliche Anweisungen
- Arbeitsablaufpläne und andere Planungsunterlagen zur Vorbereitung dosisintensiver Tätigkeiten
- Aufzeichnungen über Messwerte und Personendosen, die bei speziellen strahlenschutzrelevanten Tätigkeiten angefallen sind

## **Strahlenschutzeinrichtungen, bautechnische**

Nach DIN 6814-5 (→[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)) sind bautechnische Strahlenschutzeinrichtungen oder -vorkehrungen Teile eines Bauwerks oder daran angebrachte Vorrichtungen, durch die die Strahlenschutzbereiche und Schutzzonen eingegrenzt oder eingengt werden. Dies sind im einzelnen Abschirmungen, Absperungen und bautechnische Vorkehrungen zum Schutz vor Kontamination und Verschleppung offener radioaktiver Stoffe. →[Strahlenschutzvorkehrungen, bautechnische](#)

## **Strahlenschutzhilfsmittel**

Strahlenschutzhilfsmittel sind alle Strahlenschutzeinrichtungen, die der Optimierung des Strahlenschutzes dienen und die nicht zu den bau- oder systemtechnischen Strahlenschutzvorkehrungen gehören. Zu den Hilfsmitteln gehören

- Strahlenschutzkleidung
  - Schutzanzüge (Kittel, Overall, Vollschutzanzug)
  - Handschuhe

- Überschuhe
- Atemschutzmasken
- Abschirmschürzen (für Personal, Ärzte oder Patienten)
- Abschirmbrille (Beta-Brille)
- Strahlungsmessgeräte
  - Tragbare Geräte zur Messung der Ortsdosisleistung und Kontamination
  - Fahrbare Geräte zur Raumluftüberwachung (Luftprobensammler oder Monitoren)
  - Dosimeter zur Messung der Personendosis
  - Tragbare Spektrometer
  - Messplätze zur Auswertung von Wischtesten und Analysenproben
  - Messgeräte zur Inkorporationskontrolle
  - Messgeräte zur Kontaminationskontrolle an Personen
- Bewegliche Abschirmeinrichtungen und Abschirmmaterial
  - Bleimatten, Bleibausteine, Bleibleche (→Abschirmung)
  - Abschirmsteine aus Beton
  - Abschirmhüllen aus Metall oder Kunststoff, die mit Wasser gefüllt werden können (Wasserwände)
- Geräte und Mittel zur Dekontamination
  - Bodenreinigungsgeräte (Wassersauger, Staubsauger)
  - Reinigungsgeräte zum Einsatz unter Wasser
  - Dekontaminationsmittel zur schonenden Reinigung von Haut und Haaren
  - Hochdrucklanzen zur Reinigung mit Wasser
  - Ultraschallbäder
- Abfallsammeleinrichtungen
  - Abfallsammelbehälter
  - Transportbehälter und Transportfahrzeuge (ggf. abgeschirmt)
  - Abfallkompaktierungseinrichtungen (Fasspresse, Ballenpresse)
  - Trocknungseinrichtungen für Abfälle
- Hilfsmittel zur Handhabung radioaktiver Stoffe
  - Fernbedienungsgeräte zur Handhabung von Strahlenquellen aus abgeschirmter Position (Manipulatoren)
  - Abstandgebendes Werkzeug (Zangen, Stangenwerkzeug etc)
  - Handschuhboxen zum kontaminationsgeschützten Arbeiten
  - Applikationsvorrichtungen für radioaktive Stoffe im medizinischen Bereich (z.B. abgeschirmte Injektionsspritzen)

## Strahlenschutzkommission (SSK)

Nach der Satzung der Strahlenschutzkommission (SSK) vom 9. Januar 1999 hat die SSK den Auftrag, das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit in den Angelegenheiten des Schutzes vor den Gefahren ionisierender und nichtionisierender Strahlen zu beraten. Im einzelnen umfassen die Aufgaben der SSK:

- Stellungnahmen und Empfehlungen zur Bewertung biologischer Strahlenwirkungen und zu Dosis-Wirkungsbeziehungen,
- Erarbeitung von Vorschlägen für Dosisgrenzwerte und daraus abgeleiteter Grenzwerte,
- Beobachtung der Entwicklung der Strahlenexposition der Gesamtbevölkerung, spezieller Gruppen der Bevölkerung und beruflich strahlenexponierter Personen,
- Anregung zu und Beratung bei der Erarbeitung von Richtlinien und besonderen Maßnahmen zum Schutz vor den Gefahren ionisierender und nichtionisierender Strahlen,
- Beratung bei der Erarbeitung von Empfehlungen zum Notfallschutz und bei der Planung von Maßnahmen zur Reduzierung der Strahlenexposition bei kerntechnischen Notfällen und Katastrophen,
- Erarbeitung genereller Ausbreitungsmodelle für die von kerntechnischen Anlagen und bei der technischen und medizinischen Anwendung von radioaktiven Stoffen mit Abluft und Abwasser freigesetzten Radionuklide,
- Beratung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit bei der Auswertung von Empfehlungen für den Strahlenschutz, die von internationalen Gremien erarbeitet wurden,
- Beratung der Bundesregierung bei ihrer Mitwirkung in internationalen Gremien,
- Beratung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit bei der Aufstellung von Forschungsprogrammen zu Fragen des Strahlenschutzes sowie deren wissenschaftliche Begleitung.

Gemäß ihrer Satzung kann die SSK im Einvernehmen mit dem zuständigen Bundesministerium oder auf dessen Verlangen Ausschüsse und Arbeitsgruppen für besondere Aufgabenbereiche einrichten und deren Aufträge bestimmen.

Die Strahlenschutzkommission hat in der Vergangenheit entsprechend ihrem Auftrag zu sehr unterschiedlichen Themen Stellung genommen oder Empfehlungen abgegeben. Eine besondere Form der Darstellung sind die „Veröffentlichungen der SSK“ in Form von einzelnen Bänden (seit 1985) und Heften (Berichte der SSK). Neben der Zusammenfassung diverser Einzelthemen enthalten einige Bände Stellungnahmen zu einem speziellen Thema (hier nur für ionisierende Strahlung zusammengestellt):

### *Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission*

*Band 2: Wirkungen nach pränataler Bestrahlung (2. Auflage 1989)*

Band 4: Medizinische Maßnahmen bei Kernkraftwerksunfällen  
Leitfaden für:

Ärztliche Berater der Katastrophenschutzleitung  
Ärzte in Notfallsituationen  
Ärzte in der ambulanten Betreuung (1986)

- Band 5: Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl in der Bundesrepublik Deutschland; Empfehlungen der Strahlenschutzkommission zur Abschätzung, Begrenzung und Bewertung (1986)
- Band 7: Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl auf die Bundesrepublik Deutschland  
- Aktivitätskonzentrationen in der Bundesrepublik Deutschland  
- Empfehlungen zur Begrenzung der Strahlenexposition  
- Strahlenexposition der Bevölkerung und Bewertung (1987)
- Band 8: Zur beruflichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland  
Klausurtagung der SSK 6.-8.Nov. 1985 (1988)
- Band 9: Radionuklide in Wasser-Schwebstoff-Sediment-Systemen und Abschätzung der Strahlenexposition  
Abschlussbericht der Arbeitsgruppe „Sedimentforschung“ des SSK-A „Radioökologie“ (1988)
- Band 11: Strahlenschutzfragen bei Anfall und Beseitigung von radioaktiven Reststoffen (1988)
- Band 12: Aktuelle Fragen zur Bewertung des Strahlenkrebsrisikos (1988)
- Band 13: Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Notfällen (2. Auflage 1995)
- Band 14: Strahlenexposition und Strahlengefährdung durch Plutonium (1989)
- Band 17: Modellannahmen und Daten mit Erläuterungen zur Berechnung der Strahlenexposition bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser zum Nachweis der Einhaltung der Dosisgrenzwerte nach § 45 StrlSchV (1992)
- Band 18: Maßnahmen nach Kontamination der Haut mit radioaktiven Stoffen (1992)
- Band 19: Die Exposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Wohnungen in der Bundesrepublik Deutschland und deren Bewertung (1992)
- Band 20: Risiken durch ionisierende Strahlung und chemotoxische Stoffe – Quantifizierung, Vergleich, Akzeptanz (1992)
- Band 21: Die Strahlenexposition durch den Bergbau in Sachsen und Thüringen und deren Bewertung (1993)



- Band 23: Strahlenschutzgrundsätze für die Verwahrung, Nutzung oder Freigabe von kontaminierten Materialien, Gebäuden, Flächen oder Halden aus dem Uranerzbergbau (1992)
- Band 25: Notfallschutz und Vorsorgemaßnahmen bei kerntechnischen Unfällen (1993)
- Band 26: Strahlenschutzüberlegungen zum Messen und Bergen von radioaktiven Satellitenbruchstücken (1994)
- Band 27: Medizinische Maßnahmen bei Strahlenunfällen (1994)
- Band 29: Ionisierende Strahlung und Leukämieerkrankungen von Kindern und Jugendlichen (1994)
- Band 30: Strahlenexposition in der medizinischen Diagnostik (1995)
- Band 32: Der Strahlenunfall – Ein Leitfaden für Erstmaßnahmen (akt. 2007)
- Band 33: Molekulare und zelluläre Prozesse bei der Entstehung stochastischer Strahlenwirkungen (1995)
- Band 37: Aktuelle radioökologische Fragen des Strahlenschutzes (1998)
- Band 42: Methoden, Probleme und Ergebnisse der Epidemiologie (1999)
- Band 43: Berechnungsgrundlage für die Ermittlung von Körperdosen bei äußerer Strahlenexposition (2000)
- Band 45: Bedeutung der genetischen Prädisposition und der genomischen Instabilität für die individuelle Strahlenempfindlichkeit (Konsequenzen für den Strahlenschutz) (2001)
- Band 47: Leitfaden zur Messung von Radon, Thoron und ihren Zerfallsprodukten (2002)
- Band 49: Aktuelle und zukünftige Aufgaben in der Radioökologie (2003)
- Band 51: Medizinische Strahlenexposition in der Diagnostik und ihre Bewertung (2004)
- Band 53: Vergleichende Bewertung der biologischen Wirksamkeit verschiedener ionisierender Strahlungen (2005)
- Band 55: Realistische Ermittlung der Strahlenexposition (2005)
- Band 56: Abschätzung, Bewertung und Management von Risiken (2005)
- Band 57: Neue Techniken in der Strahlendiagnostik und Strahlentherapie (2005)

- Band 60      Notfallschutz bei Schadenslagen mit radiologischen Auswirkungen  
(Klausurtagung 2005)
- Band 61      Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission  
2006
- Band 62      Einfluss der natürlichen Strahlenexposition auf die Krebsentstehung in  
Deutschland
- Band 64      Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission  
2007
- Band 65      Interventionen und Nachhaltigkeit im Strahlenschutz
- Band 66      Risiken ionisierender und nicht ionisierender Strahlung
- Band 67      Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission  
2008

*Berichte der Strahlenschutzkommission*

- Heft 1        Die Ermittlung der durch kosmische Strahlung verursachten Strahlen-  
exposition des fliegenden Personals (1997)
- Heft 4        10 Jahre nach Tschernobyl (1996)
- Heft 5        Atmosphärische Ausbreitung bei kerntechnischen Notfällen (1996)
- Heft 6        Konzepte und Handlungsziele für eine nachhaltige, umweltgerechte  
Entwicklung im Strahlenschutz in Deutschland (1996)
- Heft 9        Interventionelle Radiologie (1997)
- Heft 10      Strahlenexposition an Arbeitsplätzen durch natürliche Radionuklide  
(1997)
- Heft 11      Auswirkungen der Einführung neuer Dosismessgrößen im Strahlen-  
schutz (1998)
- Heft 13      Wissenschaftliche Begründung für die Anpassung des Kapitels 4 „Be-  
rechnung der Strahlenexposition“ der Störfallberechnungsgrundlagen  
für Kernkraftwerke mit Druckwasserreaktor (1999)
- Heft 15      Grundsätze für die Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender  
Strahlen am Menschen in der medizinischen Forschung (1998)
- Heft 16      Freigabe von Materialien, Gebäuden und Bodenflächen mit geringfügi-  
ger Radioaktivität aus anzeige- oder genehmigungspflichtigem Umgang  
(1998)

- Heft 24 Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden (2000)
- Heft 26 Bestimmung der Personendosis des Begleitpersonals bei Transporten von abgebrannten Brennelementen und hochradioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung (2000)
- Heft 31 Mammographie-Screening in Deutschland: Bewertung des Strahlenrisikos (2002)
- Heft 32 Stand der Forschung zu den „Deutschen Uranbergarbeiterstudien“ (2002)
- Heft 34 Anforderungen an die Kontaminationskontrolle beim Verlassen des Kontrollbereichs (§ 44 StrlSchV) (2003)
- Heft 37 Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Notfällen (2004)
- Heft 38 Erläuterungsbericht zum Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Notfällen (2004)
- Heft 39 Kriterien für die Alarmierung der Katastrophenschutzbehörde durch die Betreiber kerntechnischer Einrichtungen (2004)
- Heft 42 Brustkrebs- und Zervixkarzinom-Screening (2004)
- Heft 43 Strahlenexposition durch Radon-222, Blei-210 und Polonium-210 im Trinkwasser (2004)
- Heft 44 Störfallberechnungsgrundlagen zu § 49 StrlSchV, Neufassung des Kapitels 4: Berechnung der Strahlenexposition (2004)
- Heft 45 Vergleich deutscher Freigabekriterien mit denen anderer Länder am Beispiel ausgewählter Radionuklide (2005)
- Heft 46 Grundsätze und Methoden zur Berücksichtigung von statistischen Unsicherheiten für die Ermittlung repräsentativer Werte der spezifischen Aktivität von Rückständen (2005)
- Heft 48 Strahlenschutz für das ungeborene Kind (2006)
- Heft 50 20 Jahre nach Tschernobyl – Eine Bilanz aus Sicht des Strahlenschutzes (2006)
- Heft 51 Orientierungshilfe für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen (2006)
- Heft 52 Strahlenschutz in der Röntgentherapie (2007)

- Heft 54      Freigabe von Stoffen zur Beseitigung (2007)
- Heft 56      Interventionelle Radiologie
- Heft 57      Bewertung der epidemiologischen Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KiKK-Studie) Stellungnahme der Strahlenschutzkommission (2008)
- Heft 58      Bewertung der epidemiologischen Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KiKK-Studie) Wissenschaftliche Begründung zur Stellungnahme der Strahlenschutzkommission (2008)
- Heft 61      Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden (Redaktionelle Überarbeitung der gleichnamigen Veröffentlichung aus dem Jahr 1999)
- Heft 63      Strahlenschutz in radiologischen Notfallsituationen

*Informationen der Strahlenschutzkommission (kostenlos erhältlich über die Geschäftsstelle der SSK)*

- Nr. 1          Strahlenunfall – Ein Leitfaden für Erstmaßnahmen, Kurzfassung
- Nr. 5          Strahlenschutz und Strahlenbelastung im Zusammenhang mit Polizeieinsätzen anlässlich von CASTOR-Transporten

### *Bücher*

- Buch 1        Zehn Jahre nach Tschernobyl, eine Bilanz

Internet: [www.ssk.de](http://www.ssk.de)

## **Strahlenschutzlabyrinth**

Spezielle bautechnische Anordnung des Zugangs zu einem Raum mit hoher Ortsdosisleistung; durch überlappende Abschirmwinkel wird eine direkte Durchstrahlung nach außen vermieden. Damit kann eine ausreichende Abschirmwirkung erreicht werden, ohne dass die Tür zum Raum als Strahlenschutztür ausgelegt werden muss. Die Abschirmwinkel werden in der Regel schon im Rahmen der Gebäudeplanung als Betonstrukturen vorgesehen. Eine nachträgliche Errichtung von Stahl- oder Bleikonstruktionen ist manchmal ebenfalls noch möglich.

## **Strahlenschutzmaßnahmen, organisatorische**

Die organisatorischen Strahlenschutzmaßnahmen umfassen die personelle Strahlenschutzorganisation, Anweisungen zum Strahlenschutz, Strahlenschutzplanungen und Unterweisungen im Strahlenschutz. Im einzelnen gehören dazu z.B.

- Bestellung von Strahlenschutzbeauftragten und Festlegung der innerbetrieblichen Entscheidungsbereiche
- Aufgabenzuordnung für die sachkundigen Mitarbeiter im Strahlenschutz

- Vertretungsregelungen und Bereitschaftsregelungen
- Schriftliche Anweisungen zum strahlenschutzgerechten Verhalten
- Strahlenschutzplanung für betriebliche Abläufe
- Festlegung von Tätigkeitsverboten oder Tätigkeitsbeschränkungen
- Strahlenschutzunterweisungen für Personen, die kein Strahlenschutzfachpersonal sind
- Aus- und Weiterbildung des Strahlenschutz-Fachpersonals
- Einüben von Arbeitsabläufen (besonders für Tätigkeiten unter ungünstigen radiologischen Bedingungen)
- Organisation und Durchführung der Strahlenschutzüberwachung
- Führen der Strahlenschutz-Dokumentation

## Strahlenschutzrecht

→[Strahlenschutzregeln](#)

### Strahlenschutzregeln

In der Bundesrepublik Deutschland bauen die Strahlenschutzregeln auf einem gesetzlichen und einem nachgeschalteten untergesetzlichen Regelwerk auf. An der Spitze des gesetzlichen Regelwerkes stehen die Gesetze, auf deren Grundlage Rechtsverordnungen zum Strahlenschutz erlassen werden. Die wesentlichen Gesetze im Bereich des Strahlenschutzes sind das →[Atomgesetz](#) und das →[Strahlenschutzvorsorgegesetz](#). Daneben sind noch das Gefahrgutbeförderungsgesetz, das Eichgesetz und das Arzneimittelgesetz zu beachten.

Bei den nachgeschalteten Rechtsverordnungen sind für den praktischen Strahlenschutz vor allem die →[Strahlenschutzverordnung](#) und die →[Röntgenverordnung](#) von Bedeutung. Auf speziellen Tätigkeitsfeldern sind zudem die Gefahrgutverordnung Straße und Eisenbahn oder die Eichordnung zu beachten.

Diese nationale Gesetzgebung ist an Europäische Normen zum Strahlenschutz gebunden, Die den Schutz der Bevölkerung und der Arbeitskräfte betreffen (EUN96, EUN97).

Zu speziellen Paragraphen der gesetzlichen Regelwerke gibt es Ausführungsvorgaben in Form von Verwaltungsvorschriften. Dazu gehören die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 40 StrlSchV (AVV Strahlenpass), die den Umgang mit Strahlenpässen regelt (BMU04), die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Strahlenexposition durch Ableitungen (BMU05E) und die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum integrierten Mess- und Informationssystem nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (BMU95).

Im weiteren untergesetzlichen Regelwerk sind Richtlinien von Fachbehörden (z.B. BMU-Richtlinien), Empfehlungen und Leitlinien von Fachgremien (z.B. SSK-Empfehlungen, KTA-Regeln, Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission) sowie Regeln und Grundsätze der Berufsgenossenschaften, Unfallverhütungsvorschriften und DIN-Normen zu beachten.

## Strahlenschutzregister

Das Strahlenschutzregister (SSR) ist eine zentrale Einrichtung des Bundes zur Überwachung der beruflichen Strahlenexposition. Es wird vom Bundesamt für Strahlenschutz geführt und hat die Aufgabe, für alle beruflich strahlenexponierten Personen bundesweit und langfristig die Ausgabe der Strahlenpässe sowie die Einhaltung der Körperdosisgrenzwerte zu überwachen.

In Folge der Aufteilung der Zuständigkeiten ist die Durchführung der beruflichen Strahlenschutzüberwachung in Deutschland auf zahlreiche Institutionen und Behörden verteilt: von den zuständigen Landesbehörden bestimmte Messstellen ermitteln regelmäßig Körperdosiswerte, die beruflich strahlenexponierte Personen aus einer externen Strahlenexposition und gegebenenfalls auch in Folge einer Inkorporation von Radionukliden erhalten. Diese Dosisfeststellungen sowie Festsetzungen von Ersatzdosen durch Aufsichtsbehörden oder ggf. weitere Mitteilungen zur Dosiskontrolle werden laufend an das Strahlenschutzregister gemeldet. Hier werden die Überwachungsergebnisse personenbezogen zusammengeführt und ausgewertet. Ebenfalls zentral zusammengeführt werden die Meldungen der regionalen Registrierbehörden, die für die Ausgabe von Strahlenpässen zuständig sind.

Rechtliche Grundlage für das Strahlenschutzregister ist die →[Strahlenschutzregisterverordnung](#) (SSR90). Die ins Strahlenschutzregister einzutragenden Daten sind in der Strahlenschutzverordnung (§112) und der Röntgenverordnung (RÖV02) geregelt.

[http://www.bfs.de/de/ion/beruf\\_schutz/strahlenschutzregister.html](http://www.bfs.de/de/ion/beruf_schutz/strahlenschutzregister.html)

## Strahlenschutzregisterverordnung (StrRV)

Verordnung zur Einrichtung eines Strahlenschutzregisters beim Bundesamt für Strahlenschutz (→[Strahlenschutzregister](#))

## Strahlenschutzschleuse

Eine Strahlenschutzschleuse ist ein Verbindungsraum zwischen einem möglicherweise höher kontaminierten Bereich und einem zu schützenden „sauberen Bereich“, der beide Bereiche z.B. durch Türkombinationen so voneinander abtrennt, dass Aktivitätsverschleppungen weitgehend vermieden werden. So können z.B. die Türen so gegeneinander verriegelt sein, dass ein gleichzeitiges Öffnen beider Türen nicht möglich ist. Außerdem ist die Lüftung in der Regel so ausgelegt, dass eine gerichtete Luftströmung von niedrig kontaminierten Bereich in den höher kontaminierten Bereich aufrecht erhalten bleibt.

In der Strahlenschutzschleuse können Umkleideeinrichtungen für das Personal vorgesehen werden, an denen die kontaminierte Kleidung abgelegt wird. Bei sehr hohen Kontaminationen wird die Schleuse häufig als Doppelschleuse ausgelegt, so dass der Wechsel der kontaminierten Kleidung in zwei Stufen erfolgen kann.

Soweit die örtlichen Verhältnisse dies zulassen, werden für den Personen- und Materialfluss getrennte Schleusen eingerichtet.

## Strahlenschutzverantwortlicher

Strahlenschutzverantwortlicher ist, wer Tätigkeiten ausführt, die nach Atomgesetz, Strahlenschutzverordnung oder Röntgenverordnung einer Genehmigung oder Anzeige bedürfen oder wer radioaktive Mineralien aufsucht, gewinnt oder aufbereitet. Die

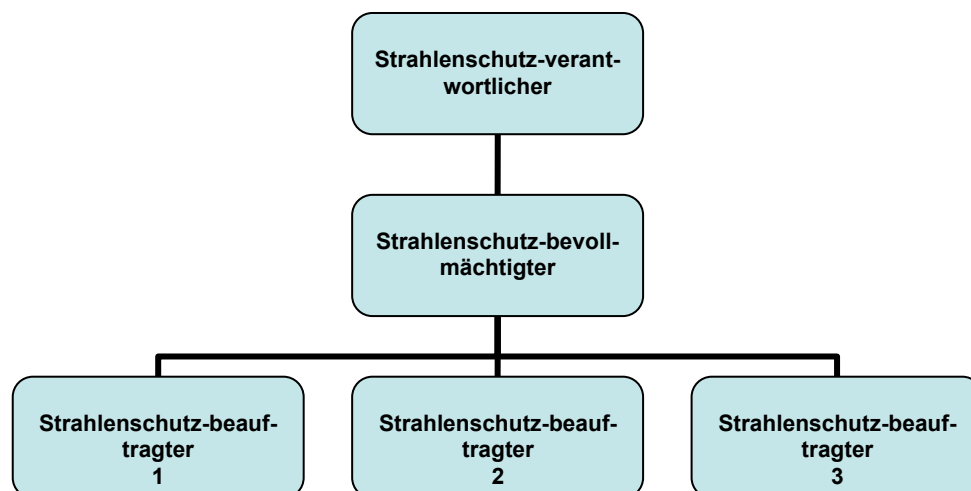
dem Strahlenschutzverantwortlichen auferlegten Pflichten entstehen unmittelbar mit Aufnahme der Tätigkeit.

Handelt es sich beim Strahlenschutzverantwortlichen um eine juristische Person oder um eine Personengesellschaft, so ist der gesetzliche Vertreter (z.B. der Geschäftsführer) Strahlenschutzverantwortlicher.

Besteht das vertretungsberechtigte Organ aus mehreren Mitgliedern oder sind mehrere vertretungsberechtigte Personen vorhanden, so ist der zuständigen Behörde mitzuteilen, welche dieser Personen die Aufgaben des Strahlenschutzverantwortlichen wahrnimmt. (siehe § 31 Abs.1 StrlSchV)

Der Strahlenschutzverantwortliche ist damit nicht erst verantwortlich, wenn er eine Genehmigung erhalten oder eine Anzeige erstattet hat. Seine rechtliche Verantwortung beginnt, wenn die sachlichen Voraussetzungen eine Genehmigung oder Anzeige erfordern.

Der Strahlenschutzverantwortliche muss selbst nicht fachkundig im Strahlenschutz sein. Ist er dies nicht, muss er zu seiner Unterstützung fachkundige →**Strahlenschutzbeauftragte** schriftlich bestellen (§ 31 Abs.2 StrlSchV). Außerdem kann er zu seiner Entlastung einen →**Strahlenschutzbevollmächtigten** ernennen, der Aufgaben von ihm übernimmt. Die Verantwortung verbleibt dabei jedoch beim Strahlenschutzverantwortlichen. Seine Pflichten im Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung sind im § 33 StrlSchV festgelegt. Den Aufbau der Strahlenschutzorganisation zeigt beispielhaft das folgende Diagramm:



Beispiel für den Aufbau einer Strahlenschutzorganisation

## Strahlenschutzverordnung

Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001:

Die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) ist eine auf der Grundlage des Atomgesetzes erlassene Rechtsverordnung. Sie hat das Ziel, den im Atomgesetz verankerten Schutz von Mensch und Umwelt vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung für den Bereich von →**Tätigkeiten** und →**Arbeiten** durch detaillierte Vorgaben zu er-



reichen. Sie ist in dieser Hinsicht im Zusammenhang mit anderen Rechtsverordnungen, insbesondere der →[Röntgenverordnung](#) zu sehen (→[Strahlenschutzregeln](#)).

Kernpunkt der Strahlenschutzverordnung sind die Grundsätze,

- die Anwendung und Erzeugung ionisierender Strahlung zu rechtfertigen,
- die Strahlenexpositionen durch ionisierende Strahlung zu begrenzen,
- jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt zu vermeiden und
- jede nicht vermeidbare Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der festgesetzten Grenzwerte so gering wie möglich zu halten.

Mit der neu gefassten Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001, zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung zur Änderung strahlenschutzrechtlicher Verordnungen vom 4.10.2011, werden Euratom-Richtlinien zum Strahlenschutz in deutsches Recht umgesetzt. Unter Einführung der neuen →[Dosisgrenzwerte](#) behält sie im Wesentlichen die zuvor gültigen Regelungen der Strahlenschutzverordnung, die dem Schutz des Menschen und der Umwelt dienen, bei. Neu aufgenommen wurden die Regelungen über die Berücksichtigung von Expositionen durch natürliche Strahlungsquellen. Zum Schutz der Bevölkerung vor Strahlenexpositionen aus zielgerichteter Nutzung wird der Grenzwert auf 1 mSv im Kalenderjahr abgesenkt; bei natürlichen Strahlungsquellen ist dieser Dosiswert als Richtwert ausgestaltet. Der Grenzwert zum Schutz der beruflich strahlenexponierten Personen beträgt 20 mSv im Kalenderjahr.

## **Strahlenschutzvorkehrungen**

Der Begriff ist in der DIN 6814-5 (→[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)) definiert als Maßnahmen oder Vorrichtungen, die dazu dienen, die Strahlenexpositionen von Personen oder die Kontamination von Gegenständen oder der Umwelt zu vermeiden oder zu vermindern.

## **Strahlenschutzvorkehrungen, Absperrungen**

Absperrungen im Strahlenschutz sollen den unbefugten, unkontrollierten oder unbeabsichtigten Zutritt zu Strahlenschutzbereichen oder zu besonderen Schutzzonen innerhalb von Strahlenschutzbereichen verhindern. Dazu gehören z.B.

- Schalter zum Abschalten der Strahlung oder zum Betätigen der Abschirmvorrichtungen an Geräten oder Einrichtungen
- Verriegelungen zum Verhindern des unbeabsichtigten Einschaltens einer Strahlenquelle
- Warnvorrichtungen (optische oder akustische Signale), die bei bestimmten Betriebszuständen automatisch ausgelöst werden
- Warnzeichen und Warnschilder zur Kennzeichnung der Grenze eines Strahlenschutzbereiches oder einer besonderen Schutzzone (z.B. Kontaminationsschutzzone)
- Schutzketten (rot/weiß) zur Abgrenzung eines besonders geschützten Bereichs
- Hürden an der Grenze von Kontaminationsschutzzonen

- Drehsperrern am Zugang zu Strahlenschutzbereichen, die z.B. nur nach Legitimation durch einen besonderen Ausweis den Zugang freigeben

## **Strahlenschutzvorkehrungen, bautechnische**

Bautechnischen Strahlenschutzvorkehrungen sind Einrichtungen, die durch entsprechende Auslegung und Ausgestaltung von Gebäuden zu Strahlenschutz Zwecken vorgenommen werden. Dazu gehören

- Abschirmwände und -decken (in der Regel aus Beton)
- Bewegliche Abschirmwände oder Decken (Deckenriegel), die in der Regel aus Beton oder Stahl bestehen
- Abschirmtüren (häufig Stahltüren mit innen eingehängten Bleiplatten)
- Abschirmfenster (Bleiglas oder Spezialglas)
- Ortsfeste Abschirmtresore
- Heiße Zellen mit Abschirmfenster und Bedienungsmöglichkeiten von außen
- Strahlenschutzlabyrinth (an den Zugängen zu Räumen mit hoher Ortsdosisleistung und bei Wanddurchführungen)
- Strahlenschutz tische für das Arbeiten mit radioaktiven Stoffen
- Abzüge für das Arbeiten mit offenen radioaktiven Stoffen
- Strahlenschutzschleusen (Personen- und Materialschleusen)
- Leicht dekontaminierbare Oberflächen in Räumen und an Arbeitsgeräten
- Bodenwannen in Behälteraufstellungs räumen
- Bautechnische Raumentwässerungs- und Sammeleinrichtungen (Bodensümpfe)
- Dekontaminationsräume mit Bedienungsmöglichkeit von außen

## **Strahlenschutzvorkehrungen, systemtechnische**

Systemtechnische Strahlenschutzvorkehrungen dienen vornehmlich der Vermeidung von Kontaminationsausbreitung und dem Strahlenschutz durch Abstandhaltung und Aufenthaltszeitbegrenzung im Strahlenfeld. Dazu gehören z.B.

- Sammelanlagen für Abwasser und Abfälle
- Abfallbehandlungseinrichtungen (Pressen, Verpackungsanlagen, Trocknungseinrichtungen etc.)
- Abklinganlagen für kurzlebige radioaktive Abfälle
- Lüftungsanlagen mit Filtereinrichtungen
- Verzögerungsstrecken (Aktivkohlebetten) für Abgasanlagen
- Örtliche Absaugungen an Arbeitsplätzen
- Instandhaltungsarme Konstruktion von Systemkomponenten
- Restentleerbare Konstruktion von Behältern für radioaktive Flüssigkeiten
- Bedienungsfreundliche Konstruktion von Systemkomponenten
- Vorkehrungen für automatisierte Prüfeinrichtungen an wiederkehrend zu prüfenden Komponenten mit hoher Ortsdosisleistung

- Überwachungseinrichtungen zur Kontrolle von Aktivität und Ortsdosisleistung in Systemen
- Manipulatoren zur fernbedienten Prüfung von Systemkomponenten und zur fernbedienten Instandhaltung
- Manipulatoren zur fernbedienten Dekontamination

## **Strahlenschutzvorkehrungen ärztlicher Art**

Zu den Strahlenschutzvorkehrungen im Rahmen der ärztlichen Arbeit gehören nach DIN 6814-5 (→[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

- das Prüfen, ob eine Indikation zur Untersuchung oder Behandlung vorliegt
- die Wahl des Bestrahlungs- oder Behandlungsverfahrens
- die Wahl der Untersuchungs- oder Behandlungsart (auch ohne ionisierende Strahlung) einschließlich der technischen Parameter der Bestrahlungseinrichtung
- der fachgerechte Einsatz des Strahlenschutzzubehörs

## **Strahlenschutzvorrichtungen an Bestrahlungseinrichtungen mit abschaltbaren Strahlenquellen**

Zu den Strahlenschutzvorrichtungen an Einrichtungen und Geräten mit abschaltbaren Strahlenquellen gehören nach DIN 6814-5 (→[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

- Strahlenschutzgehäuse für Röntgenröhren, Gammastrahlenquellen und Beschleunigungsröhren von Teilchenbeschleunigern
- Blenden, Tubusse und Verschlussvorrichtungen zum Einblenden oder Abdecken des Nutzstrahlenbündels und zum Abschirmen von Störstrahlung
- Abstandshalter, die eine unzulässige Annäherung an die Strahlenquelle verhindern
- Filter, Filteranzeigen und Filtersicherungen
- Zeit und Dosis begrenzende sowie Zeit und Dosis anzeigende Vorrichtungen
- Vorrichtungen zur Anzeige des Betriebszustandes
- Schalter zum Abschalten der Strahlung oder Betätigen der Abschirmvorrichtungen für die Strahlung und für Verriegelungen, um ein unbeabsichtigtes Einschalten oder eine unbeabsichtigte Freigabe der Strahlung zu verhindern
- Sicherheits- und Schutzschaltungen, die bei Funktionsstörungen Abschaltungen oder Alarm auslösen
- Blockierungen zur Beschränkung der Bewegungsmöglichkeit des Strahlerkopfes oder Begrenzen der möglichen Betriebsarten
- Abschirmglasscheiben oder sonstige an den Geräten angebrachte Abschirmungen und Schutzvorhänge

## **Strahlenschutzvorrichtungen für die Anwendung radioaktiver Stoffe**

Nach DIN 6814-5 (→[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)) gehören zu den Strahlenschutzvorrichtungen bei der Anwendung radioaktiver Stoffe

- Hüllen und Kapseln von umschlossenen radioaktiven Stoffen
- Abstandshalter, die eine unzulässige Annäherung an die Strahlenquelle verhindern
- Schutzgehäuse und Schutzbehälter zum Abschirmen einer radioaktiven Strahlungsquelle
- Anzeigevorrichtungen für die Ruhe- und Arbeitsstellung der Strahlungsquelle (innerhalb oder außerhalb des Schutzgehäuses)
- Lagerbehälter (bei Bedarf mit Abschirmwirkung)

## **Strahlenschutzvorsorgegesetz**

Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung durch Strahlenbelastung (Strahlenschutzvorsorgegesetz - StrVG) vom 19. Dezember 1986, zuletzt geändert 2006 (BGBl. I Nr.50 S. 2407 ff vom 7.11.2006)

Die Auswirkungen des Reaktorunfalls von Tschernobyl haben gezeigt, dass die zu der Zeit in der Bundesrepublik Deutschland geltenden Gesetze und Verordnungen auf dem Gebiet des Strahlenschutzes nur unzureichende administrative Regelungen für den Fall eines kerntechnischen Unfalles im Ausland mit Auswirkungen auf das Gebiet der Bundesrepublik enthielten. Das Strahlenschutzvorsorgegesetz regelt die Zuständigkeiten von Bund und Ländern für die Durchführung von Messungen, die Bewertung der Messdaten und die Anordnungen zu Beschränkungen und Verboten beim Verkauf von Lebensmitteln und sonstigen Stoffen.

## **Strahlenschutzvorsorgeplan**

Gebäudeplan, der insbesondere bei der Planung kerntechnischer Einrichtungen erstellt wird und der für den Strahlenschutz wesentliche Eintragungen enthält; dazu gehören

- Grenzen von Strahlenschutzbereichen
- Abschirmwandstärken
- Angaben zur Belastbarkeit von Decken (um die Aufstellung möglicher Zusatzabschirmungen bewerten zu können)
- Anordnung der größeren Komponenten in den Räumen
- Anordnung der Überwachungseinrichtungen (Drehkreuze, Ausgangsmonitoren etc.)
- Aufteilung des Hygienetrakts

## **Strahlenschutzzubehör**

→[Strahlenschutzhilfsmittel](#)

## **Strahlentherapie**

Strahlenbehandlung in der Medizin zur Bekämpfung einer Krankheit; im engeren Sinne wird darunter jede Behandlung von Menschen mit ionisierenden Strahlungen verstanden. Viele Strahlenbehandlungen werden bei Krebserkrankungen durchgeführt.

## Strahlenwarnzeichen

→Strahlenzeichen

### Strahlenwirkung bei hoher Ganzkörperbestrahlung

Zu erwartende Wirkungen bei einer kurzzeitigen Ganzkörperbestrahlung sind:

- bis 0,5 Gy: keine nachweisbare Wirkung außer geringfügigen Blutbildveränderungen
- 0,5 bis 1 Gy: bei 5 bis 10 % der Exponierten etwa einen Tag lang Erbrechen, Übelkeit und Müdigkeit
- 1 bis 1,5 Gy: bei etwa 25 % der Exponierten etwa einen Tag lang Erbrechen und Übelkeit, gefolgt von anderen Symptomen der Strahlenkrankheit; keine Todesfälle zu erwarten
- 1,5 bis 2,5 Gy: bei etwa 25 % der Exponierten etwa einen Tag lang Erbrechen und Nausea (Übelkeit, Brechreiz), gefolgt von anderen Symptomen der Strahlenkrankheit; einzelne Todesfälle möglich
- 2,5 bis 3,5 Gy: bei fast allen Exponierten Erbrechen und Nausea am ersten Tag, gefolgt von anderen Symptomen der Strahlenkrankheit; etwa 20 % Todesfälle innerhalb von 2 bis 6 Wochen nach Exposition; etwa 3 Monate lange Rekonvaleszenz der Überlebenden
- 3,5 bis 5 Gy: bei allen Exponierten Erbrechen und Nausea am ersten Tag, gefolgt von anderen Symptomen der Strahlenkrankheit; etwa 50 % Todesfälle innerhalb eines Monats; etwa 6 Monate lange Rekonvaleszenz der Überlebenden
- 5 bis 7,5 Gy: bei allen Exponierten Erbrechen und Nausea innerhalb 4 Stunden nach Exposition, gefolgt von anderen Symptomen der Strahlenkrankheit. Bis zu 100 % Todesfälle; wenige Überlebende mit Rekonvaleszenzzeiten von etwa 6 Monaten
- 10 Gy: bei allen Exponierten Erbrechen und Nausea innerhalb 1 bis 2 Stunden; wahrscheinlich keine Überlebenden
- 50 Gy: fast augenblicklich einsetzende schwerste Krankheit; Tod aller Exponierten innerhalb einer Woche.

### Strahlenwirkung, stochastische

→Stochastische Strahlenwirkung

### Strahlenzeichen

Das Strahlenzeichen (oder Strahlenwarnzeichen) ist in Anlage IX StrlSchV festgelegt. Es zeigt ein schwarzes Flügelrad auf gelbem Grund.



Beispiel für ein Warnschild mit Strahlenzeichen

## Strahlung

Energieausbreitung durch Materie oder den freien Raum. In der Atomphysik ist dieser Begriff auch auf schnell bewegte Teilchen ausgedehnt worden (Alpha- und Betastrahlung, freie Neutronen usw.).

## Strahlung, ionisierende

→[Ionisierende Strahlung](#)

## Strahlung, charakteristische

Beim Übergang eines Elektrons der Hülle auf eine weiter innen gelegene Schale wird von einem Atom elektromagnetische Strahlung emittiert. Die Energie der Strahlung und damit seine Wellenlänge ist abhängig von der Energiedifferenz des Anfangs- und Endzustands des Elektrons, das ist im Wesentlichen der Energieunterschied der Schalen. Diese Energieunterschiede sind charakteristisch für das Element.

## Strahlung, nicht ionisierende

Die nicht ionisierende Strahlung ist diejenige elektromagnetische Strahlung, deren Quantenenergie nicht ausreicht, um ein Atom zu ionisieren. Ihr Spektrum umfasst die elektromagnetischen Felder im Frequenzbereich von 0 Hz - 300 GHz oder einer Wellenlänge von unendlich bis 1 mm und die optische Strahlung mit einer Wellenlänge von 1 mm bis 10 nm.

## Strahlung aktivierter Nuklide

Begriff aus der Bestrahlungstechnik; nach DIN 6814-2 (→[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)) wird so die radioaktive Strahlung bezeichnet, die von aktivierter Materie (in der Regel nach Aktivierung durch die →[Primärstrahlung](#)) emittiert wird.

## Strahlung geringer Eindringtiefe

Strahlung, bei der die Überwachung der Körperdosen durch externe Strahlenexposition auf die Hautdosis beschränkt werden kann (z.B. Alphastrahlung).

## Strahlungsdetektor

Gerät oder Material, in dem Strahlung Vorgänge auslöst, die zum Nachweis oder zur Messung der Strahlung geeignet sind. →[Dosimeter](#), →[Geiger-Müller-Zählrohr](#), →[Proportionalzählrohr](#), →[Szintillationszähler](#)

## Strahlungsenergie

Begriff aus der Strahlungsphysik; unter Strahlungsenergie  $R$  wird die Summe aller Teilchenenergien der Strahlung verstanden, die emittiert, übertragen oder absorbiert werden. Mit „übertragen“ werden dabei z.B. Prozesse wie Streuung oder Erzeugung von Sekundärteilchen verstanden. Die Strahlungsenergie ist somit von der Teilchenenergie zu unterscheiden, welche die Energie der einzelnen Teilchen der Strahlung bezeichnet. (s. auch DIN 6814.2 →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Strahlungsfeld

Verteilung von Strahlungsteilchen im Raum; die Strahlungsteilchen können massebehaftete Teilchen (z.B. Alphateilchen, Betateilchen) oder masselose Energiequanten (z.B. Photonen) sein. Das Strahlungsfeld wird durch die Teilchenzusammensetzung, die räumliche Verteilung der Strahlungsteilchen und deren Energien bestimmt. Wichtige Parameter sind z.B. die →[Teilchenflussdichte](#) und die →[Teilchenfluenz](#).

Speziell in der Bestrahlungstechnik wird das Strahlungsfeld eingenger definiert und mit dem Begriff →[Strahlenfeld](#) bezeichnet (DIN 6814-2 →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Strahlungshärte

Klassifizierung einer Photonenstrahlung im Hinblick auf ihr Durchdringungsvermögen bzw. auf ihre Schwächung beim Durchgang durch Materie; man unterscheidet, weiche, harte und ultraharte Photonenstrahlung (s. auch DIN 6814-2 →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)):

*Weiche Photonenstrahlung:*

Röntgenstrahlung mit einer Erzeugungsspannung bis 100 kV und Gammastrahlung mit einer Maximalenergie bis 50 keV. Bei Röntgenstrahlung wird auch von weicher Röntgenstrahlung gesprochen.

*Harte Photonenstrahlung:*

Röntgenstrahlung mit einer Erzeugungsspannung > 100 kV bis 1 MV und Gammastrahlung mit einer Maximalenergie zwischen 50 keV und 500 keV.

*Ultraharte Photonenstrahlung*

Röntgenstrahlung mit einem Nennwert der Erzeugungsspannung über 1 MV und Gammastrahlung mit einer Maximalenergie von über 500 keV.

## Strahlungsquelle

Eine Strahlungsquelle ist der allgemeine Ausdruck für ein Gerät oder Material, das ionisierende Strahlen emittiert oder emittieren kann. Dabei können die Strahlen aus massebehafteten Teilchen bestehen oder masselos sein (z.B. Photonen)

## Strahlungs-Wichtungsfaktoren

Die Wahrscheinlichkeit stochastischer Strahlenwirkungen ist nicht nur von der Energiedosis abhängig, sondern auch von der Art und Energie der Strahlung, welche die Dosis verursacht. Dies wird durch die Wichtung der Energiedosis mit einem Faktor



berücksichtigt, der sich auf die Strahlenqualität bezieht. In der Vergangenheit wurde hierzu von der Internationalen Strahlenschutzkommission der →**Qualitätsfaktor** Q verwendet, der die Beziehung zwischen der Energiedosis und der Punktgröße Ortsdosis herstellt ( $H = Q \cdot D$ ). Die nun empfohlenen Strahlungs-Wichtungsfaktoren  $w_R$  verknüpfen die Energiedosis mit der Mittelwertgröße Organdosis:  $H_{T,R} = w_R \cdot D_{T,R}$ .

Für Photonen- und Elektronenstrahlung hat der Strahlungs-Wichtungsfaktor unabhängig von der Energie der Strahlung den Wert 1, für Alpha-Strahlung den Wert 20. Für Neutronenstrahlung ist der Wert energieabhängig und beträgt zwischen 5 und 20.

Strahlenart und -energie	Strahlen-Wichtungsfaktor $w_R$
Photonen, aller Energien	1
Elektronen, Myonen, alle Energien	1
Neutronen	
< 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 > 2 MeV	5
Alphateilchen, Spaltfragmente, schwere Kerne	20

Strahlungs-Wichtungsfaktor  $w_R$  nach Strahlenschutzverordnung (SSV01)

Der Strahlungs-Wichtungsfaktor für Neutronen kann in Abhängigkeit von der Neutronenenergie E (in MeV) aus folgender Gleichung ermittelt werden:

$$w_R = 5 + 17e^{-(\ln 2E)^2 / 6} \quad ; \text{ Neutronenenergie E in MeV}$$

Der Strahlungswichtungsfaktor stellt eine grobe Mittelungsgröße über die experimentell ermittelten →**relativen biologischen Wirksamkeiten** (RBW) dar, die im Wesentlichen aus Tierversuchen stammen. Er ist für den Zweck der Grenzwertsetzung geeignet, soll jedoch für konkrete Risikoabschätzungen nicht verwendet werden. Hierzu sind für den Einzelfall gezielt ausgewählte RBW-Werte anzuwenden.

## Streustrahlung

Bei Photonenstrahlung setzt sich die Streustrahlung aus den Photonen zusammen, die durch den Compton-Effekt Energie verloren und eine Richtungsänderung erfahren haben. Das Streustrahlungsfeld einer monoenergetischen Photonenstrahlung weist eine kontinuierliche Energieverteilung auf. Eine besondere Form der Streustrahlung ist die Rayleigh-Streuung, die bei niedrigen Photonenenergien auftritt und bei der die Photonen ohne Energieverlust gestreut werden. Diese Form der Streuung wird auch als →**kohärente Streuung** bezeichnet.

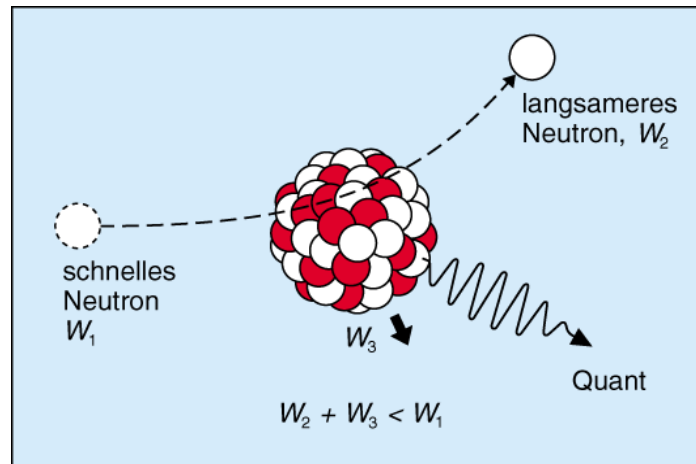
Bei Korpuskularstrahlung sind die gestreuten Teilchen von der gleichen Art wie die Primärstrahlung, sie weisen jedoch eine anderen Energie- und Richtungsverteilung auf. Wenn die Summe der kinetischen Energien vor und nach der Streuung gleich bleibt, spricht man von elastischer Streuung, ändert sie sich, von unelastischer (oder inelastischer) Streuung.

## Streuung

Vorgang, bei dem eine Änderung der Richtung oder Energie eines einfallenden Teilchens oder Quants durch Stoß mit einem anderen Teilchen oder Teilchensystem verursacht wird.

### Streuung, unelastische

Streuvorgang, bei dem die Summe der kinetischen Energie vor und nach dem Stoß verschieden ist.



Unelastische Streuung eines Neutrons

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## StrISchV

Abk. für → [Strahlenschutzverordnung](#)

## StrRV

Abk. für → [Strahlenschutzregisterverordnung](#)

## StrVG

Abk. für → [Strahlenschutzvorsorgegesetz](#)

## Stuhlprobe

Stuhlproben werden zum Nachweis inkorporierter radioaktiver Stoffe analysiert, wenn alternative Verfahren (Direktmessung, Urinproben) nicht eingesetzt werden können. Dies ist insbesondere zum Nachweis von Radionukliden der Fall, die keine Gammastrahlung emittieren und nicht in ausreichendem Umfang über den Urin ausgeschieden werden. Ein Beispiel ist das Nuklid Am-214, welches insbesondere beim Rück-

bau kerntechnischer Anlagen als Schlüsselnuklid für Alphastrahler von Bedeutung ist. Eine Stuhlprobe sollte die Ausscheidung eines ganzen Tages umfassen.

Bei der Auswertung der Stuhlproben muss neben der im Stuhl ermittelten Aktivität der Inkorporationszeitpunkt berücksichtigt werden, da der Anteil der Ausscheidung zeitabhängig ist und durch nuklidabhängige Retentionsfunktionen beschrieben wird. Ist der Zeitpunkt unbekannt, kann über mehrere Stuhlproben (in der Regel 3), die im zeitlichen Abstand von ein bis zwei Tagen genommen werden, auf den Inkorporationszeitpunkt geschlossen werden.

## Submersion

Submersion ist im Strahlenschutz die äußere Strahlenexposition von Personen aus einem aktivitätshaltigen Halbraum heraus (z.B. aus aktivitätsführender Luft bei Aufenthalt auf dem Boden). Im Gegensatz dazu wird bei der Exposition aus allen Richtungen (z.B. beim Fliegen in aktivitätsführender Luft oder Tauchen in aktivitätsführendem Wasser) von Immersion gesprochen. Die infolge Submersion erhaltene Dosis heißt Submersionsdosis, die Submersionsdosis je Zeiteinheit heißt Submersionsdosisleistung.

Die Submersionsdosisleistung  $\dot{H}_S$  aus einem unendlich ausgedehnten Halbraum mit der Aktivitätskonzentration  $a_V$  lässt sich mit Hilfe des Dosisleistungskoeffizienten für Submersion  $g_S$  berechnen:

$$\dot{H}_S = g_S \times a_V$$

Die Dosisleistungskoeffizienten für den unendlichen Halbraum sind tabelliert. Einige Beispiele für Luft zeigt die folgende Tabelle:

Nuklid	Dosisleistungskoeffizient für den unendlichen Halbraum in Sv h <sup>-1</sup> / Bq m <sup>-3</sup>	
	Effektive Dosis	Hautdosis
Co-60	4,54 10 <sup>-10</sup>	5,22 10 <sup>-10</sup>
Sr-90+	7,11 10 <sup>-13</sup>	2,58 10 <sup>-10</sup>
Ag-110m	4,9 10 <sup>-10</sup>	5,65 10 <sup>-10</sup>
I-131	6,55 10 <sup>-11</sup>	1,07 10 <sup>-10</sup>
Cs-137+	9,81 10 <sup>-11</sup>	1,58 10 <sup>-10</sup>

Die Werte der Tabelle beziehen sich noch auf die effektive Äquivalentdosis aus ICRP26

Quelle: VOG04

Die Annahme eines unendlich ausgedehnten Halbraums ist für praktische Strahlenschutz Zwecke hinreichend genau, wenn der Radius einer in den Raum einbeschriebenen Halbkugel größer ist als die Reichweite der Betastrahlung oder größer als 5 Halbwertschichtdicken bei Gammastrahlung.

Die Submersion durch mit der Fortluft abgeleitete radioaktive Stoffe in der Umgebung von Kerntechnischen Anlagen ist für die Bevölkerung ein wesentlicher Expositionspfad, der im Rahmen von Genehmigungsverfahren für den Normalbetrieb und für Störfälle betrachtet und bewertet wird.

## Submersionsdosis

→[Submersion](#)

## Summationseffekt

Begriff aus der Spektrometrie; wenn zwei Strahlungsteilchen ihre Energie gleichzeitig oder nahezu gleichzeitig in einem Detektor abgeben, werden die im Detektor erzeugten Ladungsträger in Summe registriert und somit ein Strahlungsteilchen mit der Summe der Energien vorgetäuscht (Summenpeak). Summationseffekte sind wahrscheinlich, wenn hohe Teilchenflussdichten vorliegen (zufällige Koinzidenzen) oder bei Aktivitätsmessungen an radioaktiven Stoffen, die zwei oder mehrere Gammaquanten nahezu gleichzeitig emittieren (z.B. Co-60). Die Wahrscheinlichkeit für Summationseffekte kann durch Verringerung der Flussdichte am Detektorort gesenkt werden, z.B. durch Vergrößerung des Abstandes Messprobe-Detektor bei der Aktivitätsmessung.

## Summenpeak

→[Summationseffekt](#)

## SUR-100

Abk. für **Siemens-Unterrichts-Reaktor**; ein zu Unterrichtszwecken von Siemens gebauter Reaktortyp mit einer Dauerleistung von 100 Milliwatt. Der SUR-100 ist ein homogener Reaktor; die Spaltzone besteht aus einer Mischung von auf 20% angereichertem Uran mit Polyäthylen. →[Forschungsreaktoren](#).

## Sv

Kurzzeichen für die SI-Maßeinheit →[Sievert](#)

## SVA

Abk. für **Schweizerische Vereinigung für Atomenergie**; das Atomforum der Schweiz.

## SWR

Abk. für →[Siedewasserreaktor](#)

## Synchrotron

Beschleuniger, bei dem Teilchen auf einer Kreisbahn mit festem Radius umlaufen; die Beschleunigung erfolgt durch elektrische Felder, die Führung auf der Kreisbahn durch Magnetfelder. Das magnetische Führungsfeld wird durch zahlreiche, längs der Kreisbahn verteilte Elektromagnete erzeugt, und die Beschleunigung erfolgt zwischen diesen Magneten in speziellen Beschleunigungsstrecken. Die Änderungen der elektrischen Beschleunigungsfelder und der Magnetfelder müssen synchron aufeinander abgestimmt werden. Die Bahndurchmesser können mehrere km betragen und es werden Energien von 10 GeV für Elektronen und 100 GeV für Protonen erreicht.

Die Kreisbahn des DESY-Synchrotrons HERA in Hamburg hat eine Länge von 6,3 km. Je größer der Durchmesser des Synchrotrons ist, desto größere Teilchenenergien können erreicht werden.

## Synchrotronstrahlung

Geladene Teilchen, die sich auf Kreisbahnen bewegen (z.B. in einem Synchrotron) erfahren ständig eine Radialbeschleunigung, die sie auf der Kreisbahn hält. Aufgrund dieser Beschleunigung strahlen sie Energie ab (Photonenstrahlung), die als Synchrotronstrahlung bezeichnet wird.

## Synchrozyklotron

→[Zyklotron](#), bei dem die Frequenz der Beschleunigungsspannung mit der Zeit so abnimmt, dass sie sich den Umläufen der beschleunigten Teilchen genau anpasst. Die Abnahme der Beschleunigung der Teilchen ergibt sich aus der Massenzunahme mit der Energie, wie sie die spezielle Relativitätstheorie beschreibt. Teilchenenergien bis 700 MeV sind erreichbar.

## Systematischer Messfehler

Ein systematischer Messfehler kann, im Gegensatz zum statistischen Messfehler, nicht durch häufigere Messungen oder längere Messzeiten reduziert werden. Die Messwerte sind nicht um einen wahrscheinlichen oder mittleren Wert verteilt. Der systematische Messfehler wird durch Einflussgrößen verursacht, die direkt eine Veränderung des Messwertes bewirken und in der Regel in eine von der Einflussgröße abhängige Richtung gehen. Beispiele sind die Verwendung einer falschen Kalibrierung oder die Veränderung von Umgebungsbedingungen wie Temperatur oder Luftfeuchte bei der Messung. Systematische Fehler können grundsätzlich vermieden oder vernachlässigbar klein gehalten werden.

## Szintillation

Durch ionisierende Strahlung werden in einem geeigneten Material Photonen erzeugt, die als Lichtblitze erkennbar sind. Das Auftreten dieser Lichtblitze nennt man Szintillation.

## Szintillationszähler

Nachweisgerät für ionisierende Strahlung durch Registrierung der Lichtblitze (Szintillationen), die durch die Strahlung in bestimmten Materialien, den Szintillatoren, erzeugt werden. Zum Nachweis wird das Szintillationslicht über Lichtleiter auf eine Photoelektrode geleitet, an der Elektronen freigesetzt werden, die über einen →[Photoelektronenvervielfacher](#) (Photomultiplier) vervielfacht und in ein elektrisches Signal umgesetzt werden. Bei linearem Zusammenhang zwischen Lichtausbeute und Teilchenenergie können die elektrischen Impulse nach Impulshöhen sortiert und so Energiespektren aufgenommen werden. Dies ist inzwischen schon mit handlichen, tragbaren Geräten möglich.

Szintillationszähler werden auch als besonders empfindliche Dosis- und Dosisleistungsmessgeräte verwendet. Sie kommen daher z.B. als ortsfeste Messgeräte bei der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen zum Einsatz.

Beim Einsatz von Szintillationszählern muss berücksichtigt werden, dass auch thermische Effekte Elektronen aus den Photoelektroden freisetzen können. Dies erzeugt einen Nulleffekt, der durch eine geeignete Diskriminatorschwelle unterdrückt werden muss.

## **Szintillator**

Substanz, bei der durch auftreffende ionisierende Strahlung Lichtblitze erzeugt werden (Fluoreszenz). Zum Nachweis für Gammastrahlung eignen sich besonders NaI(Tl)-Einkristalle, für Betastrahlung ist Anthrazen oder das in Toluol gelöste Diphenyloxazol geeignet. ZnS(Ag) ist ein günstiger Szintillator zum Nachweis von Alphastrahlung.

Besonders geeignet sind Szintillatoren, die neben einer hohen Lichtausbeute je Energie des Strahlungsteilchens auch einen linearen Zusammenhang zwischen der Lichtausbeute und der Energie des einfallenden Strahlungsteilchens aufweisen. Anorganische Szintillatoren besitzen eine geringere Abweichung von der Linearität als organische.

Anorganische Szintillatoren haben ein besseres Energieauflösungsvermögen als organische, aber eine länger andauernde Lichtemission. Die Abklingzeit ist definiert als die Zeit, in der die Lichtintensität auf  $1/e$  abfällt. Sie ist bei organischen Szintillatoren deutlich kürzer (s. Tabelle), so dass höhere Impulsraten verarbeitet werden können.

Bei einigen Szintillatoren setzt sich das Szintillatorlicht aus mehreren Komponenten mit unterschiedlichen Abklingzeiten zusammen. Die einzelnen Komponenten hängen zudem oft vom linearen Energieübertragungsvermögen der einfallenden Strahlung ab. Durch Analyse der Impulsform und -höhe kann in solchen Fällen eine Trennung nach Strahlenarten in gemischten Strahlenfeldern durchgeführt werden (Impulsformdiskriminierung).

Die folgende Tabelle zeigt die Eigenschaften einiger gebräuchlicher Szintillatoren:

<b>Organische Szintillatoren</b>		Lichtausbeute* Photonen/ MeV	Abklingzeit Ns	Anwendungsbereich
Antracen	kr	17.000	30	n-Spektrometrie
p-Terphenyl	kr	8.500	5	β
BC404/EJ204	pl	10.400	1,8	α, β, γ < 100 keV
<b>Anorganische Szintillatoren</b>				
NaI (TI)	kr	38.000	230	γ
CsI (TI)	kr	65.000	680; 3.340	γ, lfd
ZnS (Ag)	pkR		200	α

Eigenschaften gebräuchlicher Szintillatoren (aus VOG04);

\* für auftreffende Elektronen,

kr kristallin, pkr polykristallin, pl Plastik, lfd Impulsformdiskriminierung



# T

## Tail-End

Der letzte Verfahrensabschnitt der Wiederaufarbeitung zur Herstellung der an die Brennelementhersteller abzugebenden Endprodukte; Endprodukte sind eine konzentrierte Uranylnitratlösung sowie eine konzentrierte Plutoniumnitratlösung.

## Tailing

Fachbezeichnung für die Reststoffe oder Abfälle, die am Ende der Behandlung oder Gewinnung eines radioaktiven Stoffen anfallen und beseitigt werden müssen (von engl. tail = Schwanz); Beispiele sind die Reststoffe bei der Uranerzverarbeitung zu Uran oder die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (→[Tail-End](#)).

## Tandem-Beschleuniger

Spezielle Bauart eines →[Van-de-Graaff-Beschleunigers](#); es werden z. B. negative H-Ionen beschleunigt, durch Wechselwirkung mit Materie umgeladen (Abstreifen der Elektronen) und die Protonen (positive H-Ionen) durch nochmaliges Durchlaufen der gleichen Potentialdifferenz weiter beschleunigt.

## Target

Materiestück, auf das man Strahlung auftreffen lässt, um in dieser Materie Kernumwandlungen hervorzurufen; der Begriff wird vorzugsweise im Zusammenhang mit Beschleunigern verwendet.

In der medizinischen Bestrahlungstechnik ist das Target ein Teil der Röntgenröhre oder des Teilchenbeschleunigers, auf das die beschleunigten Teilchen gerichtet werden, um die zu nutzende Strahlung zu erzeugen.

## Targetsystem

Gruppe von Bauteilen einer Röntgenröhre oder eines Teilchenbeschleunigers, welche neben dem →[Target](#) weitere konstruktive Elemente, z.B. bei Teilchenbeschleunigern das Vakuumfenster oder einen Elektronenfänger, umfasst; das Targetsystem wird neben dem Target selbst als Quelle der Primärstrahlung betrachtet. (Def. DIN 6814-2 →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Tastverhältnis

Das Tastverhältnis beschreibt das Verhältnis zwischen der Pulsdauer  $t_s$  und der Zeit  $t_w$  zwischen zwei aufeinander folgenden Impulsen in einem gepulsten Strahlenfeld:

$$\text{Tastverhältnis} = t_s / t_w .$$

## Tätigkeit

Nach § 3 Abs.1 Nr. 1 StrlSchV sind Tätigkeiten:

- der Betrieb von Anlagen zur Erzeugung von ionisierenden Strahlen,
- der Zusatz von radioaktiven Stoffen bei der Herstellung bestimmter Produkte oder die Aktivierung dieser Produkte,
- sonstige Handlungen, die die Strahlenexposition oder Kontamination erhöhen können,
  - weil sie mit künstlich erzeugten radioaktiven Stoffen erfolgen oder
  - weil sie mit natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen erfolgen, und diese Handlungen aufgrund der Radioaktivität dieser Stoffe oder zur Nutzung dieser Stoffe als Kernbrennstoff oder zur Erzeugung von Kernbrennstoff durchgeführt werden.

Die Strahlenschutzverordnung grenzt damit Tätigkeiten, die grundsätzlich einer Genehmigung bedürfen, von [→Arbeiten](#) ab, bei denen aufgrund erhöhter natürlicher Radioaktivität Schutz- und Überwachungsmaßnahmen ergriffen werden müssen und die anzeigepflichtig sind (§ 3 Abs.1 Nr.2 StrlSchV).

Tätigkeiten müssen, da sie mit Strahlenexpositionen verbunden sind, gerechtfertigt sein. Nicht gerechtfertigte Tätigkeiten sind in der Anlage XVI der StrlSchV aufgeführt ([→Rechtfertigungsgebot](#)).

Im Regelungsbereich der Röntgenverordnung ist die Tätigkeit definiert als Betrieb, Prüfung, Erprobung, Wartung oder Instandsetzung von Röntgeneinrichtungen oder Störstrahlern (§ 2 Nr.23 RöV).

## Tauchzählrohr

Zählrohr zur Aktivitätsmessung in Flüssigkeiten; der Detektor wird in die zu messende Flüssigkeit eingetaucht. Zur Gammamessung werden in der Regel Szintillationszähler verwendet. Reine Betastrahlung wird häufig mit dünnwandigen Beta-Zählrohren nachgewiesen. (VOG04)

## TBP

Abk. für [→Tributylphosphat](#)

## TDCR-Methode

Verfahren zur automatischen Quenschkorrektur bei Messungen mit dem [→Flüssigszintillationszähler](#).

## TEG

Abk. für **Teilerrichtungsgenehmigung** im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren

## Teilchenausbeute

Die Teilchenausbeute  $p$  bei einem radioaktiven Stoff gibt an, wieviel Teilchen der betrachteten Art je Zerfall vom radioaktiven Stoff emittiert werden. Für  $p_{\gamma} = 1$  wird z.B.

ein Gammaquant je Zerfall emittiert. Damit verknüpft z.B. die Teilchenausbeute  $p$  die Aktivität  $A$  eines radioaktiven Stoffes mit der Quellstärke  $Q$ :

$$Q = p \cdot A$$

## Teilchenbeschleuniger

→Beschleuniger

## Teilchenfluenz

Begriff zur Beschreibung eines Strahlungsfeldes; die Teilchenfluenz  $\Phi$  ist das Integral der →Teilchenflussdichte  $\varphi$  über ein Zeitintervall. Damit ist die Teilchenfluenz die Summe aller Teilchen  $dN$ , die in dem betrachteten Zeitintervall in ein kugelförmiges Volumenelement der Querschnittsfläche  $dA$  eingetreten ist:

$$\Phi = \int \varphi dt = \frac{dN}{dA}$$

Die Maßeinheit der Teilchenfluenz ist  $1 / \text{cm}^2$ .

## Teilchenfluenz, spektrale

Begriff zur Beschreibung eines Strahlungsfeldes; unter spektraler Teilchenfluenz  $\Phi_E$  versteht man die Verteilung der →Teilchenfluenz auf die Energie der Teilchen:

$$\Phi_E = \frac{d\Phi(E)}{dE}$$

$d\Phi(E) \cdot dE$  ist damit die Teilchenfluenz aller Teilchen, deren Energie im Intervall zwischen  $E$  und  $E+dE$  liegt.

Die spektrale Teilchenfluenz ist selbst auch energieabhängig. Damit ergibt sich die Teilchenfluenz auch aus dem Integral der spektralen Teilchenfluenz über alle Teilchenenergien:

$$\Phi = \int d\Phi_E(E) dE$$

## Teilchenfluss

Begriff zur Beschreibung eines Strahlungsfeldes; der Teilchenfluss  $\Psi$  in einem kleinen Volumenelement ist definiert als die Änderung  $dN$  der Summe aller Teilchen der Strahlung mit der Zeit:

$$\Psi = \frac{dN}{dt}$$

Die Maßeinheit des Energieflusses ist  $1/\text{s}$ .

## Teilchenflussdichte

Begriff zur Beschreibung eines Strahlungsfeldes; die Teilchenflussdichte  $\varphi$  ist ein Maß für die Anzahl  $dN$  der Teilchen, die je Zeiteinheit in ein kugelförmiges Volumenelement der Querschnittsfläche  $dA$  eindringen, bezogen auf die Querschnittsfläche  $dA$ :

$$\varphi = \frac{d^2 N}{dt dA} = \frac{d\Psi}{dA}$$

Die Teilchenflussdichte ist die Ableitung der  $\rightarrow$  Teilchenfluenz nach der Zeit:  $\varphi = d\Phi/dt$ . Die Maßeinheit der Energieflussdichte ist  $1/\text{cm}^2 \text{ s}$ .

## Teilchenflussdichte, spektrale

Begriff zur Beschreibung eines Strahlungsfeldes; die spektrale Teilchenflussdichte  $\varphi_E$  beschreibt die Verteilung der Teilchenflussdichte  $\varphi$  auf die Energie  $E$  der Teilchen.

$$\varphi_E = \frac{d\varphi(E)}{dE}$$

Die spektrale Teilchenflussdichte ist selbst auch energieabhängig. Damit ergibt sich die Teilchenflussdichte  $\varphi$  auch aus dem Integral der spektralen Teilchenflussdichte über alle Teilchenenergien:

$$\varphi = \int d\varphi_E(E) dE$$

## Teilchenradianz

Begriff zur Beschreibung eines Strahlungsfeldes; die Teilchenradianz  $\varphi_\Omega$  beschreibt die Richtungsabhängigkeit der Teilchenflussdichte, d.h. ihre Abhängigkeit vom Raumwinkel  $\Omega$ , der durch die Winkel  $\delta$  und  $\alpha$  aufgespannt werden soll. Die Teilchenradianz ist definiert durch die Änderung der winkelabhängigen Teilchenflussdichte  $d\varphi$  mit dem Raumwinkel  $d\Omega$ :

$$\varphi_\Omega = \frac{d\varphi(\delta, \alpha)}{d\Omega}$$

Die Teilchenradianz ist selbst winkelabhängig. Die Teilchenflussdichte ergibt sich somit auch als Integral der richtungsabhängigen Teilchenradianz über den gesamten Raumwinkel  $4\pi$ .

$$\varphi = \int_{4\pi} \varphi_\Omega(\delta, \alpha) d\Omega$$

## Teilchenradianz, spektrale

Begriff zur Beschreibung eines Strahlungsfeldes; die spektrale Teilchenradianz  $\varphi_{\Omega,E}$  beschreibt die Verteilung der Teilchenradianz  $\varphi_\Omega$  auf die Energie  $E$  der Teilchen:

$$\varphi_{\Omega,E} = \frac{d\varphi_{\Omega}(E)}{dE}$$

Dabei ist  $d\varphi_{\Omega}(E)$  die Teilchenradianz aller Teilchen, die im Energieintervall zwischen  $E$  und  $E+dE$  liegen.

Die spektrale Teilchenradianz ist selbst auch energieabhängig. Damit ergibt sich die Teilchenradianz  $\varphi_{\Omega}$  auch aus dem Integral der spektralen Teilchenradianz über alle Teilchenenergien:

$$\varphi_{\Omega} = \int \varphi_{\Omega,E}(E) dE$$

## Teilchenstrom

Der Teilchenstrom  $I$  ist definiert als das Flächenintegral der Normalkomponente der  $\rightarrow$ Teilchenstromdichte  $J_n$ :

$$I = \int_A J_n dA$$

Wenn die Fläche die geschlossene Oberfläche eines Volumens ist, bei der die Normale nach außen zeigt, so wird der in das Volumen eintretende Teilchenstrom negativ und der austretende positiv gezählt. Das Integral über die gesamte Oberfläche ist damit ein Maß für die im Volumen erzeugten Teilchen.

Andererseits ist für ein quellenfreies Volumen, bei dem genau so viele Teilchen eintreten wie austreten, der Teilchenstrom gleich Null. Ist er von Null verschieden, so beschreibt er die Abnahme der Teilchenzahl im quellenfreien Volumen:

$$\int J_n dA = -\frac{dN}{dt}$$

(s. auch DIN 6814-2 [→DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Teilchenstromdichte

Begriff aus der Strahlungsphysik; die Teilchenstromdichte  $J$  ist ein Vektor, der die Richtung des Teilchenflusses bei der Teilchenflussdichte berücksichtigt. Wenn der Teilchenfluss eine Fläche  $A$  durchdringt, dann ist die Komponente  $J_n$  der Teilchenstromdichte in Richtung der Flächennormalen definiert durch

$$J_n = \int \varphi_{\Omega}(\delta, \alpha) \cos \delta d\Omega = \iint \varphi_{\Omega}(\delta, \alpha) \cos \delta \sin \delta d\delta d\alpha$$

Dabei ist  $\delta$  der Winkel zwischen der Flächennormalen und dem Raumwinkelement  $d\Omega$ ,  $\alpha$  ist der Azimutalwinkel und  $\varphi_{\Omega}(\delta, \alpha)$  die Teilchenradianz. Wegen des Faktors  $\cos \delta$  werden bei der Teilchenstromdichte diejenigen Teilchen positiv gezählt, die das Flächenelement in die Richtung durchsetzen, in welche die Flächennormale zeigt. Teilchen, welche die Fläche entgegen der Flächennormalen durchsetzen, werden negativ gezählt. Deshalb ist in einem isotropen Strahlungsfeld mit  $\varphi_{\Omega} = \text{const.}$  die Teilchenstromdichte Null, während die Teilchenflussdichte stets den positiven Wert  $4\pi \varphi_{\Omega}$  hat. (s. auch DIN 6814-2 [→DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Teilkörperdosis

Mittelwert der Äquivalentdosis über das Volumen eines Körperabschnittes oder eines Organs, im Falle der Haut über die kritische Fläche (1 cm<sup>2</sup> im Bereich der maximalen Äquivalentdosis in 70 Mikrometer Tiefe).

## Teilkörperexposition

Einwirkung ionisierender Strahlung auf einzelne Körperteile, Organe oder Gewebe (DIN 6814-5 →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Teleradiologie

Untersuchung eines Menschen mit Röntgenstrahlung unter der Verantwortung eines Arztes, der als berechtigte Person nach § 24 Abs.1 Nr.1 RöV gilt und der sich nicht am Ort der technischen Durchführung befindet und der mit Hilfe elektronischer Datenübertragung und Telekommunikation insbesondere zur rechtfertigenden Indikation und Befundung unmittelbar mit den Personen vor Ort der technischen Durchführung in Verbindung steht. (Def. § 2 Nr. 24 RöV)

## Teleskop-Messlanze

Im praktischen Strahlenschutz gebräuchliches Messgerät zur Ermittlung der Photonen-Ortsdosisleistung (und im begrenzten Umfang der Beta-Ortsdosisleistung). Die Messsonde (häufig ein Geiger-Müller-Zählrohr) befindet sich am Kopf einer ausziehbaren Teleskoplanze. Das Anzeigegerät ist unmittelbar über dem Haltegriff angeordnet und ist häufig ein eigenständiges Messgerät, welches entnommen und separat verwendet werden kann. Die Teleskop-Messlanze erlaubt die Messung aus größerem Abstand (mehrere Meter) und ist daher zur Messung in Strahlenfeldern mit höherer Ortsdosisleistung geeignet, wenn sich die messende Personen im Bereich niedrigerer Ortsdosisleistung aufhalten kann. Die Teleskoplanze kann aus Metall oder Kunststoff gefertigt sein. Metall weist in der Regel eine bessere Dekontaminierbarkeit auf, die Kunststoffausführung ist leichter. Beim Einsatz in Bereichen mit offenen radioaktiven Stoffen wird die Lanze im praktischen Strahlenschutz häufig durch Schlauchfolie vor Kontamination geschützt.

## Temperaturkoeffizient der Reaktivität

Beschreibt die Reaktivitätsänderungen, die bei Änderung der Betriebstemperatur eines Reaktors eintreten. Der Koeffizient ist negativ, wenn eine Temperatursteigerung die →[Reaktivität](#) verringert. Negative Temperaturkoeffizienten sind wünschenswert, weil sie dazu beitragen, Leistungsexkursionen zu vermeiden.

## TENORM

Abk. für **T**echnical **E**nhanced **N**atural **O**ccuring **R**adioactive **M**aterial; das sind Materialien, die natürliche radioaktive Stoffe enthalten, die durch technische Maßnahmen (ungewollt) an gereichert wurden. Beispiele dafür sind die radioaktiven Ablagerungen in Steigleitungen der Gasförderung (→[Scales](#)) oder mit natürlicher Radioaktivität beladene Zuluftfilter. Siehe auch →[NORM](#)

## TEPC

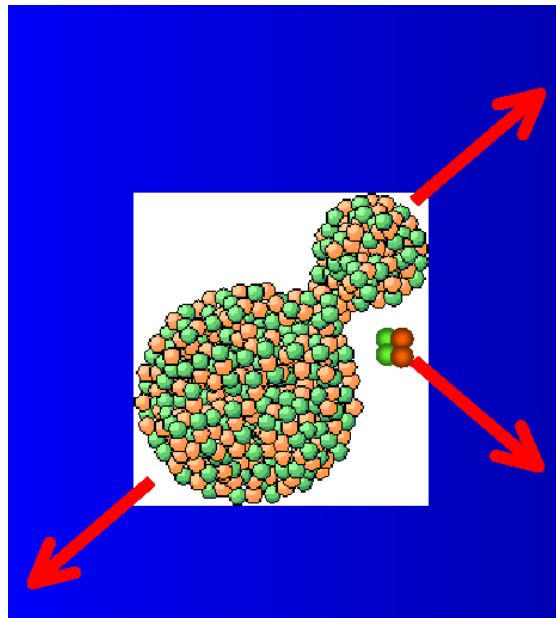
Abk. für **t**issue **e**quivalent **p**roportional **c**ounter (gewebeäquivalenter Proportionalitätszähler); der TEPC ist das Referenzmessgerät zur Messung der Äquivalentdosis  $H^*(10)$  in den hochenergetischen Strahlungsfeldern der kosmischen Strahlung.

## Teratogene Strahlenschäden

Schäden, die nach einer Strahlenexposition der schwangeren Frau beim Embryo, Fetus oder Kind auftreten

## Ternäre Spaltung

Ternäre Spaltung ist eine  $\rightarrow$ **Kernspaltung**, bei der der spaltende Kern in drei Teile zerplatzt. Es entstehen wie bei der binären Spaltung zwei Fragmente und zusätzlich ein drittes leichteres Teilchen. Das dritte Teilchen ist in mehr als 90% der Fälle ein  $\alpha$ -Teilchen. In geringerem Umfang wird auch Tritium erzeugt.



Schema der ternären Spaltung

Quelle: TU München;

<http://www.e12.physik.tu-muenchen.de/~rkruecken/ModerneExperimenteKernphysik2/Bunt/5-Cluster-in-Kernen-farbig.pdf>

## Terrestrische Strahlung

Strahlung durch die  $\rightarrow$ **natürlichen radioaktiven Stoffe** im Boden; die terrestrische Strahlung bewirkt eine externe Strahlenexposition des Menschen, im Wesentlichen durch Gammastrahlung. Strahlenquellen sind die primordialen Radionuklide ( $\rightarrow$ **Radionuklide, primordiale**), die im Zuge der Materiebildung der Welt entstanden und wegen ihrer großen Halbwertszeiten immer noch vorhanden sind. Zu den für die Strah-



lenexposition wesentlichen primordialen Radionukliden gehören die Nuklide der natürlichen Zerfallsreihen sowie K-40.

Aufgrund der unterschiedlichen Bodenzusammensetzung der Erdkruste ist die terrestrische Strahlung großen regionalen Schwankungen unterworfen. So findet man in Deutschland Gamma-Ortsdosisleistungen zwischen 5 nSv/h und 450 nSv/h bei einem Mittelwert von ca. 60 nSv/h. In anderen Regionen der Erde sind zum Teil erheblich höhere Ortsdosisleistungen gemessen worden. Einige Maximalwerte sind in folgender Tabelle zusammengefasst.

s. auch →[Strahlenexposition, natürliche](#)

Land/Region	Ortsdosisleistung/ nSv/h	Quelle
Frankreich (Granitbezirke)	2500	Thorium, Uran
Indien (Kerala-Küste)	4000	Thoriumhaltiger Monazitsand
Indien (Tamil Nadu)	6000	Thoriumhaltiger Monazitsand
Brasilien (Atlantikküste)	4000	Thoriumhaltiger Monazitsand
Kenia (Mombasa)	12000	Thoriumhaltiger Monazitsand
Iran (Stadt Ramsar)	30000	Radiumablagerungen aus Quellwässern

Ortsdosisleistungen in verschiedenen Erdregionen (Maximalwerte); Quelle: VOG04, FZK00

## Thermionische Umwandlung

Die Umwandlung von Wärme in Elektrizität durch Ausdampfen von Elektronen aus einer heißen Metallfläche und Kondensation auf einer kühleren Oberfläche; Mechanisch bewegte Teile sind nicht erforderlich.

## Thermische Säule

In einigen Forschungsreaktoren vorhandenes Bauteil zur Erzeugung thermischer Neutronen für Versuchszwecke; sie besteht aus einer großen Anhäufung von Moderators substanz (häufig Graphit) neben der Spaltzone oder dem Reflektor des Reaktors. Aus dem Reaktor austretende Neutronen dringen in die thermische Säule ein und werden dort abgebremst. Der Anteil thermischer Neutronen am Gesamtneutronenspektrum wird dadurch stark erhöht.

## Thermischer Brutreaktor

Brutreaktor, in dem die Spaltungskettenreaktion durch thermische Neutronen aufrechterhalten wird; thermische Brutreaktoren wandeln nicht spaltbares Th-232 in spaltbares U-233 um. →[Brutreaktor](#)

## Thermolumineszenz

Thermolumineszenz ist die Eigenschaft einiger Feststoffe, aufgenommene Energie in Form von Veränderungen der Gitterstrukturen (Anregungen) zu speichern und diese

Anregungsenergie in Form von Licht bei Erwärmung des Materials (auf ca. 300 °C) wieder abzugeben. Diese Eigenschaft wird zur Dosismessung genutzt. →[Thermolumineszenzdetektor](#)

## Thermolumineszenzdetektor (TLD)

Detektor, der die Eigenschaft der →[Thermolumineszenz](#) besitzt; durch die Energieabgabe der ionisierenden Strahlung im Detektormaterial wird die Kristallstruktur des Detektors verändert und somit die Information der deponierten Energie gespeichert. Das beim Ausheizen des Detektors emittierte Licht wird gemessen (Glühkurve). Seine Intensität ist in weiten Bereichen proportional zur Dosis, was den Einsatz von Thermolumineszenzdetektoren in Dosimetern ermöglicht. Zum Nachweis von Beta- und Photonenstrahlung haben sich im Strahlenschutz besonders TL-Detektoren aus LiF bewährt. Das →[Fading](#) dieser Dosimeter beträgt etwa 3%-5% je Monat.

Vorteile der TLD sind die kleinen Detektor-Abmessungen. Sie werden deshalb insbesondere bei der Teilkörperdosimetrie (z.B. Fingerringdosimeter) eingesetzt. Ein anderes Beispiel ist die Befestigung von Detektoren an der Stirn bei Tätigkeiten, bei denen der Rumpf weitgehend durch Abschirmungen geschützt ist.

## Thermonukleare Reaktion

Kernreaktion, bei der die beteiligten Teilchen die für die Reaktion erforderliche Reaktionsenergie aus der thermischen Bewegung beziehen; →[Fusion](#)

## Thorium

Natürliches radioaktives Element mit der Kernladungszahl 90, Zeichen: Th. Th-232 ist das Mutternuklid der entsprechenden natürlichen Zerfallsreihe (→[Zerfallsreihen, natürliche](#)). Thorium wird als Zusatz in einigen technischen Produkten (z.B. Schweißelektroden, Glühstrümpfe, Beleuchtungskörper, Poliermittel) eingesetzt. Für die Beschäftigten in den entsprechenden Produktionsbetrieben werden effektive Dosen von unter 1 mSv im Jahr abgeschätzt.

## Thoron

Historische Bezeichnung für das radioaktive Radon-Isotop Rn-220, das in der natürlichen Zerfallsreihe des Th-232 auftritt; →[Zerfallsreihen, natürliche](#)

## THORP

Abk. für **T**hermal **O**xide **R**eprocessing **P**lant, Sellafield, Lake District, England. Wiederaufarbeitungsanlage für oxidische Brennelemente mit einem maximalen Jahresdurchsatz von 1.200 t Uran. Am Standort Sellafield (früher Windscale) ist seit 1964 auch eine Anlage zur Wiederaufarbeitung von →[Magnox](#)- und →[AGR](#)-Brennelementen aus britischen Reaktoren in Betrieb.

## Three Mile Island (TMI)

Kernkraftwerk bei Harrisburg, Pennsylvania, USA, mit zwei Druckwasserreaktoren; im Block 2 ereignete sich am 28.03.1979 ein schwerer Unfall mit partieller Kernschmelze. Die Spaltprodukte wurden fast vollständig im Reaktordruckbehälter und im Sicherheitsbehälter zurückgehalten. Da die Rückhaltefunktion des Sicherheitsbehäl-

ters entsprechend der Auslegung funktionierte, kam es nur zu Aktivitätsfreisetzungen von Xenon-133 und sehr geringen Anteilen I-131 in die Umgebung, die zu einer rechnerisch maximalen Dosis von 0,85 mSv führten.

## THTR-300

Thorium-Hochtemperaturreaktor in Hamm-Uentrop an der Lippe mit einer elektrischen Bruttoleistung von 308 MW, nukleare Inbetriebnahme am 13.09.1983. Im November 1988 wurde der Reaktor endgültig abgeschaltet. Die Anlage befindet sich seit Februar 1997 im sicheren Einschluss.

## Tiefen-Personendosis

→**Äquivalentdosis** in 10 mm Tiefe im Körper an der Tragestelle des Personendosimeters, Kurzbezeichnung  $H_p(10)$ ; die Tiefen-Personendosis, gemessen mit einem geeigneten Dosimeter an einer repräsentativen Stelle der Körperoberfläche, ist ein Schätzwert für die effektive Dosis und die Organdosen tiefer liegender Organe. Die Tiefen-Personendosis ist definiert für durchdringende Strahlung (z.B. Gamma, Neutronen) und Elektronenstrahlung für Elektronenenergien  $> 3\text{MeV}$ .

→**Dosis**.

## Tiefen-Personendosisleistung

Änderung der →**Tiefen-Personendosis** mit der Zeit (Differentialquotient):

$$\dot{H}_p(10) = dH_p(10) / dt$$

## Tiefendosis, relative

Begriff aus der →**Radiologie**: Verhältnis einer Energiedosis in einer bestimmten Tiefe innerhalb eines Körpers zu der →**Energiedosis** an einem Bezugspunkt des Körpers auf dem Zentralstrahl; bei Röntgen- oder Gammastrahlung hängt die Lokalisierung des Bezugspunktes von der Energie der Strahlung ab. Er liegt bei niedrigen Energien an der Oberfläche, bei hohen Energien an der Stelle des Höchstwertes der Energiedosis.

## Tierbegleitperson

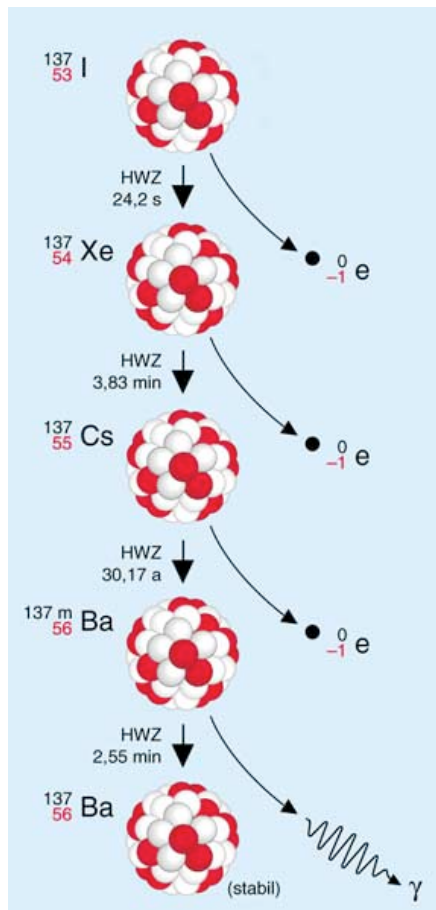
Begriff aus der StrlSchV; die Tierbegleitperson ist eine einwilligungsfähige Person, die das 18 Lebensjahr vollendet hat und die außerhalb ihrer beruflichen Tätigkeit freiwillig ein Tier begleitet, an dem in Ausübung der Tierheilkunde radioaktive Stoffe oder ionisierende Strahlung angewendet werden (§ 3 Abs.2 Nr.33a StrlSchV). Schwangere Frauen dürfen in Kontrollbereichen nicht als Tierbegleitperson eingesetzt werden. Für stillende Frauen gilt dies auch, wenn in dem Kontrollbereich mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen wird (§ 37 StrlSchV).

## TLD

Abk. für →**Thermolumineszenzdetektor** oder für Thermolumineszenzdosimeter

## Tochter- und Enkelnuklid

In einer Zerfallsreihe radioaktiver Stoffe entsteht als Zerfallsprodukt eines Ausgangsnuklides (Mutternuklides) zunächst das Tochternuklid und daraus durch Zerfall das Enkelnuklid. Beispiel: Das bei der Spaltung entstehende Iod-137 (Mutternuklid) zerfällt über Xenon-137 (Tochter), Cäsium-137 (Enkel), Barium-137m (Urenkel) in das stabile Barium-137 (Ururenkel). →Zerfallsreihe, natürliche



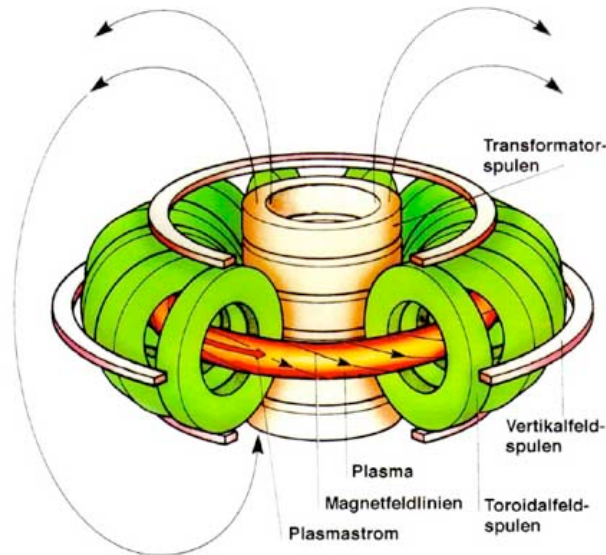
Mutter/Tochter/Enkel-Nuklide in der Zerfallsreihe von Iod-137 bis Barium-137

Quelle: Informationskreis Kernenergie,  
Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Tokamak

Versuchsanordnung zur kontrollierten Kernfusion; in einem Tokamak schließen zwei sich überlagernde Magnetfelder das Plasma ein: zum einen das toroidale Feld, das durch äußere Spulen erzeugt wird, und zum anderen das Feld eines im Plasma fließenden Stroms. Im kombinierten Feld laufen die Feldlinien dann schraubenförmig um die Seele des Torus. Auf diese Weise wird die zum Einschluss des Plasmas nötige Verdrillung der Feldlinien und der Aufbau magnetischer Flächen erreicht. Außer dem durch die äußeren Feldspulen erzeugten Toroidalfeld und dem durch den Strom im Plasma erzeugten Feld benötigt der Tokamak noch ein drittes, vertikales Feld (Poloidalfeld), das die Lage des Stromes im Plasmagefäß fixiert. Obwohl der Strom im Plasma vorwiegend benötigt wird, um das einschließende Magnetfeld zu erzeugen, hat er noch als zweite Funktion für eine wirksame Anfangsheizung des Plasmas zu sorgen. Der Plasmastrom wird normalerweise durch eine Transformatorspule induziert. Wegen des Transformators arbeitet ein Tokamak nicht kontinuierlich, sondern gepulst. Da jedoch ein Kraftwerk aus technischen Gründen kaum gepulst betrieben werden sollte, werden Methoden untersucht, einen kontinuierlichen Strom - zum Bei-

spiel durch Hochfrequenzwellen - zu erzeugen. Die Fusionsforschungsanlage →JET ist nach dem Tokamak-Prinzip gebaut. Auch der Fusionsreaktor →ITER wird nach diesem Prinzip geplant.



Tokamak-Prinzip

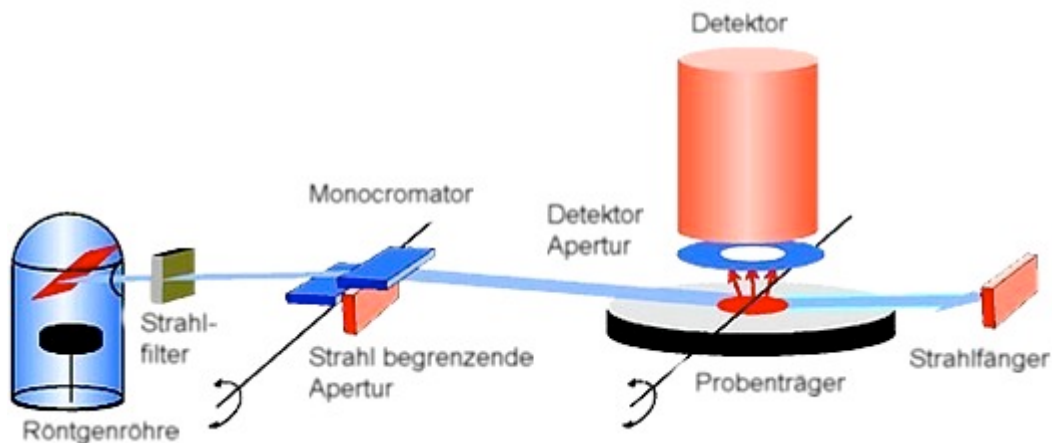
Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Tomographie

Bildgebendes Verfahren, bei dem von einem Körper parallele Schnittbilder erzeugt werden, die anschließend zu einem dreidimensionalen Bild zusammengesetzt werden; Beispiel ist die Tomographie mit Röntgenstrahlung zur Materialprüfung oder bei der medizinischen Diagnostik (Computertomographie – CT). Geräte zur Materialprüfung sind häufig als →Vollschutzgeräte ausgeführt.

## Totalreflektions-Röntgenfluoreszenz-Analyse (TXRF)

Zerstörungsfreies Verfahren zur Elementanalyse über Röntgenfluoreszenz; Röntgenstrahlung trifft unter sehr kleinem Winkel auf eine Probenoberfläche (streifender Einfall), so dass Totalreflexion eintritt. Die Röntgenstrahlen wechselwirken somit nur mit den obersten Materialschichten. Die für die Materialzusammensetzung charakteristische Fluoreszenzstrahlung wird mit einem Detektor über der Materialschicht spektroskopiert.



Prinzipielle Wirkungsweise der Totalreflektions-Röntgenfluoreszenz-Analyse

Quelle: Umweltforschungszentrum Leipzig; <http://www.ufz.de/index.php?de=1948>

## Totzeit

Totzeit ist die Zeit, in der ein Strahlungsmessgerät nach der Registrierung eines Signals nicht aufnahmefähig für ein folgendes Signal ist. Die Totzeit kann z.B. durch die Verarbeitungsdauer eines Signals in der Auswertelektronik bestimmt sein oder durch die Sammelzeit der durch die Strahlung im Detektor erzeugten Ladungsträger.

## Tracer

Zur Markierung von Substanzen zugesetztes Radionuklid, um Mischungs-, Verteilungs- und Transportvorgänge mittels der vom Tracer emittierten Strahlung untersuchen zu können

## Transferfaktor

Kenngröße für die Berechnung der Strahlenexposition über die Nahrungskette; Transferfaktoren beschreiben quantitativ den Übergang von einem Glied der Nahrungskette auf ein anderes, z.B. Boden→Pflanze oder Pflanze→Kuh→Milch (→[Expositionspfad](#), →[Strahlenexposition](#))

Lit.: BMU05E, AUR82

## Transmutation

Umwandlung der beim Betrieb von Kernreaktoren durch Neutroneneinfang im U-238 entstehenden langlebigen Nuklide der Elemente Plutonium, Neptunium, Americium und Curium in stabile oder kurzlebige Nuklide. Insbesondere bei der direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente erfordern die zum Teil sehr langen Halbwertszeiten der Alphastrahlen emittierenden Nuklide Np-237, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Am-241, Am-243, Cm-243 und Cm-244 den Nachweis der Sicherheit der Lagerung über sehr lange Zeiträume. Durch Kernumwandlungen, entweder durch direkte Spaltung wie bei Pu-239 oder Umwandlung in leicht spaltbare Nuklide durch Neutroneneinfang, entstehen letztendlich relativ kurzlebige oder stabile Spaltprodukte. Dazu ist

es erforderlich, den abgebrannten Kernbrennstoff wiederaufzuarbeiten, diese Transuranelemente von den Spaltprodukten abzutrennen und in geeigneten Kernreaktoren durch Neutronen umzuwandeln. Neben Reaktoren als Neutronenquelle für die Umwandlung werden durch Beschleuniger getriebene unterkritische Anordnungen als Möglichkeit des „Verbrennens“ von Pu und Aktiniden mit höherer Ordnungszahl als Pu diskutiert. Da durch einen starken Protonenstrahl aus einem Beschleuniger und daraus ausgelöste Spallationen in einem geeigneten Targetmaterial eine hohe Neutronenzahl bereitgestellt werden kann, ist eine gute Voraussetzung für solche Transmutationsmaschinen gegeben. Da zudem in solchen Anlagen keine sich selbst erhaltende Kettenreaktion abläuft, werden Vorteile hinsichtlich des Sicherheitsverhaltens erwartet.

## Transport radioaktiver Stoffe

→[Beförderung radioaktiver Stoffe](#)

## Transportindex

Alte Bezeichnung für →[Transportkennzahl](#)

## Transportkennzahl

Kenngroße aus dem Beförderungsrecht; die Transportkennzahl ist mit der Ortsdosisleistung an den Versandstücken verknüpft und erlaubt es, die Ortsdosisleistung in der Umgebung des Transportguts abzuschätzen. Je nach Versandstück und Versandart (z.B. Transport von mehreren Versandstücken in einem Container) wird die Transportkennzahl unterschiedlich ermittelt. Die Vorgaben dazu enthält das ADR-Regelwerk (ADR). Beispiel: Für ein einzelnes Versandstück ist die Transportkennzahl gleich dem Hundertfachen des Zahlenwerts der maximalen Ortsdosisleistung (gemessen in mSv) im Abstand von 1 m von den Außenseiten des Versandstückes. Beträgt der Messwert 0,1 mSv/h, ist die Transportkennzahl somit 10.

Der Faktor Hundert ist historisch begründet. Vor Einführung der Maßeinheit „Sv“ war der damals gebräuchliche Transportindex definiert als der Zahlenwert der maximalen Ortsdosisleistung, gemessen in „mrem/h“, und  $1 \text{ mSv/h} = 100 \text{ mrem/h}$ .

## Transuranelement

Chemisches Element im Periodensystem, dessen Kernladungszahl größer als 92, der des Urans, ist; mit Ausnahme der in sehr geringen Mengen entdeckten natürlichen Plutonium-Isotope Pu-244 (Halbwertszeit rund 80 Millionen Jahre) und Pu-239 (ständige Neubildung in uranhaltigen Gesteinen durch Neutroneneinfang in U-238 durch die Neutronen aus der Spontanspaltung des U-238) müssen alle Transuranelemente künstlich hergestellt werden. →[Element](#)

## Trennanlage

Anlage zur Isotopentrennung. →[Diffusionstrennverfahren](#), →[Trenndüsenverfahren](#), →[Gaszentrifugenverfahren](#)

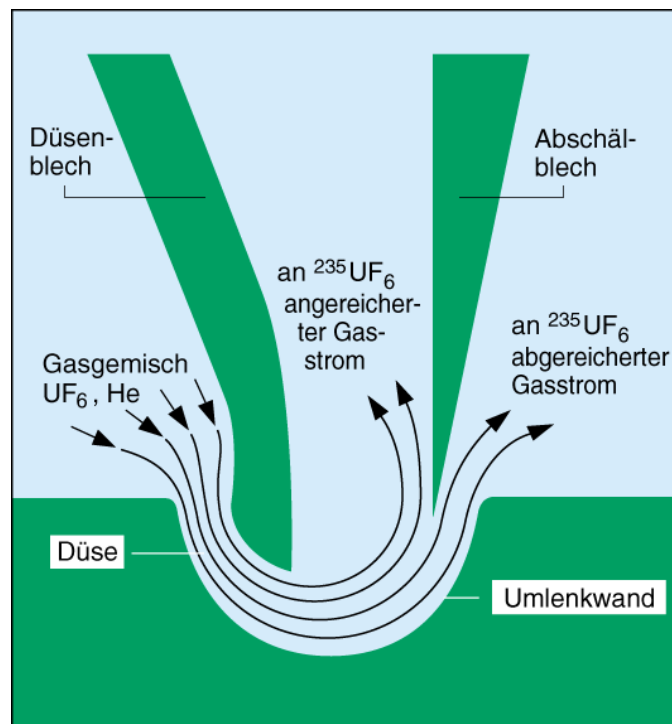


## Trennarbeit

Begriff aus der Uranisotopentechnik; die Trennarbeit ist ein Maß für den zur Erzeugung von angereichertem Uran zu leistenden technischen und energetischen Aufwand; die Maßeinheit ist UTA

## Trenndüsenverfahren

Verfahren zur Isotopentrennung, speziell zur Trennung der Uranisotope; durch die Expansion des Gasstrahls in einer gekrümmten Düse bewirken die Zentrifugalkräfte eine Trennung der leichten von der schweren Komponente.



Prinzip des Trenndüsenverfahrens

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Trennfaktor

Der Trennfaktor ist der Quotient aus dem Verhältnis der Isotopenhäufigkeit eines bestimmten Isotops zu der Summe der Isotopenhäufigkeiten der anderen Isotope in einem Isotopengemisch nach einem Trennungsprozess und diesem Verhältnis vor dem Trennungsprozess.

## Trennwandverfahren

→ Diffusionstrennverfahren

## Tributylphosphat

Stoff, der in der Wiederaufarbeitung beim →[PUREX-Prozess](#) als organisches Extraktionsmittel zur U- und Pu-Extraktion aus der Kernbrennstofflösung eingesetzt wird; im PUREX-Prozess wird Tributylphosphat (TBP) auf 15% bis 40% mit Kerosin verdünnt.

## TRIGA

Abk. für: **T**rainig, **R**esearch and **I**sotope Production Reactor der **G**eneral **A**tomic; ein Forschungsreaktor vom TRIGA-Typ ist an der Universität Mainz in Betrieb.

## Trimmstab

Trimmstäbe dienen in einem Kernreaktor zur Kompensation der →[Überschussreaktivität](#) eines frisch beladenen Reaktors und zur Einflussnahme auf die Neutronenflussverteilung.

## Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001)

Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch; die Verordnung enthält Indikatorparameter für Schadstoffe, die im Wasser eingehalten werden müssen. Im Hinblick auf den Strahlenschutz ist für Tritium ein Indikatorparameter (Grenzwert) von 100 Bq/l und eine Dosisrichtwert von 0,1 mSv im Jahr enthalten. Bei der Ermittlung dieser Dosis sollen Tritium, K-40, Radon und Radonfolgeprodukte nicht berücksichtigt werden. Randbedingungen für die Ermittlung der Dosen (z.B. Verzehrgewohnheiten) sind in der Verordnung nicht enthalten. Untersuchungen in der Praxis haben gezeigt, dass man sich für die Ermittlung der Dosis auf die Analyse der Nuklide U-238, U-234, Ra-228, Ra-226, Po-210 und Pb-210 beschränken kann.

Die Trinkwasserverordnung gilt nicht für Mineral- und Tafelwässer. →[Mineral- und Tafelwasserverordnung](#)

Lit.: TrinkwV, FLE06

## Tritium

Isotop des Wasserstoffs der Massenzahl 3 (2 Neutronen, 1 Proton), chem. Zeichen: T (oder H-3); schwacher Beta( $\beta^-$ )-Strahler mit einer Beta-Grenzenergie von 20 keV,  $T_{1/2}=12,3$  a. Wegen der geringen Beta-Energie beträgt die Reichweite der Strahlung in Luft weniger als 2 mm.

In Kernkraftwerken kommt Tritium hauptsächlich als Gas (HT) oder als Wasser (HTO) vor, wobei jeweils ein Wasserstoffatom der jeweiligen Verbindung durch ein Tritiumatom ersetzt wurde. HTO hat die größere radiologische Bedeutung, weil das Molekül wie Wasser in den Körper eingebaut wird. Dabei ist als Inkorporationsweg neben der Inhalation insbesondere die Diffusion durch die Haut von Bedeutung (→[Tritium-Permeation](#)).

## Tritium-Messung, Raumluft

Wegen der geringen Reichweite der Betastrahlung in Luft wird Tritium in der Raumluft häufig indirekt über die Raumluftfeuchte gemessen. Dazu wird die Luftfeuchte ausgefroren oder auskondensiert und anschließend im →[Flüssigszintillationszähler](#)

analysiert. Direkte Messungen der Tritiumaktivität sind z.B. in einem Durchflusszählrohr möglich, indem die Raumluft dem Zählgas zugemischt wird. Dazu sind jedoch noch besondere Maßnahmen zur Unterdrückung störender Untergrundeffekte erforderlich (s. VOG04).

## **Tritium-Permeation**

Diffusion des Tritiums durch die unverletzte Haut; dieser Expositionspfad ist beim Aufenthalt in einer Atmosphäre von Bedeutung, die Tritium als HTO in der Luftfeuchtigkeit enthält. Im Strahlenschutz kann die effektive Folgedosis durch die Tritium-Permeation abgeschätzt werden, indem man die effektive Dosis durch Inhalation um 50 % erhöht (ICRP30).

## **Triton**

Atomkern des →[Tritiums](#); er besteht aus einem Proton und zwei Neutronen.

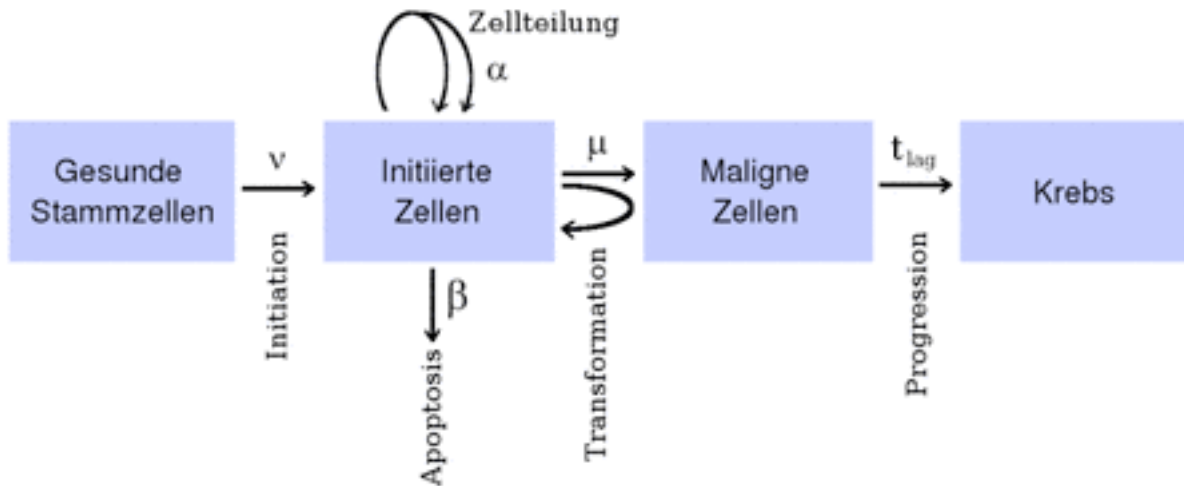
## **Trockenlager**

Lagerung bestrahlter Brennelemente ohne Verwendung von Wasser als Kühlmittel, z.B. in geeigneten Lagerbehältern, die außen Kühlrippen aufweisen. Die Kühlung erfolgt dann über die vorbeistreichende Luft.

## **TSCE-Modell**

TSCE: Abk. für Two Step Clonal Expansion

Das TSCE-Modell ist ein Zweistufen-Krebsentstehungsmodell mit klonaler Expansion. Der komplexe Krebsentstehungsprozess wird in diesem Modell auf einige wenige zentrale Schritte abgebildet. Es wird angenommen, dass gesunde Stammzellen durch eine Reihe von Mutationen oder epigenetischen Veränderungen in initiierte Zellen umgewandelt werden können. Im Vergleich zu den gesunden Zellen haben die initiierten Zellen eine höhere Zellteilungsrate oder eine geringere Inaktivierungs- und Differenzierungsrate. Dadurch entstehen mehrzellige Gebilde inaktivierter Zellen. Diese präkanzerogenen Veränderungen bilden ein Vorstadium zum Krebs, wie zum Beispiel Polypen beim Darmkrebs. Aus einer initiierten Zelle kann sich in diesem Modell durch eine zweite Gruppe von Mutationen eine maligne Zelle herausbilden, die im Laufe der Progression zu einer Krebsgeschwulst heranwächst. Strahlenexpositionen oder andere krebserregende Stoffe können alle Prozesse des Krebsentstehungsprozesses beeinflussen.



Schema des TSZE-Modells

Quelle:

<http://www.helmholtz-muenchen.de/iss/risikoanalyse/arbeitsgebiete/krebsrisiko-nach-strahlenexposition/index.html>

## Tschernobyl

Am Standort Tschernobyl, 130 km nordwestlich von Kiew, sind zwischen 1977 und 1983 vier Reaktorblöcke vom Typ →RBMK-1000 in Betrieb gegangen. Im Block 4 ereignete sich am 26.04.1986 der bisher schwerste Unfall bei der friedlichen Nutzung der Kernenergie. Der Unfall im Kernkraftwerk von Tschernobyl ist zwar auch auf eine Kette von falschen Entscheidungen und verbotenen Eingriffen der Bedienungsmannschaft zurückzuführen, letztlich sind aber das unzureichende Reaktorsicherheitskonzept für das Eintreten des Unfalls und das Fehlen eines druckfesten, die Reaktoranlage umschließenden Sicherheitsbehälters für die Freisetzung der großen Mengen an radioaktiven Stoffen verantwortlich. Der Reaktorunfall entwickelte sich während eines Experimentes mit dem Turbinen-Generatorsatz der Kraftwerksanlage. Durch eine ganze Reihe von Bedienungsfehlern, bis hin zu der Überbrückung von Abschaltsignalen, kam es zu einem starken Leistungsanstieg – bis zum 100-fachen der Nennleistung. Durch die Überhitzung des Brennstoffes barsten Brennstabhüllen, und es kam zu einer heftigen Brennstoff/Wasser-Reaktion mit stoßartigem Druckaufbau und Zerstörung des Reaktorgebäudes. Große Teile des Graphitmoderators und der Anlage wurden in Brand gesetzt. Während dieser Zerstörungsphase wurden schätzungsweise acht Tonnen radioaktiven Brennstoffes aus dem Kern in das Gebäude und die Umgebung geschleudert. Durch die unmittelbar einsetzende Brandbekämpfung gelang es, die Brände außerhalb des Reaktorgebäudes und am Maschinenhaus in vier Stunden zu löschen. Um den Brand des Moderatorgraphits im Reaktor zu ersticken und zur Eindämmung der Unfallfolgen wurde der Block 4 in den folgenden Tagen aus der Luft mit insgesamt 5.000 Tonnen Blei, Sand und Lehm zugeschüttet. Bis November 1986 wurde der Reaktorblock Tschernobyl 4 unter einer Struktur aus meterdickem Beton – Sarkophag genannt – ‚begraben‘.

Die massive Freisetzung radioaktiver Spaltprodukte aus dem zerstörten Reaktor erstreckte sich über insgesamt zehn Tage. Aufgrund der thermischen Auftriebseffekte

erfolgte die Freisetzung, insbesondere die der leichtflüchtigen Spaltprodukte wie Iod und Cäsium, bis in große Höhen (1.500 m und darüber). Dies führte zu einer Verteilung der in die Atmosphäre freigesetzten Aktivität von  $4 \cdot 10^{18}$  Bq über weite Teile Europas. Die am 26. April freigesetzten radioaktiven Stoffe gelangten aufgrund der vorherrschenden Windrichtung nach Nordwesten und erreichten am 28. April Schweden. Der dort gemessene Aktivitätsanstieg der Luft war im Westen der erste Hinweis auf den Unfall. Aufgrund der Wetterverhältnisse gelangte die Aktivitätsemission des 27. April über Polen und die vom 29. und 30. April über den Balkan nach Mitteleuropa. Am 29. April erreichte die radioaktive Wolke das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland.

Das Kraftwerkspersonal und insbesondere das zur Brandbekämpfung eingesetzte Personal waren sehr stark von der Strahlung betroffen. Die Dosiswerte betragen bis zu 16 Gy. 134 Personen mit akutem Strahlensyndrom wurden in Kliniken behandelt. 28 Personen starben infolge einer Strahlenüberexposition innerhalb kurzer Zeit. Die Strahlenexposition in der 4 km westlich vom Standort gelegenen Stadt Pripjat mit 45.000 Einwohnern erreichte am Tag nach dem Unfall bis zu 6 mSv/h. Die Bevölkerung wurde daraufhin evakuiert. In den nächsten Tagen wurden dann weitere 90.000 Personen aus der 30-km-Zone um den Standort evakuiert. Eine Wiederbesiedlung der 10-km-Zone ist nicht beabsichtigt, die landwirtschaftliche Nutzung der 10- bis 30-km-Zone wird vom Erfolg von Dekontaminationsprogrammen und dem Ergebnis radiologischer Untersuchungen abhängig gemacht.

Durch meteorologische Einflüsse bedingt sind die aus der radioaktiven Wolke abgelagerten Aktivitätsmengen in den Regionen der Bundesrepublik sehr unterschiedlich – im Norden und Westen deutlich geringer als im Süden und Südosten. Daher ist keine bundeseinheitliche Darstellung hinsichtlich der resultierenden Strahlendosis, die zudem noch stark von der individuellen Ernährungsgewohnheit abhängt, möglich. Die Inhalationsdosis wurde fast ausschließlich durch die Luftaktivität in der Zeit vom 1. bis 5. Mai 1986 bestimmt. Die Ingestionsdosis ergibt sich fast ausschließlich durch I-131, Cs-134 und Cs-137. Die Strahlenexposition in den Folgejahren ist wesentlich geringer als im ersten Jahr nach dem Unfall, da die Effekte der Oberflächenkontamination, die direkt (z. B. über Gemüse) oder indirekt (z. B. über Milch und Fleisch) zur Strahlenexposition beitragen, entfallen. Die Strahlenexposition in Deutschland betrug für Kleinkinder, für die sich gegenüber Erwachsenen generell höhere Dosiswerte errechnen, für das Jahr des Unfalls zwischen 0,2 mSv in Gebieten nördlich der Donau und 1,2 mSv für Bereiche des Voralpengebiets. Berechnet man die entsprechenden Dosiswerte für die nächsten 50 Jahre, so ergibt sich ein Gesamtbetrag von 0,6 mSv bzw. 3,8 mSv. Für Einzelpersonen mit extremen Lebens- und Verzehrsgewohnheiten können sich maximale Dosiswerte bis zum Zwei- oder Dreifachen dieser Werte ergeben. (s. auch →[Strahlenexposition, zivilisatorische](#))

In den durch den Unfall betroffenen Gebieten der Ukraine und Belarus zeigte sich in den Folgejahren bei Kindern und Jugendlichen ein deutlicher Anstieg der Schilddrüsenerkrankungen, der auf die Strahlenexposition zurückzuführen ist. Verantwortlich dafür ist vor allem die Aufnahme von Jod 131, einem radioaktiven Isotop mit einer Halbwertszeit von ca. 8 Tagen, über die Nahrungskette, das in der Schilddrüse gespeichert wurde und zu hohen Strahlendosen in diesem Organ führte.

Block 2 der insgesamt vier Reaktorblöcke am Standort Tschernobyl wurde im Oktober 1991 endgültig abgeschaltet. Block 1 folgte im November 1996 und am

15.12.2000 wurde mit Block 3 der letzte Reaktor in Tschernobyl endgültig außer Betrieb genommen.

Eine Übersicht über die gesundheitlichen Folgen 25 Jahre nach dem Unfall enthält ein Bericht der →[UNSCEAR](#) aus 2011 /UNC11/. Darin wird folgende Bilanz gezogen:

- 134 Personen erhielten so hohe Strahlenexpositionen, dass bei ihnen ein akutes Strahlensyndrom (ASS) auftrat; viele von ihnen trugen zudem Schäden der Haut durch Beta-Strahlung davon.
- 28 Personen mit ASS starben nach kurzer Zeit.
- 19 weitere Personen, die das ASS überlebten, starben bis 2006 aus unterschiedlichen Gründen, die meistens nicht mit der Strahlenexposition zusammen hingen.
- Hautschäden und Augenkatarakte sind die deterministischen Hauptschäden bei den ASS-Überlebenden.
- Unter den Liquidatoren, die einige hunderttausend Personen umfassen, gibt es bis heute unter denen, die höhere Dosen erhielten, Augenkatarakte und Hinweise auf eine erhöhte Inzidenz für Leukämie. Für andere strahleninduzierte Gesundheitsschäden gibt es in dieser Gruppe keine Hinweise.
- Die Kontamination der Milch mit I-131 führte zu hohen Schilddrüsendosen bei der allgemeinen Bevölkerung, da keine Gegenmaßnahmen ergriffen wurden. Dies führte dazu, dass ein wesentlicher Teil der bis jetzt beobachteten mehr als 6000 Schilddrüsenkrebsfälle strahlungsbedingt war. Diese Fälle betrafen Personen, die zu Zeit des Unfalls Kinder oder Heranwachsende waren. Bis 2005 waren davon 15 Personen gestorben.
- Bis jetzt gibt es keine überzeugenden Anhaltspunkte für weitere strahleninduzierten Gesundheitsschäden in der allgemeinen Bevölkerung.

## **TSEE**

Abk. für Thermally Stimulated Exoelectron Emission; →[Exoelektronen-Dosimeter](#)

## **TUSA**

Abk. für **Turbinenschnellabschaltung**.

## **Two-Step-Monitor**

→[Ganzkörpermonitor](#), bei dem die Körperoberflächen zu Verbesserung der Empfindlichkeit in zwei Schritten (Vor- und Rückseite) ausgemessen wird

## **TXRF**

Abk. für →[Totalreflektions-Röntgenfluoreszenz-Analyse](#)

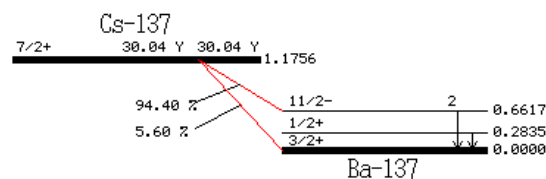
# U

## Übergangswahrscheinlichkeit

Wenn für ein Radionuklid mehrere konkurrierende Zerfallsprozesse möglich sind, gibt es für jeden dieser Zerfälle oder Übergänge eine Wahrscheinlichkeit, mit der er bei einer großen Anzahl von Zerfällen beobachtet wird, seine Übergangswahrscheinlichkeit. Die Summe aller Übergangswahrscheinlichkeiten ist Eins.

Beispiel:

Beim Zerfall von Cs-137 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,944 (94,4 %) ein  $\beta^-$ -Teilchen mit einer Maximalenergie von 514 keV emittiert, wobei der resultierende Tochterkern Ba-137m im angeregten Zustand (662 keV über dem Grundzustand) erzeugt wird. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,056 (5,6 %) erfolgt die Emission eines  $\beta^-$ -Teilchen mit einer Maximalenergie von 1,176 MeV in den Grundzustand des Ba-137. Der angeregte Zustand geht mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,9 (90 %) nach einer mittleren Verweilzeit ca. 2,55 Minuten unter Aussendung eines Gammaquants von 662 keV in den Grundzustand über. Konkurrierend dazu wird die Anregungsenergie von 662 keV in 10 % der Fälle auf Hüllenelektronen übertragen (Konversionselektronen) → **Innere Konversion**



Zerfallsschema des Cs-137;

Quelle:

<http://atom.kaeri.re.kr/cgi-bin/decay?Cs-137%20B->

## Überkritische Anordnung

Anordnung von Kernbrennstoff, deren effektiver → **Multiplikationsfaktor** infolge Brennstoffmenge, geometrischer Moderation und Reflexion über 1 liegt.

## Überkritischer Reaktor

Kernreaktor, bei dem der effektive → **Multiplikationsfaktor** größer als 1 ist; die Reaktorleistung steigt daher ständig an.

## Überprüfungsschwelle

Begriff aus der Personendosimetrie; da die Messwerte mit Personendosimetern lediglich Schätzwerte für die gesetzlich limitierten Körperdosen sind und in der Regel die Körperdosis überschätzen, muss bei höheren Messwerten der Personendosis die Körperdosis unter Berücksichtigung der realen Expositionsbedingungen überprüft



werden. Die Überprüfungsschwelle gibt die Personendosis an, ab der eine solche Überprüfung erfolgen muss. Es gibt Überprüfungsschwellen für externe und interne Expositionen. Sie sind in der Richtlinie zu § 41 StrlSchV festgelegt.

## Überschussreaktivität

Größerer Reaktivitätswert, als zur Erreichung der Kritikalität erforderlich ist; Überschussreaktivität wird bei der Beladung eines Reaktors mit Brennelementen vorgesehen, um den →[Abbrand](#) und die Ansammlung von →[Spaltproduktgiften](#) während des Betriebes ausgleichen zu können. Die daher beim frisch beladenen Reaktor bestehende Überschussreaktivität wird durch die Stellung der Trimm- und Regelstäbe oder durch den Zusatz von Bor zum Primärkühlmittel ausgeglichen.

## Überwachung, Strahlenexposition der Gesamtbevölkerung

Die Überwachung der Strahlenexposition der Gesamtbevölkerung umfasst

- Ermittlung und Bewertung der Individualdosis von Personen in der Umgebung von kerntechnischen Einrichtungen
- Ermittlung und Bewertung der Individual- und Kollektivdosen infolge zivilisatorischer, insbesondere medizinischer Strahlenexposition
- Ermittlung und Bewertung der Strahlenexposition durch Umgebungsstrahlung
- Messungen der Aktivität radioaktiver Stoffe in der Umwelt, insbesondere in der Atmosphäre, in Niederschlägen, Oberflächengewässern, Boden, Bewuchs und Tieren
- Messung der Aktivität radioaktiver Stoffe in der Nahrung, insbesondere in Trinkwasser, Nahrungs- und Genussmitteln sowie in Futter- und Düngemitteln
- Messung der Aktivität radioaktiver Stoffe im Menschen selbst.

Die Ergebnisse der Überwachung werden jährlich von der Bundesregierung in einem speziellen Bericht zusammengestellt und veröffentlicht

## Überwachung, Strahlenexposition des Patienten

Ermittlung und Bewertung der Strahlenexposition bei medizinischen Anwendungen ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe durch Dosis- und Aktivitätsmessungen oder durch Berechnungen, die eine Ermittlung der Organdosis des Patienten ermöglichen; die Expositionsbedingungen sind dabei zu protokollieren. (DIN 6814-5, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Überwachung, Strahlenschutzbereiche

Strahlenschutzbereiche sind nach § 39 StrlSchV messtechnisch zu überwachen. Dazu sind im für die Ermittlung der Strahlenexposition erforderlichen Umfang

- die Ortsdosis oder Ortsdosisleistung,
- die Konzentration radioaktiver Stoffe in der Luft und
- die Kontamination des Arbeitsplatzes

zu messen.

## Überwachung, Umgang mit Strahlenquellen

Die Überwachung des Umgangs mit radioaktiven Stoffen und anderen Strahlenquellen erstreckt sich auf

- die Überwachung des Einhaltens von Verboten und Einschränkungen für Zugriff und Aufenthalt,
- die Überwachung des Einhaltens der Regeln für strahlenschutzgerechtes Verhalten,
- die Überwachung der Wirksamkeit der technischen Strahlenschutzvorkehrungen und
- die Überwachung des Zugangs und Abgangs von Strahlenquellen.

(s. DIN 6814-5 →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

### Überwachungsbereich

Der Überwachungsbereich ist ein Strahlenschutzbereich, für den festgelegte Dosisgrenzwerte gelten, und der einer Überwachung nach festgelegten Vorschriften unterliegt. Nach § 36 der Strahlenschutzverordnung ist der Überwachungsbereich ein nicht zum Kontrollbereich gehörender Strahlenschutzbereich, in dem Personen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 1 Millisievert oder höhere Organdosen als 15 Millisievert für die Augenlinse oder 50 Millisievert für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel erhalten können. Er muss, wenn diese Dosen nicht ausgeschlossen werden können, eingerichtet werden. →[Strahlenschutzbereiche](#)

### Überwachungsintervall

Bei der Inkorporationsüberwachung verwendete Bezeichnung für den zeitlichen Abstand zweier aufeinanderfolgender Messungen bei der regelmäßigen Inkorporationsüberwachung. Die Überwachungsintervalle werden nuklidabhängig in der →[Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle](#) (Teil 2) vorgegeben. Die Überwachungsintervalle stellen beim Referenzverfahren sicher, dass eine zu einem beliebigen Zeitpunkt innerhalb des Überwachungsintervalls stattgefundenen einmalige Aktivitätszufuhr um nicht mehr als einen Faktor Drei unterschätzt wird. Dabei ist bei der Berechnung der Körperdosis aus der ermittelten Aktivität als Inkorporationszeitpunkt die Mitte des Überwachungsintervalls anzusetzen. Darüber hinaus ist damit im Allgemeinen der Nachweis von 1 mSv effektive Dosis oder 10 % der grenzwertbestimmenden Organdosis im gesamten Kalenderjahr möglich (BMU07).

### Umgang mit radioaktiven Stoffen

Unter Umgang mit radioaktiven Stoffen fallen nach § 3 Abs. 2 Nr. 34 StrlSchV: Gewinnung, Erzeugung, Lagerung, Bearbeitung, Verarbeitung, sonstige Verwendung und Beseitigung von radioaktiven Stoffen im Sinne des § 2 Atomgesetz sowie der Betrieb von Bestrahlungsvorrichtungen. Als Umgang gilt auch die Aufsuchung, Gewinnung und Aufbereitung von radioaktiven Bodenschätzen im Sinne des Bundesberggesetzes. Der Umgang mit radioaktiven Stoffen ist nach § 7 StrlSchV genehmigungspflichtig; Ausnahmen regelt § 8 StrlSchV.

## Umgebungs-Äquivalentdosis

Die Umgebungs-Äquivalentdosis  $H^*(10)$  am interessierenden Punkt im tatsächlichen Strahlungsfeld ist die Äquivalentdosis, die im zugehörigen ausgerichteten und aufgeweiteten Strahlungsfeld in 10 mm Tiefe auf dem der Einfallrichtung der Strahlung entgegengesetzt orientierten Radius der ICRU-Kugel erzeugt würde. Ein ausgerichtetes und aufgeweitetes Strahlungsfeld ist ein idealisiertes Strahlungsfeld, das aufgeweitet und in dem die Strahlung zusätzlich in eine Richtung ausgerichtet ist.  $H^*(10)$  ist unabhängig von der Einfallrichtung der Strahlung. Die Größe ist ein guter Schätzwert für die effektive Dosis und die Organdosis tiefer liegender Organe.

Für Photonen liefert  $H^*(10)$  eine konservative Abschätzung der effektiven Dosis bis zu Photonenenergien von über 10 MeV. Für Neutronen tritt insbesondere im Bereich  $1 \text{ eV} \leq E_n \leq 50 \text{ keV}$  eine Unterschätzung auf. Bei den in der Praxis auftretenden Neutronenspektren liefert  $H^*(10)$  in der Regel trotzdem eine ausreichend konservative Abschätzung der effektiven Dosis.

Lit.: VOG04

## Umgebungsüberwachung

Überwachung der Umgebung einer Anlage auf anlagenverursachte Schadstoffe, Lärm etc. unter Berücksichtigung definierter Messorte, z. B. Anlagengrenze, Siedlungszonen u. a. Die Überwachung kann auch durch selbsttätig registrierende und alarmgebende Messstationen erfolgen. Betreiber kerntechnischer Anlagen sind zur Umgebungsüberwachung verpflichtet.

## Umpackung

Begriff aus dem Gefahrgutrecht; eine Umpackung ist ein Behältnis, in dem mehrere →[Versandstücke](#) zusammen verpackt sind, wobei die Umpackung selbst nicht als Versandstück angesehen wird.

## Umschlossene radioaktive Stoffe

Nach § 3 Abs.2 Nr. 29b StrlSchV sind dies 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 0,2 cm betragen. Umschlossene radioaktive Stoffe müssen in der Regel nach § 66 Abs.4 StrlSchV auf Dichtheit überprüft werden.

Umschlossene radioaktive Stoffe finden in Forschung, Medizin und Industrie vielfältige Anwendung. Beispiele sind Kalibrierstrahler in der Forschung und Messtechnik, Großquellen zur Krebstherapie in der Medizin und Strahler zur Füllstands- oder Dichtemessung im Rahmen industrieller Prozesskontrollen.

## Umwandlung, radioaktive

Eine spontane Kernumwandlung, bei der Teilchen emittiert werden oder ein Hüllenelektron eingefangen wird oder eine spontane Spaltung eines Kerns eintritt.

## **Umweltbelastung**

Eine vom Menschen verursachte Störung von Ökosystemen, die zu Abweichungen von deren Normalverhalten führt.

## **Umweltverträglichkeitsprüfung**

Die Umweltverträglichkeitsprüfung ist ein verwaltungsbehördliches Verfahren, das der Entscheidung über die Zulässigkeit von Vorhaben dient. Die Umweltverträglichkeitsprüfung umfasst die Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der Auswirkungen eines Vorhabens auf Menschen, Tiere und Pflanzen, Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft, einschließlich der jeweiligen Wechselwirkungen, sowie auf Kultur- und sonstiger Sachgüter. Sie wird unter Einbeziehung der Öffentlichkeit durchgeführt. Das Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) enthält in seinem Anhang eine Auflistung der Vorhaben, für die eine Umweltverträglichkeitsprüfung vorzunehmen ist.

## **Unelastische Streuung**

→inelastische Streuung

## **Unfall**

Nach § 3 Abs.2 Nr. 35 StrlSchV ist der Unfall definiert als ein Ereignisablauf, der für eine oder mehrere Personen eine effektive Dosis von mehr als 50 Millisievert zur Folge haben kann. Technische Anlagen sind gegen Unfälle nicht auszulegen (z.B. wegen seiner sehr geringen Eintrittswahrscheinlichkeit), es sind jedoch Vorkehrungen gegen das Eintreten eines Unfalls zu treffen.

Zum Verhalten bei Unfällen und zur Vorsorge für Unfälle sind diverse Empfehlungen in der Fachliteratur enthalten. Beispiel dafür sind Empfehlungen der SSK zu Strahlenunfällen (SSK27, SSK32), Veröffentlichungen der ICRP zu beruflichen Not- und Unfallsituationen sowie zum Bevölkerungsschutz (ICRP80, ICRP88a) und Publikationen der IAEA (IAEASR7, IAEA02).

## **Unfall, größter anzunehmender**

→GAU

## **Ungeborenes Leben, Schutz des**

Zum Schutz des ungeborenen Lebens enthält die Strahlenschutzverordnung eine Reihe von Forderungen. Nach § 55 (4) StrlSchV beträgt der Grenzwert der Dosis aus äußerer und innerer Strahlenexposition vom Zeitpunkt der Mitteilung der Schwangerschaft bis zu deren Ende 1 mSv. Für gebärfähige Frauen ist generell die über einen Monat an der Gebärmutter kumulierte Dosis auf 2 mSv beschränkt. Für schwangere oder stillende Frauen müssen nach § 43 (2) StrlSchV die Arbeitsbedingungen so gestaltet werden, dass eine innere berufliche Strahlenexposition ausgeschlossen ist.

Probleme wirft die Dosisbegrenzung für das ungeborene Leben auf, wenn die Mutter vor Beginn der Schwangerschaft radioaktive Stoffe inkorporiert hat, die während der Schwangerschaft im Körper verbleiben und dadurch zu einer Exposition des Embryos und Fetus führen.

Zur Berechnung der Dosis des Ungeborenen bedingt durch Aktivitätszufuhr bei der Mutter gibt es Berechnungsvorgaben bei der ICRP /ICRP88/.

## **UNSCEAR**

Abk. für **United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation**; wissenschaftlicher Ausschuss der Generalversammlung der Vereinten Nationen über die Wirkung ionisierender Strahlung. UNSCEAR erstellt regelmäßig Berichte für die UN-Vollversammlung über die Strahlenexposition und die Wirkungen ionisierender Strahlung. Der jüngste Bericht „Sources and Effects of Ionizing Radiation“ mit über 1200 Seiten ist im Jahre 2000 erschienen.

## **Unterkritische Anordnung**

Anordnung aus Spaltstoff und eventuell Moderator, deren [→Multiplikationsfaktor](#) unter 1 liegt und in der somit keine Kettenreaktion aufrechterhalten werden kann.

## **Unterkritische Masse**

Spaltstoffmenge, die in ihrer Menge unzureichend oder in der Geometrie so angeordnet ist, dass sich in ihr keine Kettenreaktion aufrechterhalten kann.

## **Untersuchungsraum**

Bei der medizinischen Anwendung ionisierender Strahlen werden im Untersuchungsraum im Rahmen der radiologischen oder nuklearmedizinischen Diagnostik bildgebende Verfahren auf den Patienten angewendet. Die baulichen Anforderungen hinsichtlich Strahlenschutz und Geräteinstallation müssen erfüllt sein. (s. DIN 6814-5 [→DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## **Untersuchungsschwelle**

Wert der Körperdosis oder der Aktivitätszufuhr, bei dessen Überschreitung Untersuchungen über die Wirksamkeit von Strahlenschutzmaßnahmen erforderlich sind. Die Höhe des Wertes richtet sich nach der jeweiligen Betriebs- oder Anwendungsart. [→Interventionsschwelle](#)

## **Unterweisung**

Personen, denen der Zutritt zum Kontrollbereich gestattet wird, sind vor dem erstmaligen Zutritt zu unterweisen (§ 38 StrlSchV, § 36 RöV). Die Unterweisung ist auch erforderlich für Personen, die außerhalb von Kontrollbereichen mit radioaktiven Stoffen umgehen oder ionisierende Strahlen anwenden und für solche, die außerhalb von Kontrollbereichen Röntgenstrahlung im Rahmen einer genehmigungs- oder anzeigepflichtigen Tätigkeit anwenden.

Die Unterweisung muss folgende Inhalte aufweisen:

- Arbeitsmethoden
- mögliche Gefahren
- anzuwendende Sicherheits- und Schutzmaßnahmen

- die für die zu unterweisenden Personen wesentlichen Inhalte der Strahlenschutzverordnung sowie der Genehmigung
- die wesentlichen Inhalte der Strahlenschutzanweisung
- die Verwendung personenbezogener Daten zur Überwachung

Für Besucher, Patienten oder helfende Personen kann sich die Unterweisung auf die möglichen Gefahren und deren Vermeidung beschränken. Bei längerdauernden oder häufigeren Tätigkeiten ist die Unterweisung mindestens einmal im Jahr zu wiederholen. Inhalt und Zeitpunkt der Unterweisungen sind zu dokumentieren und vom Unterwiesenen durch Unterschrift bestätigen zu lassen.

Unterweisungen können mündlich, schriftlich oder durch Videofilme erfolgen. In Kernkraftwerken erfolgt die Unterweisung in der Regel durch einen Videofilm. Im Anschluss an den Film müssen Verständnisfragen beantwortet werden.

## Uran

Natürliches radioaktives Element der Kernladungszahl 92. Die in der Natur vorkommenden Isotope sind das spaltbare Uran-235 (0,7205% des natürlichen Urans), das mit thermischen Neutronen nicht spaltbare Uran-238 (99,2739% des natürlichen Urans) und das Uran-234, ein Folgeprodukt des radioaktiven Zerfalls des Uran-238 (0,0056%). Die Halbwertszeiten der Uranisotope sind sehr groß (→[Radionuklide, primordiale](#)): U-234:  $2,45 \cdot 10^5$  a, U-235:  $7,04 \cdot 10^8$  a, U-238:  $4,47 \cdot 10^9$  a

### Uran, abgereichertes

Uran mit einem geringeren Prozentsatz an U-235 als die im natürlichen Uran vorkommenden 0,7205%. Es fällt bei der Uranisotopentrennung an.

### Uran, angereichertes

Uran, bei dem der Prozentsatz des spaltbaren Isotops U-235 über den Gehalt von 0,7205% des Natururans hinaus gesteigert ist. Zur Anreicherung sind verschiedene Verfahren möglich: →[Diffusionstrennverfahren](#), →[Gaszentrifugenverfahren](#), →[Trenndüsenverfahren](#).

### Uran-Actinium-Zerfallsreihe

→[Zerfallsreihen, natürliche](#)

### Uran-Radium-Zerfallsreihe

→[Zerfallsreihen, natürliche](#)

### Uranhexafluorid UF<sub>6</sub>

UF<sub>6</sub> ist das Prozessmedium bei allen Trennverfahren zur Urananreicherung. Wesentlich ist hierbei, dass Fluor ein Reinelement ist und damit allein die Massenunterschiede von U-235 und U-238 den Trennvorgang bestimmen.

### Urantrennarbeit

→[Trennarbeit](#)

## Uranynitrat

Endprodukt der Wiederaufarbeitung,  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ , saure Uransalzlösung; es ist ein Vorprodukt des zu gewinnenden  $\text{UF}_6$ , das wiederum nach Anreicherung und Überführung in  $\text{UO}_2$  als Kernbrennstoff in Brennelementen eingesetzt wird.

## Urinprobe

Urinproben werden zur Untersuchung auf inkorporierte Aktivität analysiert. Urinproben sind zum Nachweis der Nuklide geeignet, die hinreichend am Stoffwechsel teilnehmen und somit über den Urin ausgeschieden werden. Prädestiniert sind Urinproben zum Nachweis von Tritium, das als Wasser (HTO) inkorporiert wurde. Die Probe wird in der Regel vor der Analyse aufbereitet. Das Aufbereitungsverfahren richtet sich nach den zu analysierenden Nukliden (z.B. Destillation bei HTO). Die Auswertung bezüglich Tritium erfolgt in der Regel mit Flüssigszintillationszählern. Die Nachweisgrenze liegt unter 100 Bq/l.

Die Aktivitätskonzentration des Tritiums im Urin nimmt bei einmaliger Inkorporation erst langsam, dann schneller mit der Zeit ab. Wurde Tritium als HTO inkorporiert, so beträgt die Aktivitätskonzentration im Urin 1 Tag nach der Inkorporation etwa 3% der inkorporierten Aktivität je Liter Urin. Nach 10 Tagen liegt der Wert bei etwa 1% und nach 100 Tagen bei etwa 0,01%. Bei chronischer Inkorporation, bei der gleichmäßig im Jahr inkorporiert wird, stellt sich nach etwa 2 Monaten eine Gleichgewichtsaktivitätskonzentration von etwa 0,1% der Jahresaktivitätszufuhr je Liter Urin ein.

(Lit.: VOG04, ICRP78)

## UTA

Abk. für Urantrennarbeit; → [Trennarbeit](#)



# V

## VAK

Abk. für das **Versuchsatomkraftwerk Kahl/Main**, Siedewasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 16 MW; die nukleare Inbetriebnahme erfolgte am 13.11.1960. Das VAK war das erste Kernkraftwerk in der Bundesrepublik Deutschland. Ende November 1985 wurde es endgültig außer Betrieb genommen. Die kumulierte Stromerzeugung betrug 2,1 TWh.

## Van-de-Graaff-Beschleuniger

Beschleuniger, bei dem die Hochspannung durch einen Van-de-Graaf-Generator erzeugt wird. Dieser transportiert durch ein nicht leitendes, endloses Band elektrische Ladungen auf eine isolierte Hohlkugel, die sich dadurch auf sehr hohe Spannung auflädt. Im Beschleunigungsrohr wird durch spezielle elektrische Anordnungen ein linearer Spannungsabfall erzeugt, durch den die geladenen Teilchen auf hohe Energien (bis 12 MeV) beschleunigt werden. Mit Protonen können Strahlströme von einigen 100 µA erreicht werden.

## VBA

Abk. für →[Verlorene Betonabschirmung](#)

## VE-Wasser

Abk. für **vollentsalztes Wasser**; durch Destillation oder Ionenaustauschverfahren gewonnenes demineralisiertes (entsalztes) Wasser für medizinische oder technische Zwecke.

## Verarmung

→[Abreicherung](#)

## Verbringung

Im Sinne von § 3 Abs.2 Nr. 36 StrlSchV wird unter Verbringung verstanden:

- Einfuhr in den Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung aus einem Staat, der nicht Mitgliedsstaat der Europäischen Gemeinschaften ist
- Ausfuhr aus dem Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung in einen Staat, der nicht Mitgliedsstaat der Europäischen Gemeinschaften ist
- Grenzüberschreitender Warenverkehr aus einem Mitgliedsstaat der Europäischen Gemeinschaften in den Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung oder in einen Mitgliedsstaat der Europäischen Gemeinschaften aus dem Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung

## Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf

Der Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V. (VKTA) hat den Auftrag, die zum Teil seit 1957 existierenden kerntechnischen Anlagen am Standort Rossendorf bei Dresden stillzulegen, abzubauen und die Kernbrennstoffe und radioaktiven Abfälle fachgerecht zu entsorgen. VKTA wurde vom Freistaat Sachsen mit einer Reihe weiterer Aufgaben auf dem Gebiet des Umwelt- und des Strahlenschutzes betraut. Für das am selben Standort ansässige Forschungszentrum Dresden Rossendorf (FZD) und für andere Partner erbringt der VKTA Dienstleistungen. Außerdem beteiligt sich der VKTA an Forschungs- und Entwicklungsvorhaben. Die Geschäftsfelder des VKTA sind:

- Umwelt- und Strahlenschutz,
- Rückbau kerntechnischer Anlagen,
- rückbaubegleitende Umweltanalytik,
- Entsorgung radioaktiver Abfälle.

Darüber hinaus betreibt der VKTA die Landessammelstelle des Freistaats Sachsen für radioaktive Abfälle.

Internet: [www.vkta.de](http://www.vkta.de)

## Verfestigung

Radioaktiver Abfall wird in der Regel erst durch Einbinden in eine Matrix durch Verfestigen endlagerfähig. Die Stabilität des Verfestigungsproduktes wird dabei den Erfordernissen der Abfallart, beispielsweise Radiotoxizität, Zerfallswärme, Halbwertszeit u. a. angepasst. Kriterien der Verfestigung sind:

- mechanische Beständigkeit zur Vermeidung von Dispergierung,
- Strahlenbeständigkeit zur Vermeidung von Radiolyse,
- Wärmeleitfähigkeit zur Abfuhr von Zerfallswärme.

Für schwach- und mittelaktiven Abfall sind z.B. Zementmörtel und für hochaktiven Abfall Borosilikatglas Verfestigungsmaterialien.

## Vergiftung

Einige der beim Betrieb eines Reaktors entstehenden Spaltprodukte haben einen großen Einfangquerschnitt für Neutronen (z. B. Xe-135). Um den Reaktor auf seiner Leistungsstufe zu halten, muss die Regeleinrichtung zur Kompensation des Reaktivitätsäquivalentes der Reaktorgifte verstellt werden. Reaktorgifte (z. B. Borsäurelösung) werden auch in wassermodierte Reaktoren zur Notabschaltung eingespritzt. Bei Druckwasserreaktoren wird Borsäurelösung zur Kompensation von →**Überschussreaktivität** verwendet.

## Verglasung

Die bei der →**Wiederaufarbeitung** anfallenden hochaktiven Spaltproduktlösungen müssen in ein endlagerfähiges Produkt überführt werden. Als geeignete Methode hierfür hat sich die Verglasung erwiesen. Beim französischen AVM-Verfahren wird die flüssige, hochaktive Abfalllösung auf hohe Temperaturen erhitzt. Dabei verdampft die Flüssigkeit, und das entstandene Granulat wird unter Zugabe von Glasfritte bei

1.100°C zu Glas geschmolzen. Dieses Verfahren wird großtechnisch in der französischen Wiederaufarbeitungsanlage La Hague genutzt. Bei dem im Forschungszentrum Karlsruhe entwickelten Verfahren wird die flüssige hochaktive Abfalllösung unmittelbar einer 1.150°C heißen Glasschmelze zugegeben; die Flüssigkeit verdampft und die radioaktiven Feststoffe sind homogen in die Glasschmelze eingelagert. Bei beiden Verfahren wird die Glasschmelze in 1,3 m hohe 150-l-Stahlbehälter, die etwa 400 kg Glasprodukt aufnehmen, abgefüllt. Die Wärmeproduktion eines solchen Behälters beträgt aufgrund des radioaktiven Zerfalls der Inhaltsstoffe 1,5 bis 2 kW.

## **Verglasungsanlage PAMELA**

Auf dem Gelände der Wiederaufarbeitungsanlage EUROCHEMIC in Mol/Belgien wurde im Oktober 1985 die 'Pilotanlage Mol zur Erzeugung lagerfähiger Abfälle' (PAMELA) in Betrieb genommen. Kennzeichnend für das PAMELA-Verfahren ist, dass die Spaltproduktlösung in einem keramischen Schmelzofen gleichzeitig eingedampft, denitriert, getrocknet, kalziniert und mit Glasfritte zu einem homogenen Glas verschmolzen wird.

## **Verglasungseinrichtung Karlsruhe**

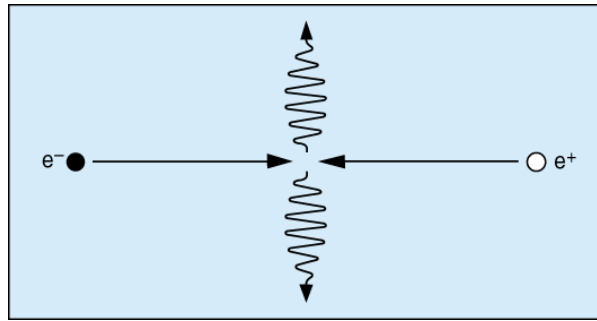
Auf dem Gelände der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe seit Anfang 1999 in Bau befindliche Anlage zur Verglasung der dort lagernden rund 60 m<sup>3</sup> flüssigen hochaktiven Abfalllösung; dieser Abfall stammt aus dem Betrieb der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe, in der zwischen 1971 und 1990 insgesamt 208 t abgebrannte Kernbrennstoffe wiederaufgearbeitet wurden. Diese 60 m<sup>3</sup> Spaltproduktlösung enthalten etwa 8 t Feststoffe, darunter 504 kg Uran und 16,5 kg Plutonium. Die Gesamtaktivität dieses flüssigen hochaktiven Abfalls beträgt zurzeit etwa 10<sup>18</sup> Becquerel. Der Glasschmelzofen der Verglasungseinrichtung wird elektrisch beheizt und hält das Schmelzbad eines speziellen Bor-Silikat-Glases auf einer Temperatur von etwa 1.150°C. Diesem Schmelzbad wird der flüssige Abfall zugeführt; dabei verdampft die flüssige Komponente, und die radioaktiven Feststoffe werden in die Glasschmelze eingelagert. Diese die Radioaktivität enthaltende Schmelze wird in 1,3 m hohe 150-l-Stahlbehälter abgefüllt. Nach Abkühlung werden die Behälter gasdicht verschweißt. Mit dieser Verfestigung ist eine Volumenreduzierung von 60 m<sup>3</sup> auf knapp 20 m<sup>3</sup> verbunden.

## **Verlorene Betonabschirmung (VBA)**

Abfallgebinde für stark strahlenden Abfall können zur Strahlenabschirmung in einen Betonbehälter gestellt und in diesem mit Zementmörtel vergossen werden. Diese Abschirmung ist mit dem Abfallgebinde praktisch unlöslich verbunden, gelangt daher mit in die Endlagerstätte und gilt damit als 'verloren'.

## **Vernichtungsstrahlung**

Beim Aufeinandertreffen eines Teilchens und eines Antiteilchens, z. B. Elektron und Positron, werden diese als Teilchen „vernichtet“ und die Masse dieser Teilchen in Energie umgewandelt. Elektron und Positron haben eine Ruhemasse, die zusammen einer Energie von 1,02 MeV entspricht. Bei der „Vernichtung“ beider Teilchen entstehen zwei Gammaquanten von je 0,511 MeV.



Auftreten von Vernichtungsstrahlung beim Aufeinandertreffen von Elektron und Positron. Es entstehen zwei Gammaquanten von jeweils 0,511 MeV

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Verordnung über radioaktive oder mit ionisierenden Strahlen behandelte Arzneimittel - AMRadV

Verordnung vom 19.1.2007, die regelt, unter welchen Bedingungen mit ionisierenden Strahlen behandelte Arzneimittel oder radioaktive Arzneimittel in Verkehr gebracht werden dürfen.

Quelle: BGBl. I Nr.2 vom 26.1.2007, S. 48 ff

## Versandstück

Bezeichnung für ein Transportgut im Zusammenhang mit der [→Beförderung radioaktiver Stoffe](#); je nach Art und Aktivität des zu transportierenden radioaktiven Stoffes sind verschiedene Versandstücktypen vorgeschrieben ([→GGVSE](#)), mit denen erreicht werden soll, dass die Transportrisiken tolerabel bleiben. Im Gefahrgutrecht werden folgende Versandstücktypen unterschieden:

1. Freigestelltes Versandstück
2. Industrierversandstücke in drei Klassen (IP-1, IP-2, IP-3)
3. Typ-A-Versandstück
4. Typ-B-Versandstücke (Typ B(U) und Typ B(M))
5. Typ-C-Versandstück

Die Anforderungen an die Eigenschaften der Versandstücke sowie die Randbedingungen unter denen sie verwendet werden dürfen, sind im [→ADR](#) festgeschrieben.

Die insbesondere für den Transport abgebrannter Brennelemente erforderliche sogenannte Typ-B-Verpackung muß entsprechend international vereinbarter Regelungen folgenden Tests standhalten:

- freier Fall aus 9 m Höhe auf ein mit einer Stahlplatte armiertes Betonfundament,
- freier Fall aus 1,2 m Höhe auf einen Dorn,
- Feuertest bei 800 °C über 30 Minuten im Anschluss an die Fallversuche,

- Untertauchen in Wasser über 8 Stunden bei mindestens 15 m Wassertiefe und über mindestens 1 h in mindestens 200 m Wassertiefe.

In den USA, England und Deutschland wurde diese Art von Behältern in speziellen Versuchsreihen noch höheren Belastungen ausgesetzt, ohne dass die Behälter undicht wurden:

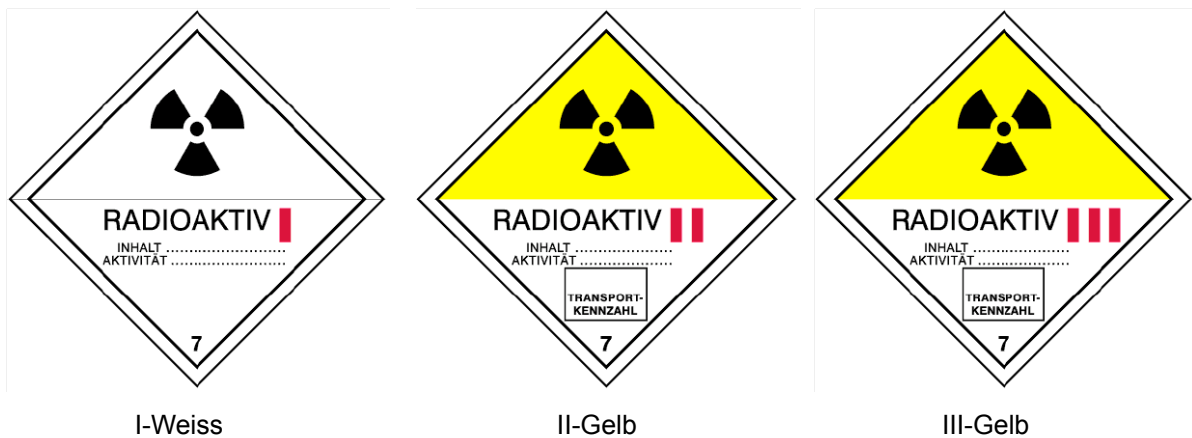
- Zusammenprall von Brennelementtransporter und Lokomotive (relative Geschwindigkeit 130 km/h),
- Fall aus 600 m Höhe auf harten Wüstenboden (ergibt eine maximale Aufprallgeschwindigkeit von 400 km/h),
- Aufprall eines tonnenschweren Projektils mit einer Geschwindigkeit von 300 m/s = 1080 km/h.

Jedes Versandstück muss einer von drei Versandstück-Kategorien zugeordnet werden: I-WEISS, II-GELB oder III-GELB. Die Zuordnung hängt von der Ortsdosisleistung an den Außenflächen des Versandstückes und der → [Transportkennzahl](#) ab. Die Versandstücke müssen auf zwei gegenüberliegenden Seiten entsprechend bezettelt werden.

Maximale Ortsdosisleistung an den Außenflächen in $\mu\text{Sv/h}$	Transportkennzahl	Versandstück-Kategorie
$\leq 5$	-	I-WEISS
$\leq 500$	$\leq 1$	II-GELB
$\leq 2000$	$\leq 10$	III-GELB

Versandstück-Kategorien (nach ADR)

Beispiele für die Bezettelung:



Lit.: GGVSE

## Versandstück-Kategorie

→Versandstück

## Versuchsreaktor

Kernreaktor, der speziell für die Prüfung von Materialien und Reaktorkomponenten unter Neutronen- und Gammaflüssen und Temperaturbedingungen eines normalen Kraftwerk-Reaktorbetriebes ausgelegt ist.

## verzögert-kritisch

Gleichwertig mit →kritisch; man benutzt den Begriff, um zu betonen, dass die verzögerten Neutronen (→Neutronen, verzögerte) notwendig sind, um den kritischen Zustand zu erreichen.

## Verzögerungsstrecke

Systemtechnische Komponente zur Verzögerung des Durchflusses radioaktiver Gase mit dem Ziel, die Aktivität vor der Abgabe der Gase abklingen zu lassen; die Verzögerungsstrecke enthält ein Adsorbermaterial, an das sich das radioaktive Gas anlagert. In Kernkraftwerken besteht die Verzögerungsstrecke aus mehreren, hintereinander geschalteten Behältern mit Aktivkohle, in denen die radioaktiven Edelgase so verzögert werden, dass die kurzlebigen Nuklide nach Durchlaufen der Strecke weitgehend abgeklungen sind. Typische Verzögerungszeiten im Kernkraftwerk sind 2 Tage für Krypton und 40 Tage für Xenon. Für die maßgeblichen Xenon-Isotope Xe-133 und Xe-135 mit Halbwertszeiten von 5,25 d bzw. 9,1 h bedeutet das eine Verzögerung von mindestens 105 Halbwertszeiten und damit praktisch ein vollständiges Abklingen. Nur die langlebigen Kryptonisotope (Kr-85 mit  $T_{1/2} = 10,76$  a) passieren die Verzögerungsstrecke dagegen praktisch ungeschwächt.

## Vial

Fachausdruck für Probenfläschchen, die in der messtechnischen Analytik verwendet werden (engl.: vial = Phiole, Fläschchen). Beispiel: Probenflasche für die Auswertung in einem Flüssigkeits-Szintillationszähler (LSC).



Beispiele für Vials; für LSC-Mesungen kommen nur klare Ausführungen in Frage

Quelle:

[http://www.globalspec.com/FeaturedProducts/Detail/Qosina/QosiPET\\_Vials\\_and\\_Test\\_Tubes/26673/0?fromSpotlight=1](http://www.globalspec.com/FeaturedProducts/Detail/Qosina/QosiPET_Vials_and_Test_Tubes/26673/0?fromSpotlight=1)

## Vielfachstreuung

In der Strahlungsphysik definiert als Streuung, bei der die Winkelverteilung der aus-tretenden Teilchen durch mehr als 20 Streuprozesse je Teilchen bestimmt ist. (DIN 6814-2, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#)).

## Vielfachzerlegung

→[Spallation](#)

## Vielkanalanalysator (VKA)

Gerät in der Messkette einer Spektrometrie-einrichtung; der VKA sortiert die ein-gehenden Detektorimpulse nach Impulshöhen, digitalisiert sie im integrierten Analog-Digital-Umwandler und ordnet sie entsprechend der Signalhöhe (und damit der Teil-chenenergie) in das Kanalraster des Spektrums ein. Vielkanalanalysatoren besitzen oft über 8.000 Kanäle. →[Spektrometrie](#)

## Virtueller Quellpunkt

Begriff aus der Bestrahlungstechnik; der virtuelle Quellpunkt beschreibt die Lage des Quellbereiches einer Röntgen- bzw. Bestrahlungseinrichtung.

In der Teletherapie ist der virtuelle Quellpunkt der rückwärtige Schnittpunkt der in die Körperoberfläche eintretenden Nadelstrahlen. Die Lage des virtuellen Quellpunktes hängt i.a. von der Energie der Strahlung und der Strahlenart ab. Er kann z.B. durch Lochkameraaufnahmen gemessen werden (s. DIN 6814-2, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## VKA

Abk. für →[Vielkanalanalysator](#)



## VKTA

Abk. für → [Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf](#)

## Vollschutzanzug

Schutzanzug, der den gesamten Körper bedeckt → [Schutzkleidung](#)

## Vollschutzgerät

Röntgeneinrichtung mit folgenden Eigenschaften:

- Das Schutzgehäuse muss außer der Röntgenröhre oder dem Röntgenstrahler auch den zu behandelnden oder zu untersuchenden Gegenstand vollständig umschließen.
- Die Ortsdosisleistung im Abstand von 0,1 m von der berührbaren Oberfläche des Schutzgehäuses darf 7,5  $\mu\text{Sv/h}$  nicht überschreiten. Dabei sind die vom Hersteller oder Einführer angegebenen maximalen Betriebsbedingungen zugrunde zu legen.
- Durch zwei voneinander unabhängige Vorrichtungen muss sichergestellt sein, dass
  - die Röntgenröhre oder der Röntgenstrahler nur bei vollständig geschlossenem Schutzgehäuse betrieben werden kann oder
  - bei Untersuchungsverfahren, die einen kontinuierlichen Betrieb der Röntgeneinrichtung erfordern, das Schutzgehäuse während des Betriebes des Röntgenstrahlers nur bei geschlossenem Strahlenaustrittsfenster geöffnet werden kann und hierbei im Inneren des Schutzgehäuses die Ortsdosisleistung 7,5  $\mu\text{Sv/h}$  nicht übersteigt.

Bei Vollschutzgeräten ist eine Bestellung von → [Strahlenschutzbeauftragten](#) nicht erforderlich.

## Volumenbezogene Reaktionsrate

→ [Reaktionsrate, volumenbezogene](#)

## Vorsilben für Maßeinheiten

Bei der Angabe von Messwerten ist es üblich, anstelle großer Zahlenangaben oder der Angabe von Zehnerpotenzen eine Vorsilbe vor die Maßeinheit zu setzen.

Beispiel: Vorsilbe „kilo“ (Symbol: k) für den Faktor 1000 →  $1000 \text{ m} = 10^3 \text{ m} = 1 \text{ km}$   
oder „mikro“ (Symbol:  $\mu$ ) für den Faktor 0,000 001 →  $0,000 \text{ 001 m} = 10^{-6} \text{ m} = 1 \mu\text{m}$

Die gebräuchlichen Vorsilben sind in folgender Tabelle dargestellt:

Vorsilbe	Faktor	Symbol	Vorsilbe	Faktor	Symbol
Exa	$10^{18}$	E	dezi	$10^{-1}$	d
Peta	$10^{15}$	P	zenti	$10^{-2}$	c
Tera	$10^{12}$	T	milli	$10^{-3}$	m
Giga	$10^9$	G	mikro	$10^{-6}$	$\mu$
Mega	$10^6$	M	nano	$10^{-9}$	n
Kilo	$10^3$	k	piko	$10^{-12}$	p
Hekto	$10^2$	h	femto	$10^{-15}$	f
Deka	10	da	atto	$10^{-18}$	a

Vorsilben für Maßeinheiten

### **Vorsorge, arbeitsmedizinische**

Ärztliche Untersuchung, gesundheitliche Beurteilung und Beratung einer beruflich strahlenexponierten Person durch einen ermächtigten Arzt (nach § 60, 63, 64 StrlSchV bzw. § 37 und 40 RöV).

# W

## Wahrscheinlichkeitskoeffizient

Quotient aus der organ-, geschlechts- und altersabhängigen Eintrittswahrscheinlichkeit einer bestimmten Strahlenwirkung und der Organdosis (Def. DIN 6814-5, →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Wahrscheinlichste Energie

Die wahrscheinlichste Energie von Strahlungsteilchen, deren Energien einer spektralen Verteilung gehorchen, ist die Teilchenenergie im Maximum der spektralen Verteilung. (Def. nach DIN 6814.2 →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## WAK

Abk. für →[Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe](#)

## Wanderwellen-Beschleuniger

Linearbeschleuniger, bei dem die zu beschleunigenden Teilchen synchron mit einer sich im Beschleunigungsrohr ausbreitenden Welle mitlaufen. Das Beschleunigungsrohr ist mit aufeinander folgenden Lochscheiben versehen, deren Potential mit der wellenförmigen Feldstärke so variiert, dass die Teilchen immer eine in Beschleunigungsrichtung wirkende Kraft erfahren.

Lit.: VOG04

## Warme Werkstatt

→[Heiße Werkstatt](#)

## Washout

Nasse Ablagerung radioaktiver Stoffe infolge Auswaschens aus einer Wolke durch Regen

## Wasserstoffbombe

Kernwaffe, die die Energiefreisetzung von Kernfusionsreaktionen nutzt; es dürfte sich um die Reaktionen  ${}^6\text{Li}(n,\alpha) {}^3\text{H} + 4,8 \text{ MeV}$  und  ${}^3\text{H}(d,n) {}^4\text{He} + 17,6 \text{ MeV}$  handeln. Zur Zündung, d. h. zum Erreichen der zur Fusion erforderlichen Temperatur, wird eine →[Atombombe](#) benutzt. Die mit Wasserstoffbomben erreichbare Explosionsstärke übertrifft die der Atombomben bei weitem, das Zerstörungsäquivalent erreicht das von einigen Megatonnen TNT (Trinitrotoluol), einem chemischen Sprengstoff. Die erste Wasserstoffbombe wurde am 1. März 1954 auf dem Bikini-Atoll gezündet.

## Wasserwerke und Strahlenexposition

Die Strahlenexposition in Wasserwerken wird im Wesentlichen durch Inhalation des natürlichen Radionuklids Rn-222 und seiner Folgeprodukte verursacht, das mit dem Grundwasser in die Wasserwerke gepumpt wird. Je nach geologischer Lage schwanken die Radonkonzentrationen stark. Es wurden Maximalwerte im Wasser von über 1000 kBq/l gemessen, was zu einer Aktivitätskonzentration in der Raumluft der Wasserwerke von einem tausend Bq/m<sup>3</sup> führen kann. Die dadurch verursachten Strahlenexpositionen des Personals können erheblich sein (effektive Dosen über 10 mSv im Jahr). Sie können durch Lüftungstechnische Massnahmen deutlich reduziert werden, z.B. durch Lüftungstechnische Abtrennung der Beckenbereiche von Bedienungsgängen und Absaugung über Filter. Die mittlere effektive Dosis der Beschäftigten in Wasserwerken Westsachsens betrug im Jahr 2002 1,3 mSv. (VOG04) s. auch →[Radon](#)

## Wechselwirkung

Einfluss eines physikalischen Körpers auf einen anderen Körper oder auch die Koppelung zwischen einem Feld und einem Körper. Es gibt Wechselwirkungen verschiedenster Art, z. B. Gravitationswechselwirkung, elektromagnetische Wechselwirkung, schwache Wechselwirkung, starke Wechselwirkung.

### Wechselwirkung, schwache

Wechselwirkung zwischen Elementarteilchen, bei der die Parität nicht erhalten bleibt, z. B. Betazerfall.

### Wechselwirkung, starke

Die starke Wechselwirkung bewirkt die zusammenhaltenden Kräfte der Nukleonen im Atomkern. Sie ist neben der elektromagnetischen und der schwachen Wechselwirkung die dritte bekannte Wechselwirkung zwischen den Elementarteilchen. Die starke Wechselwirkung verhält sich zur elektromagnetischen, zur schwachen und zur Gravitationswechselwirkung wie  $1 : 10^{-3} : 10^{-15} : 10^{-40}$ .

### Weglänge, mittlere freie

Die von einem Teilchen (Photon, Atom oder Molekül) zwischen aufeinander folgenden Stößen zurückgelegte mittlere Weglänge.

## Wellenstrahlung

Im Gegensatz zur →[Korpuskularstrahlung](#) ist die Wellenstrahlung nicht mit Materietransport verbunden. Bei der ionisierenden Wellenstrahlung handelt es sich um →[elektromagnetische Strahlung](#) mit sehr geringer Wellenlänge  $\lambda$  und entsprechend hoher Frequenz  $\nu$ .

## Weichteilgewebe

Für dosimetrische Zwecke gilt als Weichteilgewebe ein homogenes Material der Dichte 1 mit einer Zusammensetzung (nach Massegehalt) aus 10,1% Wasserstoff, 11,1% Kohlenstoff, 2,6% Stickstoff und 76,2% Sauerstoff.

## Wichtungsfaktor

→Gewebe-Wichtungsfaktor, →Strahlungs-Wichtungsfaktor

## Wiederaufarbeitung

Zusammenfassende Bezeichnung für die Rückgewinnung von unverbrauchtem oder erbrütetem Kernbrennstoff aus abgebrannten Brennelementen

## Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe

Die Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) war ausgelegt auf einen Durchsatz von maximal 35 t Uran bei 200 Betriebstagen pro Jahr mit einer Anreicherung bis 3% U 235-Äquivalent. Der Aufschluss der Brennelemente erfolgte im →Chop-Leach-Verfahren, die U/Pu-Trennung im zweizyklischen →PUREX-Prozess mit 30% TBP in n-Dodekan. Seit der Inbetriebnahme der Anlage im Jahr 1971 wurden bis zum Ende des Auflösebetriebs im Jahr 1990 rund 200 t bestrahlter Kernbrennstoff aufgearbeitet und über 1 t Plutonium abgetrennt. Das gesamte in der WAK abgetrennte Plutonium entspricht bei 70% spaltbarem Anteil dem Energieinhalt von 1,5 Mio. t Steinkohle. Der bei der Wiederaufarbeitung angefallene hochaktive, flüssige Abfall mit einem Volumen von 60 m<sup>3</sup> wird auf dem WAK-Gelände gelagert. Zu seiner Verfestigung in ein endlagerfähiges Produkt wird zurzeit auf dem Gelände der WAK die →Verglasungseinrichtung Karlsruhe errichtet. Die Arbeiten zur Demontage der WAK haben 1996 begonnen; sie sollen im Jahr 2009 mit dem Zustand 'grüne Wiese' abgeschlossen sein.

## Wigner-Effekt

Durch Bestrahlung - überwiegend durch schnelle Neutronen - hervorgerufene Veränderung der Gitterstruktur von Graphit, bei der Energie (→Wigner-Energie) gespeichert wird.

## Wigner-Energie

Gespeicherte Energie im bestrahlten Graphit eines Graphit-moderierten Reaktors; die auf Zwischengitterplätzen sitzenden Graphitatomkerne bewirken diese Energiespeicherung (→Wigner-Effekt). Bei Graphittemperaturen über 250 °C rekombinieren diese Fehlstellen. Dabei wird Energie, die Wigner-Energie, frei.

## Wirkungsquerschnitt

Maß für die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Reaktion; der Wirkungsquerschnitt stellt die scheinbare Fläche dar, die ein Zielkern einem ankommenden Teilchen bietet. Der Wirkungsquerschnitt wird in Flächeneinheiten angegeben. Häufig werden Wirkungsquerschnitte in der Einheit Barn - Einheitenkurzzeichen: b - angegeben. 1 Barn ist gleich 10<sup>-28</sup> m<sup>2</sup>.

## Wirkungsquerschnitt, effektiver

Der effektive Wirkungsquerschnitt  $\sigma_{\text{eff}}$  wird für ein Strahlenfeld mit einer definierten Energieverteilung so definiert, dass mit der über alle Energien aufsummierten Flussdichte  $\varphi$  unmittelbar die totale Reaktionsrate berechnet werden kann: z.B. gilt für die volumenbezogene Reaktionsrate

$$\frac{dn_Y}{dt} = n_a \sigma_{\text{eff}} \varphi$$

## Wirkungsquerschnitt, totaler

Summe aller Wirkungsquerschnitte für alle Wechselwirkungen, denen eine Teilchenart unterliegt (z.B. elastische Streuung, inelastische Streuung, Einfangreaktion); Zeichen:  $\sigma_T$

## Wirkungsquerschnittsdichte

Die Wirkungsquerschnittsdichte  $\Sigma$  ist für Kernreaktionen definiert als das Produkt aus der Anzahldichte der Atome  $n_a$  im durchstrahlten Material und dem Wirkungsquerschnitt  $\sigma$ :  $\Sigma = n_a \cdot \sigma$

Die Wirkungsquerschnittsdichte kann auf eine bestimmte Reaktion bezogen sein. So bezeichnet  $\Sigma_{\gamma,e}$  die Wirkungsquerschnittsdichte für die Erzeugung eines Elektrons durch den Photoeffekt. Speziell für Neutronen ist auch die Bezeichnung makroskopische Wirkungsquerschnittsdichte gebräuchlich.

## Wirkungsquerschnittsdichte, makroskopische

→[Wirkungsquerschnittsdichte](#)

## Wirkungsquerschnittsdichte, totale

Die totale Wirkungsquerschnittsdichte  $\Sigma_T$  ist die Summe der Wirkungsquerschnittsdichten für alle möglichen Wechselwirkungsprozesse einer Teilchenart (DIN 6814-2 →[DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))

## Wischprobe

→[Wischtest](#)

## Wischtest

Zur Feststellung einer auf Festkörperoberflächen vorhandenen, nicht fest haftenden radioaktiven Kontamination dient neben der direkten Messung der Wischtest (oder Wischprobe). Bei diesem einfach zu handhabenden Test durch Abwischen, z. B. mittels Papiervlies, gelangt ein Teil der auf der Oberfläche haftenden Kontamination auf das Papier und kann ausgemessen werden. Sofern nichts anderes bekannt ist, wird unterstellt, dass beim Abwischen 10 % der vorhandenen abwischbaren Aktivität auf dem Wischtest haften bleibt. Die abgewischte Fläche muss sich bei rechtserheblichen Messungen an den Vorgaben des Regelwerks (z.B. Strahlenschutzverordnung oder Gefahrgutverordnung) zu den maximal zulässigen Mittlungsflächen orientieren

(z.B. 300 cm<sup>2</sup> bei Messungen nach § 44 Abs.3 StrISchV). Da eine genaue Einhaltung der Mittlungsfläche oft schwierig und in Bereichen erhöhter Ortsdosisleistung auch nicht immer sinnvoll ist, wird in der Praxis häufig eine größere Fläche abgewischt und die ermittelte Aktivität auf die kleinere Mittlungsfläche bezogen. Die so erhaltene flächenbezogene Aktivität ist größer als der wahre Wert.

Falls die abgewischte Fläche kleiner als die maximale Mittlungsfläche ist, darf maximal über die gewischte Fläche gemittelt werden.



Wischttest-Papier; das kreisförmige Papier kann nach der Wischttestnahme durch Umklappen der unteren Hälfte der Trägerfolie geschützt werden

Quelle: ENS Nuclear Service GmbH

## WL

Abk. für [→Working Level](#); Maßeinheit für die Radonexposition im Uran-Bergbau

## WLM

Abk. für **Working Level Month**; Dosiseneinheit für Expositionen durch Radon und Folgeprodukte im Uranbergbau. [→Working Level](#)

## Working Level

Im Uran-Bergbau übliche Maßeinheit (Abk. WL) für die potentielle Alphaenergie-Konzentration ([→potentielle Alphaenergie-Exposition](#)) der kurzlebigen Radon-Folgeprodukte;  $1 \text{ WL} = 1,3 \cdot 10^8 \text{ MeV/m}^3$ .

1 WL entspricht der potentiellen Alphaenergie-Konzentration, die durch eine gleichgewichtsäquivalente Radonkonzentration von 3,7 kBq/m<sup>3</sup> erzeugt wird.

Als Dosiseneinheit wird im Uran-Bergbau oft die Größe „Working Level Month“ (Abk. WLM) verwendet, die sich an der Arbeitszeit im Bergbau von 170 h im Monat orientiert.:  $1 \text{ WLM} = 1 \text{ WL} \cdot 170 \text{ h} = 3,54 \text{ mJ h / m}^3$ .



Die effektive Folgedosis  $H$  (in mSv) ist verknüpft mit der Dosisgröße WLM durch die Beziehung:

$$\begin{array}{ll} H = 5,1 \text{ WLM} & \text{(für Berufstätige)} \\ H = 3,9 \text{ WLM} & \text{(für Personen der Bevölkerung)} \end{array}$$

Lit.: BMU03, VOG04

# X

## X-Strahlen

Konrad Wilhelm Röntgen bezeichnete die später nach ihm benannten Strahlen als X-Strahlen. Im angelsächsischen Sprachraum ist diese Bezeichnung nach wie vor üblich. →[Röntgenstrahlung](#)

## Xenon

Edelgas, dessen radioaktive Isotope besonders in Kernkraftwerken eine Rolle spielen. Xe-133 ( $\beta^-$ -Strahler,  $E_{\beta\text{max}}=0,3$  MeV,  $T_{1/2}=5,25$  d) und Xe-135 ( $\beta^-$ -Strahler,  $E_{\beta\text{max}}=0,9$  MeV,  $T_{1/2}=9,1$  h) werden weitgehend in den Verzögerungsstrecken des Abgassystems zurückgehalten. Xe-135 hat zudem einen großen Einfangquerschnitt für thermische Neutronen ( $\sigma = 2,65 \cdot 10^6$  barn) und wirkt daher auch als Neutronengift →[Xenonvergiftung](#)

## Xenon-Zählrohr

Zum Nachweis von Oberflächenkontaminationen, die im wesentlichen Photonenstrahlung emittieren, werden Großflächenzählrohre mit nicht radioaktivem Xenon als Zählgas verwendet, weil Xenon wegen der hohen Ordnungszahl eine höhere Wechselwirkungswahrscheinlichkeit mit Photonen aufweist als die sonst üblichen Kohlenwasserstoffe. Für Xenon-Zählrohre können auch dickere Folien über dem Eintrittsfenster verwendet werden (typischerweise mehrere  $\text{mg}/\text{cm}^2$ ) und das Zählgas muss nicht regelmäßig erneuert werden (abgeschmolzenes Zählrohr). Typisches Ansprechvermögen bei flächenhafter Kontamination: C14: 14%, Sr-90/Y-90: 5%, Tl-204: 43%

## Xenonvergiftung

Verminderung der →[Reaktivität](#) eines Reaktors durch den sehr starken Neutroneneinfang im Spaltprodukt Xe-135; der Anstieg der Xe-135-Konzentration nach dem Abschalten eines Reaktors - Xe-135 entsteht durch den Zerfall des Vorläufernuklids I-135 mit einer Halbwertszeit von 6,6 Stunden - kann bewirken, dass der Reaktor erst nach Abklingen der Xe-135-Konzentration wieder angefahren werden kann. Das Maximum der Xe-135-Konzentration wird nach etwa 12 Stunden erreicht.

## XRD

Abk. für →[Röntgendiffraktometrie](#) (aus dem engl. **X-Ray Diffraction**)

# Y

## **Yellow cake**

Endprodukt der Uranerzbearbeitung; Yellow Cake ("gelber Kuchen") besteht zu rund 80 % aus Uran, überwiegend  $U_3O_8$  und Beimengungen von Ammoniumdiuranat. Aus zwei Tonnen abgebautem Uranerz wird ungefähr ein Kilogramm Yellow Cake gewonnen. Der Name rührt von der Farbe und der Struktur des Produkts aus den früheren Verarbeitungsprozessen her. Das heutige Fertigprodukt ist nicht mehr gelb sondern braun bis schwarz.

# Z

## Zählrohr

Rohrförmiger Detektor zum Nachweis radioaktiver Strahlung

→Geiger-Müller-Zählrohr, →Proportionalzählrohr

## Zahnkeramik

Zahnkeramik, die zur Herstellung von Kunstzähnen verwendet wird, kann Uran mit spezifischen Aktivitäten von unter 500 Bq/kg enthalten. In Dentallaboren, in denen dieses Material bearbeitet wird, sind die Beschäftigten Strahlenexpositionen ausgesetzt, die geringer als 1 mSv im Jahr eingeschätzt werden (VOG04).

## Zehntelwertschichtdicke

Schichtdicke eines Abschirmmaterials, welche die Dosisleistung eines kollimierten Photonenstrahlenbündels auf ein Zehntel des Ursprungswerts (ohne Abschirmung) verringert (→Halbwertschichtdicke). Eine Zehntelwertschichtdicke entspricht 3,32 Halbwertschichtdicken.

## Zeitkonstante

Charakteristische Größe für die Impulsratenmessung in Strahlenfeldern (z.B. bei der Ortsdosisleistungsmessung); die Zeitkonstante bestimmt die Zeit, über welche die im Detektor registrierten Impulse gezählt werden und mithilfe der die Impulsrate ermittelt wird. Bei ortsveränderlicher Messung muss die Bewegung des Messgerätes mit der Zeitkonstante abgestimmt werden. Bei plötzlich veränderten Strahlungsverhältnissen wird erst nach Ablauf einer Zeitkonstante mehr als 63% des Messwertes angezeigt. Bei Messgeräten mit einstellbarer Zeitkonstante muss diese so gewählt werden, dass ihre Länge einerseits die Messung nicht unnötig behindert, andererseits bei sehr kleiner Zeitkonstanten die statistischen Schwankungen nicht zu groß werden. Die Beachtung der Zeitkonstanten ist insbesondere bei der dynamischen Kontaminationsmessung mit Großflächenzählrohren von Bedeutung. Bei Ortsdosisleistungsmessgeräten passt sich die Zeitkonstante häufig automatisch der Impulsrate an.

## Zellteilungsphase

Phase, in der sich die Zellen teilen; in dieser Phase sind die Zellen besonders strahlenempfindlich. Dies führt zu einer hohen Strahlenempfindlichkeit von Geweben oder Organen mit hohen Zellteilungsraten: Knochenmark, Haut, embryonales Gewebe

## Zelle, heiße

→Heiße Zelle

## Zentrifuge

→Gaszentrifugenverfahren

## Zeolith

Silikatmineral, das wegen seiner zerklüfteten und porenreichen Struktur im Strahlenschutz als Adsorptionsmittel in der Raumluftüberwachung eingesetzt wird; die in der Raumluft enthaltenen radioaktiven Stoffe, insbesondere Iod und Aerosole, werden in Zeolith-Filtern zurückgehalten und können durch Messung des Zeolith-Materials im Labor bestimmt werden. Eine wesentliche Kenngröße für die Anwendung des Zeoliths ist die Größe der Poren, welche die Hohlräume im Kristallgitter miteinander verbinden. Typische Porenweiten für die Anwendung im Strahlenschutz sind ca. 0,3 - 0,5 nm. Zeolith kommt auch als Adsorptionsmaterial in Molekularsieben zur Anwendung.

## Zerfall, radioaktiv

→Radioaktiver Zerfall

## Zerfallsenergie

Die bei einem radioaktiven Zerfall freigesetzte Energie.

## Zerfallskonstante

Die Zerfallskonstante eines radioaktiven Zerfalls ist gleich dem Reziprokwert der mittleren Lebensdauer  $\tau$  (→Lebensdauer, mittlere). Zwischen der Zerfallskonstanten  $\lambda$ , der mittleren Lebensdauer  $\tau$  und der →Halbwertszeit  $T$  bestehen folgende Beziehungen:

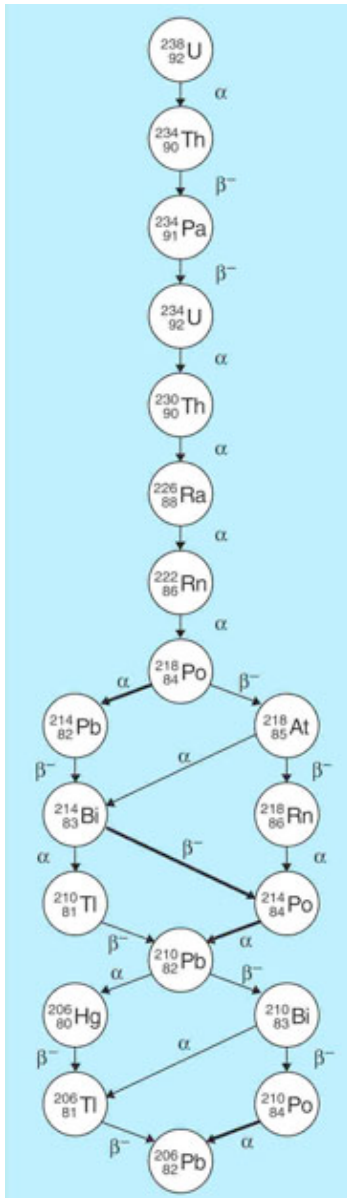
$$\lambda = \frac{1}{\tau} = \frac{\ln 2}{T}$$

Die Zerfallskonstante bestimmt im Zerfallsgesetz die Veränderung der Aktivität  $A$  eines radioaktiven Stoffes:

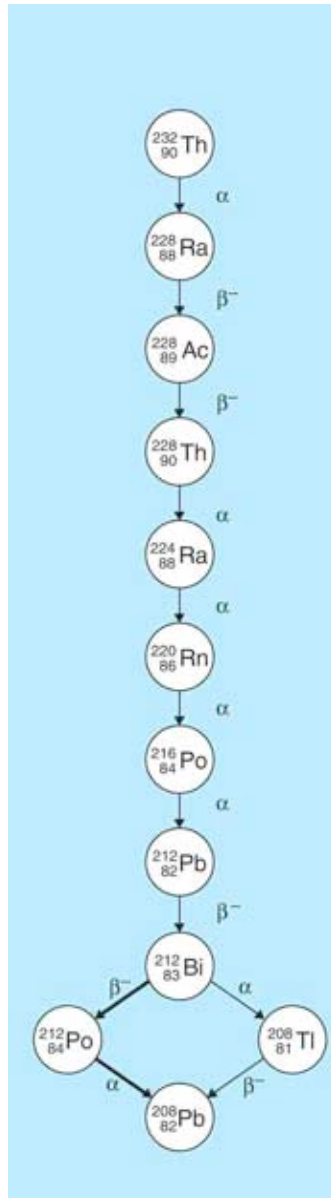
$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

## Zerfallsreihen, natürliche

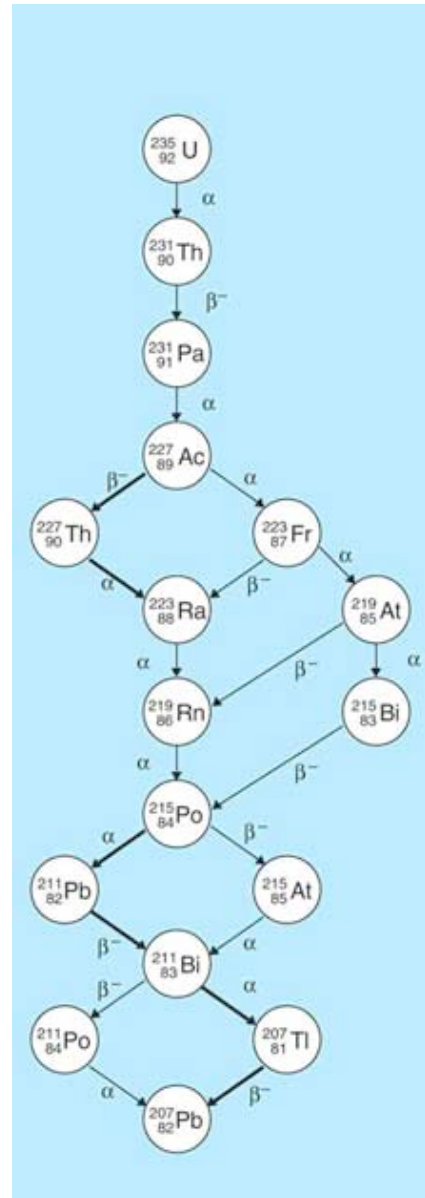
Die beim Zerfall der sehr langlebigen natürlichen Radionuklide U-238 (Halbwertszeit 4,5 Mrd. Jahre), U-235 (Halbwertszeit 0,7 Mrd. Jahre) und Th-232 (Halbwertszeit 14 Mrd. Jahre) entstehenden Nuklide sind wieder radioaktiv, so dass sie ihrerseits wieder zerfallen. So entstehen sogenannte Zerfallsreihen, die erst enden, wenn ein nicht mehr radioaktives Nuklid entsteht. Vom U-238 geht die Uran-Radium-Zerfallsreihe aus, die über 18 Zwischenstufen beim stabilen Blei-206 endet. Uran-235 steht am Anfang der Uran-Actinium-Zerfallsreihe, die über 15 Radionuklide zum Blei-207 führt. Mit zehn Zwischenstufen ist die bei Thorium-232 beginnende und zum Blei-208 führende Thorium-Zerfallsreihe die kürzeste.



Uran-Radium-Reihe



Uran-Actinium-Reihe



Thorium-Reihe

Quelle: Informationskreis Kernenergie, Lexikon zur Kernenergie  
[http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010\\_01.pdf](http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service/021lexikon2010_01.pdf)

## Zerstörungsfreie Prüfung

Prüfung zum Nachweis verborgener Fehler in Materialien mit Methoden, die die Prüflinge nicht beschädigen oder zerstören; häufig werden Röntgenstrahlung, Gammastrahlung, Ultraschall oder Wirbelstrom verwendet.

Bei der zerstörungsfreien Prüfung mit Gamma- oder Röntgenstrahlung wird das zu prüfende Material zwischen Strahlenquelle und einem strahlungsempfindlichen Film gebracht (dieser wird häufig auf die Rückseite des Prüfstückes geklebt). Materialun-  
 gängen wie Schweißnahtfehler oder Lunker sind als Helligkeitsunterschiede auf dem belichteten Film erkennbar.

Als radioaktive Strahlenquellen werden meistens die Radionuklide Co-60, Se-75, Ir-192 und Yb-169 eingesetzt. Die Aktivitäten sind hoch und betragen bis zu etwa  $10^{13}$  Bq bei ortsveränderlichem Umgang und bis zu  $10^{15}$  Bq bei ortsfestem Umgang. Dementsprechend werden hohe Anforderungen an die Abschirmung der Quellen und deren fernbediente Handhabung gestellt. Die Quellen werden über ein spezielles Schlauchsystem erst unmittelbar vor der Prüfung fernbedient aus dem Abschirmbehälter herausgefahren und nach der relativ kurzen Bestrahlung wieder in die abgeschirmte Position zurück verfahren.

Bei ausgefahrener Quelle treten in der Umgebung des Strahlers hohe Ortsdosisleistungen auf, die eine Absperrung der Prüfbereiche erforderlich machen. Insbesondere beim ortsveränderlichen Umgang auf Baustellen sind dazu weiträumige Absperrungen erforderlich, deren Kontrolle in der Praxis nicht trivial ist. Die Prüfungen werden aus diesen Gründen häufig in ansonsten arbeitsfreie oder arbeitsarme Stunden verlegt (Nachtzeiten, arbeitsfreie Tage). Gleiches gilt für die Prüfung mit ortsveränderlichen Röntgengeräten. Strahlenschutzregeln für die zerstörungsfreie Prüfung mit Gammaquellen und Röntgeneinrichtungen sind in DIN-Normen festgelegt (DIN 54113, DIN 54115 → [DIN-Normen zum Strahlenschutz](#))



Beispiel für eine mobile Prüfeinrichtung zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung; die Strahlungsquelle wird über den hinteren Schlauch in die Prüfposition gefahren. Die Endposition ist über das Dreibein im Hintergrund definiert.

Quelle: MDS Nordion; [www.mds.nordion.com](http://www.mds.nordion.com)



Prüfmanipulator für zerstörungsfreie Materialprüfungen an Rohrleitungen (Rohrmo)lch)

Der Manipulator fährt fernbedient durch die Rohrleitung; an vorbestimmten Prüfpositionen wird die Strahlenquelle ausgefahren.

Eigenschaften (Beispiel): Länge 1,25 m, Durchmesser 0,14 m, Gewicht 36 kg (mit Ir-192-Quelle),  
Mo)lchgeschwindigkeit (horizontal) ca. 14 m/min,  
max. prüfbare Rohrlänge mit einer Batterieladung ca. 2 km

Quelle: MDS Nordion; [www.mds.nordion.com](http://www.mds.nordion.com)

## Zirkaloy

Legierung auf der Basis von Zirkon und Zinn, die als Werkstoff für Brennstabhüllen verwendet wird. Das Zirkon wird im Reaktorkern aktiviert. Das radioaktive Zr-95 und seine radioaktive Tochter Nb-95 können über Oxidschichten auf den Brennstäben in das Kühlmittel gelangen und bilden in den Kraftwerksrevisionen eine wesentliche Quelle für Gammastrahlung im Bereich des Brennelement-Beckens.

## Zivilisatorischen Strahlenexposition

→[Strahlenexposition, zivilisatorische](#)

## ZLFR

Schulungsreaktor des Fachbereichs Maschinenwesen der Hochschule Zittau/Görlitz; der ZLFR ist ein leichtwassermoderierter, druckloser thermischer Nulleistungsreaktor vom Tanktyp mit einer Leistung von 10 Watt. Betriebsbeginn: 25.05.1979. Auf Grund der Regelungen im Einigungsvertrag wurde er am 24.03.2005 endgültig abgeschaltet.

## Zufuhr

→[Aktivitätszufuhr](#)



## Zusatz radioaktiver Stoffe

Im Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung wird der Zusatz radioaktiver Stoffe definiert als zweckgerichteter Zusatz von Radionukliden zu Stoffen zur Erzeugung besonderer Eigenschaften, wenn

- der Zusatz künstlich erzeugter Radionuklide zu Stoffen dazu führt, dass die spezifische Aktivität im Produkt 500 Mikrobecquerel je Gramm überschreitet, oder
- der Zusatz natürlich vorkommender Radionuklide dazu führt, dass deren spezifische Aktivität im Produkt ein Fünftel der Freigrenzen der Anlage III Tabelle 1 Spalte 3 StrlSchV überschreitet.

Es ist unerheblich, ob der Zusatz aufgrund der Radioaktivität oder aufgrund anderer Eigenschaften erfolgt. (§ 3 Abs.2 Nr. 38 StrlSchV)

## Zustand, angeregter

→angeregter Zustand

## Zwischenfall

Als Zwischenfall wird in einer kerntechnischen Anlage ein →Störfall bezeichnet, der zu sicherheitstechnisch bedeutsamen Schäden an Anlagenteilen führt, die für die Sicherheit von Bedeutung sind. Es kann zu einer Freisetzung beschränkter Mengen radioaktiver Stoffe innerhalb der Anlage kommen.

Durch die Auslegung der Anlage treten bei Zwischenfällen weder Beeinträchtigungen von Personen außerhalb der Anlage noch Beeinträchtigungen der Umwelt auf.

## Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente

Nach dem Entsorgungskonzept für Kernkraftwerke sollen Abfälle aus kerntechnischen Anlagen in Endlagern unbefristet und sicher eingeschlossen werden. Diese Endlager stehen heute für abgebrannte Brennelemente noch nicht zur Verfügung. Bis es so weit ist, wurden früher abgebrannte Brennelemente entweder in die beiden zentralen Zwischenlager nach Ahaus (Nordrhein-Westfalen) und Gorleben (Niedersachsen) oder zur Wiederaufarbeitung in ausländische Anlagen transportiert. Seit dem 1.7.2005 ist die Wiederaufarbeitung der Brennelemente aus deutschen Anlagen laut Atomgesetz nicht mehr zulässig. Um Transporte zu minimieren, werden die abgebrannten Brennelemente aus Leistungsreaktoren nun am Kraftwerksstandort in sog. Standortzwischenlagern aufbewahrt. Für die Zwischenlagerung werden die Brennelemente in spezielle Transport/Lager-Behälter (→Castor®-Behälter) verpackt, die sowohl zum Transport vom Kernkraftwerk zum Zwischenlager als auch als Lagerbehälter dienen. Die ca. 40 cm starke Wandung schirmt die Strahlung ab, an der Außenseite des Behälters angebrachte Kühlrippen gewährleisten eine sichere Wärmeabgabe der durch den Zerfall der Spaltprodukte entstehenden Wärme an die Umgebungsluft.

## Zyklotron

Teilchenbeschleuniger, in dem geladene Teilchen wiederholt in einem elektrischen Wechselfeld beschleunigt werden, während sie sich spiralförmig von ihrer Quelle im Zentrum der Maschine nach außen bewegen; die Teilchen werden von einem starken Magneten in der Spiralebene gehalten (Lorentz-Kraft). Ein Zyklotron ist nicht geeignet zur Beschleunigung von Elektronen. Normale Zyklotrons erreichen üblicherweise Energien von 20 MeV für Protonen und 40 MeV für Alphateilchen.

Die erreichbare Endenergie kann um etwa eine Größenordnung gesteigert werden, wenn die Frequenz der Beschleunigungsspannung an die vergrößerten Umlaufzeiten, die infolge der relativistischen Massenzunahme auftreten, angepasst wird. Man spricht dann von einem →[Synchrozyklotron](#). Beim Isochronzyklotron wird die Steigerung der Endenergie bei konstanter Beschleunigungsfrequenz dadurch erreicht, dass durch geeignete Form der Polschuhe ein sich radial veränderndes Magnetfeld erzeugt wird.

Zyklotrone werden neben der Forschung vor allem zur Herstellung kurzlebiger Radionuklide für die Medizin und zur Neutronenproduktion für medizinische Anwendungen eingesetzt. (→[Beschleuniger](#))

## Quellen

- ADR Anlagen A und B des Europäischen Übereinkommens vom 30.09.1957 über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) in der Fassung der Bekanntmachung vom 20. September 2005 (BGBl. II Nr. 24 vom 7.10.2005, S. 1128; BGBl. II Nr. 7 vom 22.3.2006 S. 245)  
Zuletzt geändert am 8. September 2006 durch die 18. Verordnung zur Änderung der Anlagen A und B zum ADR-Übereinkommen (18. ADR-Änderungsverordnung -18.ADRÄndV) (BGBl. II Nr.24 vom 18.9.2006 S. 826)
- ATG Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz) vom 23.12.1959 (BGBl. I S.814) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17.05.1985 (BGBl. I Nr.41, S.1565 ff), zuletzt geändert durch das 13. Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes vom 31.7.2011 (BGBl. I Nr.43 S. 1704)
- AUR82 H. Aurand et.al.  
Radioökologie und Strahlenschutz  
E.Schmidt-Verlag, Berlin 1982
- BAC11 Jens Bacsen  
Handgehaltene Röntgenfluoreszenz-Spektrometer  
StrahlenschutzPraxis 2011, Heft 2, S. 54ff
- BEC05 Daniela Becker  
Untersuchungen zum strahleninduzierten Bystandereffekt in normalen humanen Fibroblasten  
Diplomarbeit, Darmstadt 2005
- BFS95 Bundesamt für Strahlenschutz  
Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle  
(Endlagerungsbedingungen, Stand: Dezember 1995)  
- Schachanlage Konrad -
- BGG26 Berufsgenossenschaftliche Grundsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen  
Grundsatz G 26 „Atemschutzgeräte“,  
A.W. Gentner Verlag, Stuttgart
- BGR190 Berufsgenossenschaftliche Regeln für die Sicherheit bei der Arbeit  
BGR 190 – Benutzung von Atemschutzgeräten  
04/2004
- BIR08 W. Birkholz et.al  
Herausgabe von nicht kontaminierten oder nicht aktivierten Stoffen  
StrahlenschutzPRAXIS 1 (2008) 33 ff.

- BMI78 Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei der Durchführung von Instandhaltungsarbeiten in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor: Die während der Planung der Anlage zu treffende Vorsorge.  
GMBI Nr. 28 vom 31.08.1978
- BMU01 BMU  
Bekanntmachung der Dosiskoeffizienten zur Berechnung der Strahlenexposition, vom 23.7.2001  
Beilagen 160a, b zum BAnz vom 28.8.2001
- BMU02 Rahmenrichtlinie zu Überprüfungen nach § 66 Abs.2 der Strahlenschutzverordnung  
RdSchr. d. BMU vom 11.6.2002; GMBI. 2002, S.620
- BMU03 BMU  
Richtlinie für die Überwachung der Strahlenexposition bei Arbeiten nach Teil 3 Kap. 2 Strahlenschutzverordnung  
RdSchr. d. BMU vom 15.12.2003; GMBI. 2004, S. 418
- BMU03a Richtlinie über die im Strahlenschutz erforderliche Fachkunde und Kenntnisse beim Betrieb von
  - Röntgeneinrichtungen zur technischen Anwendung und
  - Genehmigungsfreien Störstrahlern
(Fachkunde-Richtlinie Technik nach Röntgenverordnung)  
RdSchr. d. BMU v. 5. und 27.5. 2003 – RS II 1 – 11601/04  
GMBI. Nr. 31 v. 29.8.2003, S. 638 ff
- BMU03b Merkposten zu den Antragsunterlagen in den Genehmigungsverfahren für Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen nach § 11 Abs. 1 und 2 StrlSchV  
RdSchr. d. BMU vom 12.11.2003, BMBl. 2004, S.9
- BMU03c Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen, Teil 1: Ermittlung der Körperdosis bei äußerer Strahlenexposition (§§ 40, 41, 42 StrlSchV; § 35 RöV) vom 08.12.2003  
RdSchr. d. BMU v. 8.12. 2003 - RS II 3 - 15530/1  
GMBI 2004 Nr. 22, S. 410 ff
- BMU04 BMU  
Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 40 Abs.2, § 95 Abs.3 Strahlenschutzverordnung und § 25 Abs.2 Röntgenverordnung („AVV Strahlenpass“) vom 20. Juli 2004  
BAnz 142a, 31.Juli 2004
- BMU04a Richtlinie über die im Strahlenschutz erforderliche Fachkunde (Fachkunde-Richtlinie Technik nach Strahlenschutzverordnung)  
Vom 18.6.2004  
GMBI. Nr. 40/41 vom 31.08.2004, S. 799 ff  
Zuletzt geändert 2006: GMBI. Nr. 38 vom 27.7.2006, S. 735 ff

- BMU04b Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei Tätigkeiten der Instandhaltung, Änderung, Entsorgung und des Abbaus in kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen vom 10. Dezember 2004
- BMU05E BMU  
Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV:  
Ermittlung der Strahlenexposition durch Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen  
Entwurf in der Fassung vom 21.01.2005
- BMU05a Richtlinie zur Strahlenschutzverordnung und Röntgenverordnung  
Richtlinie „Strahlenschutz in der Tierheilkunde“  
Rdschr. d. BMU von 2.2.2005 – RS II 4 – 11432/7 –  
GMBI. Nr. 32 vom 30.3.2005, S. 666 ff
- BMU05b Richtlinie Fachkunde und Kenntnisse im Strahlenschutz bei dem Betrieb von Röntgeneinrichtungen in der Medizin oder Zahnmedizin vom 22.12.2005  
-RdSchr. d. BMU v. 22.12.2005 – RS II 1 . 11603/01.1 –  
GMBI. Nr. 22 vom 7.4.2006, S. 414 ff
- BMU07 BMU  
Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis, Teil 2:  
Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition (Inkorporationsüberwachung) (§§ 40, 41 und 42 StrlSchV)  
RdSchr. d. BMU vom 16.01.2007 – RS II 3 – 15530/1 -
- BMU90 Fachkunde von Strahlenschutzbeauftragten in Kernkraftwerken und sonstigen Anlagen zur Spaltung von Kernbrennstoffen  
RdSchr. d. BMU v. 10.02.1990 – RS II 3 – 15040/1
- BMU95 BMU  
Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum integrierten Mess- und Informationssystem nach dem Strahlenschutzvorsorgengesetz  
Bek. d. BMU vom 27.9.1995, BAnz. 1995 Nr. 200a
- BÖR11 Frank Börnsen et. al.  
Expositionsmessungen an mobilen Röntgenfluoreszenzspektrometern  
StrahlenschutzPraxis 2011 Heft 2 S. 58 ff
- BUN05 Bundesregierung  
Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2004  
Unterrichtung durch die Bundesregierung, 2005
- BUN06 Bundesregierung  
Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2005  
Unterrichtung durch die Bundesregierung, 2006

- BUN11 Bundesregierung  
Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2009  
Unterrichtung durch die Bundesregierung,  
Parlamentsbericht, Stand März 2011
- DEB88 K. Debertin, R.O.Helm  
Gamma- and X-ray-spectrometry with semiconductor detectors  
North-Holland, Amsterdam 1988
- EICHG Gesetz über das Meß- und Eichwesen (EichG) vom 23.3.1992  
Zuletzt geändert 2007 (BGBl. I Nr. 3 vom 7.2.2007, S. 58/59)
- EIO88 Eichordnung vom 12.8.1988; BGBl. I, S. 1657; zuletzt geändert durch  
die 4. Verordnung zur Änderung der Eichordnung vom 8.2.2007, BGBl. I  
Nr. 4 vom 12.2.2007, S. 70 ff
- EUN96 Richtlinie 96/29/EURATOM des Rates vom 13.Mai 1996 zur Festlegung  
der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit  
der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ioni-  
sierende Strahlungen  
ABl. EG Nr. 159 S.1 vom 29.6.1996
- EUN97 Richtlinie 97/43/EURATOM des Rates vom 30. Juni 1997 über den Ge-  
sundheitsschutz von Personen gegen die Gefahren ionisierender Strah-  
lung bei medizinischer Exposition und zur Aufhebung der Richtlinie 84/  
466/EURATOM  
ABl. EG Nr. L 180 S. 22 vom 9.7.1997
- EWE85 K. Ewen  
Strahlenschutz an Beschleunigern  
B.G. Teubner-Verlag, Stuttgart 1985
- FIE01 A. Fiechtner, Ch. Wernli  
Kennen Sie DIS? Ein neuartiges passives Dosimeter  
Strahlenschutzpraxis 2 (2001) S. 32
- FLE06 Klaus Flesch et al  
Bestimmung der Gesamtrichtdosis in Trink- und Mineralwässern  
StrahlenschutzPraxis 3 (2006) S. 34
- FRA05 P.W. Frame  
A History of Radiation Detection Instruments  
Health Physics 88 (2005) S. 97 ff
- FRE09 E. Frenzel  
Absolutmessungen von reinen  $\beta$ -strahlenden Radionukliden mit dem  
LSCounter Hidex 300 SL  
StrahlenschutzPraxis 4/2009, S. 10 f

- FS99 Fachverband für Strahlenschutz e.V.  
Nachweis-, Erkennungs- und Vertrauensgrenzen bei Kernstrahlungsmessungen  
FS-99-108-AKSIGMA  
TÜV-Verlag, Köln 1999
- FS99a Fachverband für Strahlenschutz e.V.  
Daten und Fakten zum Umgang mit Radionukliden und zur Dekontamination in Radionuklidlaboratorien  
Loseblattsammlung des AKP  
FS-99-103-AKP, 1999
- FS01 Fachverband für Strahlenschutz e.V.  
Empfehlung zur Erstellung von Strahlenschutzprogrammen für die Beförderung radioaktiver Stoffe  
Arbeitskreis „Beförderung“ (AKB)  
Erstausgabe November 2001, Stand Januar 2006
- FS05 Fachverband für Strahlenschutz e.V.  
Leitfaden für die praktische Umsetzung des § 29 StrlSchV (Freigabeleitfaden)  
Stand: 8.12.2005
- FZK00 Forschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Radioaktivität und Kernenergie  
November 2000
- GbV Verordnung über die Bestellung von und die Schulung der beauftragten Personen in Unternehmen und Betrieben (Gefahrgutbeauftragtenverordnung - GbV)  
In der Fassung der Bekanntmachung vom 26. März 1998 (BGBl. I S. 648),  
zuletzt geändert am 2. November 2005, BGBl. I S. 3131
- GEIN85 Gesetz über die Einheiten im Messwesen vom 22.02.1985; zuletzt geändert 2006 (BGBl. I Nr.50 vom 7.11.2006, S. 2407 ff)
- GGVSE Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße und mit Eisenbahnen (Gefahrgutverordnung Straße und Eisenbahn – GGVSE) vom 10.9.2003  
BGBl. I S. 1913; Berichtigung vom 13.10.2003, BGBl. S 2139
- GGVSee Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter mit Seeschiffen (Gefahrgutverordnung See – GGVSee) vom 4.11.2003  
BGBl. I S. 2286
- IAEA02 IAEA  
Preparing for Emergency Response to Transport Accidents Involving Radioactive Material; Safety Guide  
Safety Standard Series No. TS-G-1.2  
Wien 2002

- IAEAR188 IAEA  
Radiological Safety Aspects of the Operation of Electron Linear Accelerators  
Technical Report Series No. 188  
Wien 1979
- IAEAR283 IAEA  
Radiological Safety Aspects of the Operation of Proton Accelerators  
Technical Report Series No. 283  
Wien 1988
- IAEAS48 IAEA  
Manual on Decontamination of Surfaces  
Safety Series No. 48  
Wien 1979
- IAEASR7 IAEA  
Lessons Learned from Accidents in Industrial Radiography  
Safety Report Series No. 7  
Wien 1998
- ICRG03 ICRP Supporting Guidance 3  
Guide for the Practical Application of the ICRP Human Respiratory Tract Model  
Pergamon Press, Oxford 2003
- ICRP30 ICRP Publikation 30  
Limits for Intakes of Radionuclides by Workers: an addendum  
Supplement to part 1( 1979), part 2 (1980), part 3A (1982), part 3B (1982), part 4 (1988)  
Pergamon Press, Oxford
- ICRP66 ICRP Publication 66  
Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection  
Pergamon Press, Oxford 1994
- ICRP68 ICRP Publication 68  
Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers  
Annals of the ICRP, Vol 24 No. 4, 1994
- ICRP74 ICRP Publication 74  
Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation  
Pergamon Press, Oxford 1996
- ICRP78 ICRP Publication 78  
Individual monitoring for internal exposure of workers  
Annals of the ICRP, Vol. 27 (1997) No. 3/4



- ICRP80 ICRP  
Grundsätze und allgemeine Verfahren bei Strahlenexpositionen in beruflichen Not- und Unfallsituationen  
Heft 18, G. Fischer Verlag, 1980
- ICRP88 International Commission on Radiation Protection  
Doses to the embryo and fetus from intakes of radionuclides by the mother  
Annals of the ICRP, Vol. 31 (2002)
- ICRP88a ICRP  
Schutz der Bevölkerung bei größeren Strahlenunfällen: Grundsätze für die Planung  
Heft 40, bga-Schriften 6/87, MMV Medizin Verlag München, 1988
- ICRP103 ICRP  
Publication 103  
The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection  
Annals of the ICRP, 2007
- ICRU49 ICRU Report 49D  
Stopping Powers and Ranges for Protons and Alpha Particles  
Bethesda 1993
- ISO7503-1 DIN ISO 7503  
Bestimmung der Oberflächenkontamination  
Teil 1: Betastrahler (Max. Betaenergie  $E_{max}$  größer als 0,15 MeV) und Alphastrahler
- ISO8769 ISO 8769  
Referenzstrahler für die Kalibrierung von Oberflächenkontaminationsmonitoren
- KIR09 H. Kirsch  
Es geht auch ohne Gas! Weiterentwicklung der Kontaminationsmesstechnik vom Zählgas zum Szintillator  
StrahlenschutzPraxis 4/2009, S. 4 ff
- KOE01 W. Koelzer  
Lexikon der Kernenergie  
Forschungszentrum Karlsruhe, Technik und Umwelt, 2001
- KTA 2201.1: Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen;  
Teil 1: Grundsätze  
Fassung Juni 1990; letztmalig geprüft und für gültig erklärt: 6/2000
- LuftVG Luftverkehrsgesetz (LuftVG), Neufassung vom 27.3.1999  
BGBl. I S. 550, zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 6.4.2004, BGBl. I S. ??

- MAU85 R. Maushart  
Man nehme einen Geigerzähler  
Strahlenschutz-Meßtechnik für Praktiker  
Teil 1 Grundlagen  
GIT Verlag GmbH 1985
- MTVO Mineral- und Tafelwasser-Verordnung  
i.d.F. v. 03. März 2003  
BGBl. I. Nr. 10 vom 19. März 2003, S.352
- NCRP51 NCRP  
NCRP Report No. 51  
Radiation protection design guidelines for 0,1 – 100 MeV particle accel-  
erator facilities  
Washington 1979
- OHL89 L. Ohlenschläger et. Al.  
Allgemeine Empfehlungen für die Personendekontamination  
Kernforschungszentrum Karlsruhe, Medizinische Abteilung  
Bericht KfK 4576, April 1989
- PHI98 H. v. Philipsborn  
Strahlenschutz – Radioaktivität und Strahlungsmessung  
Hrsg.: Bayrisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Um-  
weltfragen  
April 1998
- RID Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Gü-  
ter – Anhang C des Übereinkommens über den internationalen Eisen-  
bahnverkehr (COTIF) in der Fassung vom 1. Juni 2001  
BGBl. II Nr. 18 vom 19.06.2001 S. 606;  
zuletzt geändert am 17. Oktober 2006 durch Artikel 1 der 13. Verord-  
nung zur Änderung der Ordnung für die internationale Eisenbahnbeför-  
derung gefährlicher Güter (RID) – 13.RID-Änderungsverordnung (BGBl.  
II Nr.27 vom 3.11.2006 S. 953)
- RÖV02 Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen  
(Röntgenverordnung RöV)  
18.06.2006
- SCH86 H. Schultz  
Grundzüge der Schadstoffausbreitung in der Atmosphäre  
Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln 1986
- SSK02 Anforderungen an die Kontaminationskontrolle beim Verlassene eines  
Kontrollbereichs (§ 44 der Strahlenschutzverordnung) vom 5.Juni 2002  
Bek.d.BMU, BAnz Jg. 54 Nr. 143a, 3.8.2002

- SSK03 Ermittlung der durch kosmische Strahlung verursachten Strahlenexposition des fliegenden Personals – Vorschlag zur Umsetzung des § 103 StrlSchV –  
Empfehlung der Strahlenschutzkommission vom 19.2.2003  
Bundesanzeiger 108a, Jahrgang 55, 13.6.2003
- SSK11 Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 11  
Strahlenschutzfragen bei Anfall und Beseitigung von radioaktiven Stoffen  
G. Fischer Verlag, Stuttgart 1988
- SSK18 Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 18  
Maßnahmen nach Kontamination der Haut mit radioaktiven Stoffen  
- Empfehlungen der Strahlenschutzkommission  
- Manuskripte des Fachgespräches des Ausschusses „Medizin und Strahlenschutz“
- SSK27 Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 27  
Medizinische Maßnahmen bei Strahlenunfällen  
Klausurtagung der SSK, 11.-13. Nov. 1992  
Verlag G. Fischer, 1994
- SSK32 Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 32  
Der Strahlenunfall  
Verlag Urban und Fischer, 1996
- SSK35 Veröffentlichung der SSK, Band 35  
Die Ermittlung der durch kosmische Strahlung verursachten Strahlenexposition des fliegenden Personals  
G. Fischer Verlag, 2003
- SSK43 Veröffentlichung der SSK, Band 43  
Berechnungsgrundlage für die Ermittlung der Körperdosis bei äußerer Strahlenexposition  
Verlag Urban und Fischer, 2000
- SSK47 Veröffentlichung der SSK, Band 47  
Leitfaden zur Messung von Radon, Thoron und ihren Zerfallsprodukten  
Verlag Urban und Fischer, 2002
- SSK53 Veröffentlichung der SSK, Band 53  
Vergleichende Betrachtung der biologischen Wirksamkeit verschiedener ionisierender Strahlungen
- SSK97 SSK  
Strahlenexposition an Arbeitsplätzen durch natürliche Radionuklide  
Stellungnahme der SSK, Heft 10  
Verlag G. Fischer, 1997

- SSP11 Strahlenschutz in der modernen Röntgendiagnostik: Auf dem Weg ins digitale Zeitalter  
Beiträge verschiedener Autoren  
Strahlenschutzpraxis 2011, Heft 1, S.3 ff
- SSR90 Verordnung zur Einrichtung eines Strahlenschutzregisters (Strahlenschutzresisterverordnung – StrRV) vom 3.4.1990  
BGBl. I S. 607
- SSV01 Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung-StrlSchV) vom 20.07.2001; BGBl. I Nr. 38 vom 26.07.2001, S.1714 ff.,  
zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 29. August 2008 (BGBl. I S. 1793)
- TrinkwV Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2001)  
Novellierung vom 21.Mai 2001  
BGBl. I Nr. 24 S. 959 ff vom 28.Mai 2001
- UNC11 UNSCEAR United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and Effects of Ionizing Radiation: Report to the General Assembly. United Nations, New York 2011, Annex D: Health Effects due to Radiation from the Chernobyl Accident
- VGB30 Unfallverhütungsvorschriften Kernkraftwerke (VGB 30)  
Vom 1. Januar 1987 mit Durchführungsanweisungen vom Januar 1987
- VOG04 H.-G. Vogt / H. Schulz  
Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes  
Hanser-Verlag 2004
- WAG09 G. Wagner  
Durchbruch bei der elektrischen Kühlung von Germaniumdetektoren  
StrahlenschutzPraxis 4/2009, S.12 ff
- WEI99 K. Weise, W. Wöger  
Messunsicherheit und Messdatenauswertung  
Wiley-VCH, Weinheim 1999
- WES09 W. Westmeier  
Aktuelle Trends in der Kernspektrometrie  
StrahlenschutzPraxis 4/2009, S.8 f
- WIE02 B. Wiegel, A.V. Alevra  
NEMUS – the PTB-Multisphere Neutron Spectrometer: Bonner Spheres and More  
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 476 (2002) 36 - 41