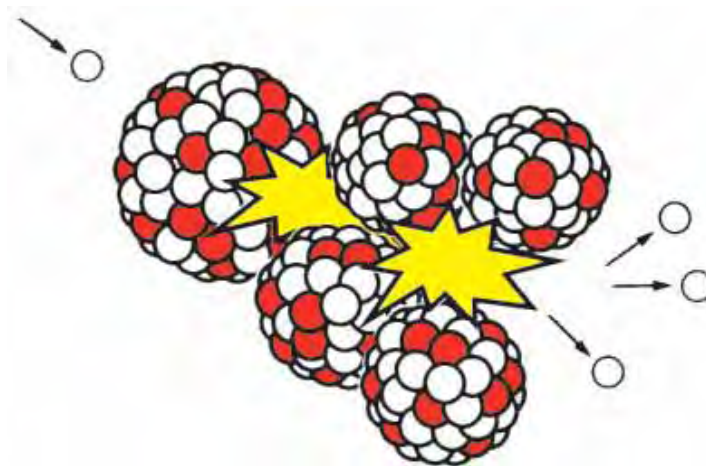


# **LEXIKON ZUR KERNENERGIE**

**W. Koelzer**



aktualisierte Fassung  
Januar 2011

© Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe, 2001

Zu beziehen über:  
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Stabsabteilung Öffentlichkeitsarbeit  
Postfach 3640 · 76021 Karlsruhe

ISBN 3-923704-32-1

Version Januar 2011

Diese Version enthält alle Aktualisierungen und  
Neuaufnahmen, die seit dem Druck des Lexikons  
2001 für die Internetversion durchgeführt wurden.

Das Layout dieser auf einem WORD-Dokument  
basierenden Version wurde nicht optimiert.

1.– 15. Tausend Juli 1980  
121.– 135. Tausend April 1997 (Neufassung)  
136.– 145. Tausend April 2001, vollständig überarbeitet

Die Wiedergabe von Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Für Zahlenangaben kann keine Gewähr übernommen werden.

Bildernachweis:

Argonne National Lab., Argonne  
Aulis-Verlag Deubner & Co., Köln  
Forschungszentrum Karlsruhe, Karlsruhe  
Informationskreis Kernenergie, Bonn

# A

## Abbrand

Verhältnis der Anzahl der bereits erfolgten Spaltungen und der Anzahl der ursprünglich vorhandenen spaltbaren Kerne. Abbrand ist also ein Maß für das Verhältnis von verbrauchtem zu ursprünglich vorhandenem Brennstoff. In der Kerntechnik wird häufig der Begriff "spezifische Abbrand" - richtiger: spezifische freigesetzte Energie - benutzt. Für Leichtwasserreaktoren beträgt der spezifische Abbrand 50.000 bis 60.000 MWd/t Uran. Das bedeutet, dass etwa 50 bis 60 kg spaltbares Material pro Tonne eingesetzten Kernbrennstoffes gespalten und bei einem Wirkungsgrad des Kernkraftwerkes von 34 % in etwa 400 bis 500 Mio. kWh elektrische Energie umgewandelt wurden. Wesentlich höhere Abbrände und damit eine bessere Nutzung der Ressourcen sind in Schnellen Brutreaktoren und Hochtemperaturreaktoren möglich.

## Abfallaufbereitung

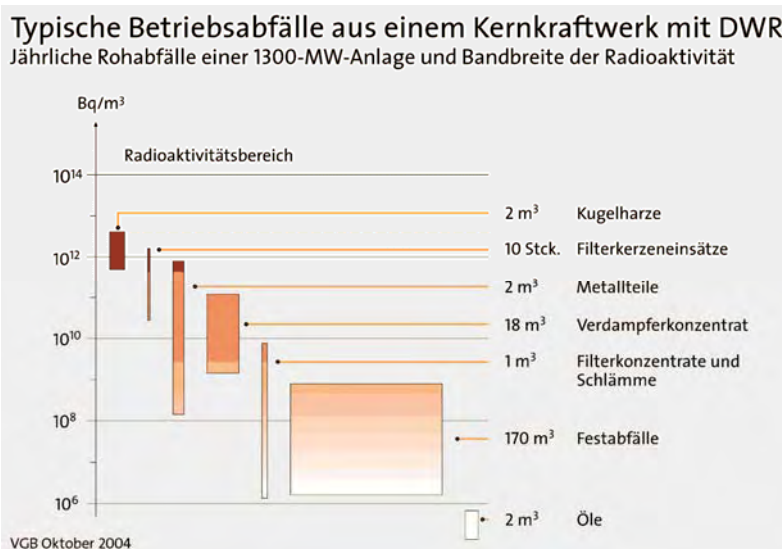
Im →Kernbrennstoffkreislauf, insbesondere im Kernkraftwerk und bei der →Wiederaufarbeitung, fallen feste, flüssige oder gasförmige radioaktive Abfälle an. Sie müssen für die →Endlagerung aufbereitet werden. Man unterscheidet zwischen schwach-, mittel- und hochradioaktiven Abfällen. Ein anderes Unterscheidungskriterium ist die durch den radioaktiven Zerfall bedingte Wärmeentwicklung und die daraus resultierende Einteilung in wärmeentwickelnde und nicht-wärmeentwickelnde Abfälle. Schwach- und mittelradioaktive Abfälle werden mittels chemischer oder physikalischer Verfahren kompaktiert und dann die Konzentrate mit Zement verfestigt. Für hochradioaktive, wärmeentwickelnde Abfälle ist die Verglasung eine geeignete Methode zur Überführung in ein endlagerfähiges Produkt.

## Abfälle, radioaktive

Radioaktive Stoffe, die beseitigt werden sollen oder aus Strahlenschutzgründen geordnet beseitigt werden müssen.

## Abfälle, radioaktive, Kernkraftwerk

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 sowie durch Reinigung der Anlage. Zur Reinigung des Kühlkreislaufes werden z. B. bei Druckwasserreaktoren Ionenaustauscherharze und Filterkerzeneinsätze verwendet. Zur Reinigung des abzugebenden Wassers werden Eindampfanlagen, Zentrifugen und Ionenaustauscherfilter eingesetzt. Zur Luftreinigung dienen Filter. Bei der Reinigung der Anlage 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. Bei einem Druck- oder Siedewasserreaktor mit einer elektrischen Leistung von 1.300 MW fallen pro Betriebsjahr etwa folgende Rohabfallmengen an.

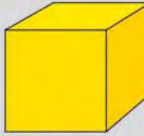

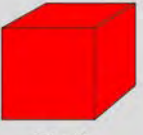



## Typische Betriebsabfälle aus einem Kernkraftwerk mit SWR

Jährliche Rohabfälle einer 1300-MW-Anlage und Bandbreite der Radioaktivität



Nach entsprechender Konditionierung ergibt sich eine Menge von etwa 50 m³ radioaktiver Betriebsabfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung. Die Menge der Abfälle aus der Entsorgung der jährlichen Entladungsmenge der abgebrannten Brennelemente, ist vom Entsorgungsweg abhängig: Bei einer Wiederaufarbeitung entstehen rund 10 m³ radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung und etwa 3 m³ wärmeentwickelnde Abfälle – die verglasten hochradioaktiven Spaltprodukte. Bei der direkten Endlagerung der abgebrannten Brennelemente fallen rund 45 m³ wärmeentwickelnde Abfälle an.

	Betriebsabfälle Kernkraftwerk	Entsorgung der abgebrannten Brennelemente direkte Endlagerung	Wiederaufarbeitung
radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung	 50 m³	—	 10 m³
Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle	—	 45 m³	 3 m³

Jährliche konditionierte Mengen radioaktiver Abfälle eines 1300-MWe-Kernkraftwerks (Betriebsabfälle und Abfälle aus der Brennelemententsorgung je nach Entsorgungsvariante)

### Abfälle, radioaktiv, Klassifizierung

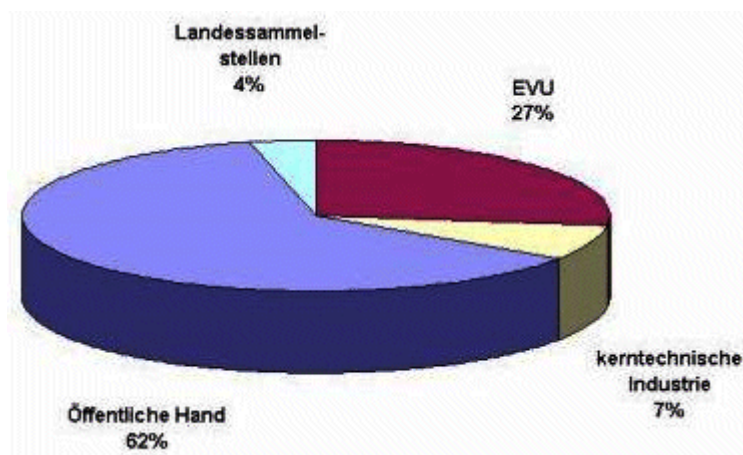
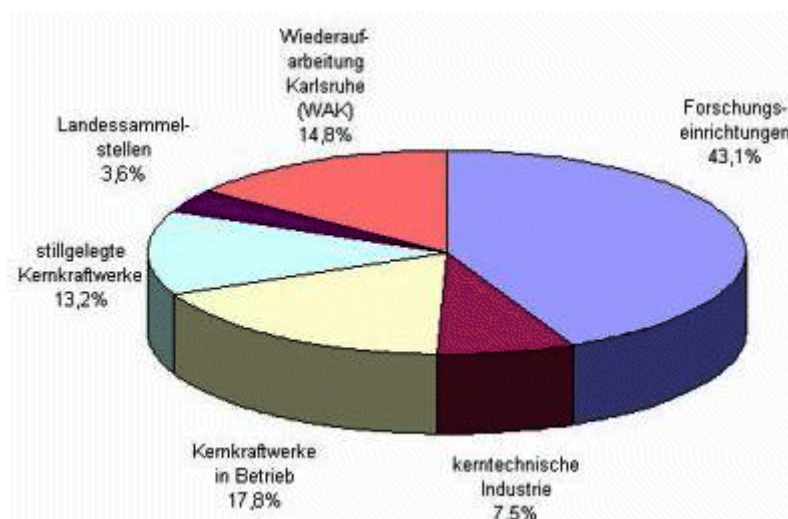
In der Vergangenheit wurden in Deutschland die radioaktiven Abfälle aufgrund ihrer Dosisleistung als schwachradioaktiv (LAW: low active waste), mittelradioaktiv (MAW: medium active waste) und hochradioaktiv (HAW: high active waste) unterschieden. Diese Differenzierung gilt zurzeit noch in vielen Ländern. Für sicherheitsanalytische Betrachtungen zur Endlagerung bringt diese Klassifizierung jedoch keinen Sinn, da in diesem Zusammenhang nicht die Dosisleistung die entscheidende Größe ist. Wichtig sind vielmehr das radioaktive Inventar und die beim radioaktiven Zerfall entstehende Wärme. Diese Parameter werden für den Einlagerungsbetrieb, für die technische Auslegung zur Beherrschung von Störfällen und für die Nachbetriebsphase des Endlagers benötigt. Im genehmigten 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 Abfallbindes.

## Abfälle, radioaktiv, Mengenanfall

Das Bundesamt für Strahlenschutz ermittelt jährlich den Anfall und den Bestand an unbehandelten radioaktiven Reststoffen und an konditionierten radioaktiven Abfällen. Ende 2008 waren insgesamt 121 447 m<sup>3</sup> radioaktive Reststoffe mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung und ca. 1 914 m<sup>3</sup> wärmeentwickelnde radioaktive Reststoffe vorhanden. In diesem Bestand an wärmeentwickelnden Abfällen sind außer den ausgebrannten Brennelementkugeln des Thorium-Hochtemperaturreaktors (THTR) keine abgebrannten Brennelemente aus Leistungsreaktoren enthalten. Die THTR-Brennelementkugeln wurden vom Betreiber als Abfall deklariert und erscheinen deshalb in dieser Abfallstatistik.

Reststoffart	vernachlässigbar wärmeentwickelnd	wärmeentwickelnd
unbehandelte Reststoffe Bestand Ende 2008	20.138 m <sup>3</sup>	64 m <sup>3</sup>
Zwischenprodukte Bestand Ende 2008	7.380 m <sup>3</sup>	1.252 m <sup>3</sup>
konditionierte Abfälle Bestand Ende 2008	93.929 m <sup>3</sup>	598 m <sup>3</sup>
Anfallaufkommen in 2008	2.978 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>
Prognose für 2009	5.320 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>

Daten der Abfallerhebung für das Jahr 2008



Aufteilung des Bestandes von 93.9297 m<sup>3</sup> konditionierten vernachlässigbar wärmeentwickelnden Abfällen Ende 2008 auf die Abfallverursacher und Aufteilung auf Kostenträger (Quelle: BfS)

## Abfälle, radioaktiv, Volumenreduzierung

Typische Rohabfälle eines 1.300-MWe-Kernkraftwerkes sind brennbare und pressbare Abfälle. Die Rohabfälle werden vorsortiert nach brennbaren und nicht brennbaren Stoffen. Die nicht brennbaren, aber pressbaren Rohabfälle werden verpresst. Der Volumenreduktionsfaktor beträgt etwa 2 bis 5. Die brennbaren Abfälle werden verbrannt. Die Aschevolumina aus der Verbrennung betragen nur noch bis zu 1/50 der Rohabfallvolumina. Die Aschevolumina können mit Hilfe einer Hochdruckpresse nochmals um den Faktor zwei reduziert werden.

## Abgasreinigung

Die Reinigungsanlage der Abgase aus kerntechnischen Anlagen hat 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 1000 °C), Nachfilterung mit Sinterkeramik- oder Sintermetallfilter bei Temperaturen bis 700 °C, weitere Reinigung wie bei trockenen Gasen. Iod und Ruthen erfordern Sondermaßnahmen.

## 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 %.

## Abklingbecken

Mit Wasser gefülltes Becken, in dem Brennelemente nach dem Reaktoreinsatz so lange lagern, bis Aktivität und Wärmeentwicklung auf einen gewünschten Wert abgenommen haben.

## Abklingzeit

Die im Brennstoff durch die Kernspaltungen entstandenen radioaktiven Spaltprodukte sind der Grund für die anfänglich hohe Strahlungsintensität und die Wärmeentwicklung des Brennstoffs nach dem Einsatz im Reaktor. 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.

## Abluftpfad

Modellmäßige Annahmen zur Berechnung der →Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft einer kerntechnischen 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 Abluffahne,
- externe Bestrahlung durch die Gammastrahlung aus der Abluffahne,
- externe Bestrahlung durch die Gammastrahlung der am Boden abgelagerten radioaktiven Stoffe,
- interne Bestrahlung durch Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Atemluft (Inhalation),
- interne Bestrahlung durch Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Nahrung (Ingestion) auf dem Weg
  - Luft – Pflanze,
  - Luft – Futterpflanze – Kuh – Milch,
  - Luft – Futterpflanze – Tier – Fleisch,
  - Luft – Muttermilch
  - Luft – Nahrung – Muttermilch.

Modelle und Berechnungsannahmen für die Strahlenexposition über den Abluftpfad sind in der Verwaltungsvorschrift „Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen“ enthalten.

#### Abreicherung

Verminderung der relativen Häufigkeit eines Nuklides oder mehrerer Nuklide im Verlauf eines Prozesses.

#### Abschaltreaktivität

→Reaktivität des durch Abschaltung mit betriebsüblichen Mitteln in den →unterkritischen Zustand gebrachten Reaktors. Sie hängt im Allgemeinen von der Betriebsweise des Reaktors und der Dauer des abgeschalteten Zustandes ab und ist stets negativ.

#### Abschaltstab

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

#### Abschirmung

Schutzeinrichtung um radioaktive Quellen und kerntechnische Anlagen, um deren Strahlung nach außen den Erfordernissen entsprechend zu verringern. →Schild, biologischer; →Schild, thermischer.

#### Absender/Empfänger-Differenz

Begriff aus dem Bereich der Kernmaterialüberwachung; Differenz zwischen der Kernmaterialmenge in einer Charge zwischen der Angabe der absendenden →Materialbilanzzone und der Messung der empfangenden Materialbilanzzone.

#### Absorber

Jedes 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 Gammastrahlen werden Materialien hoher →Ordnungszahl und großer Dichte als Absorber verwendet (Blei; Stahl; Beton, z. T. mit speziellen Zuschlägen). Neutronenabsorber wie Bor, Hafnium und Kadmium werden in Regelstäben von Reaktoren eingesetzt

#### Absorberstab

→Regelstab.

#### Abwärme

Der Wirkungsgrad eines Wärmekraftwerkes ist das Verhältnis der gewonnenen elektrischen Energie zur erzeugten Wärme. Er ist aufgrund physikalischer Gesetze von der Temperatur des Prozessmediums abhängig und beträgt etwa 34 % beim Leichtwasserreaktor und 40 % bei einem modernen Kohlekraftwerk. Der größte Teil der erzeugten Wärme wird bei diesen thermischen Kraftwerken über das Kondensatorkühlwasser an die Umgebung abgegeben.

#### Abwasserpfad

Modellmäßige Annahmen zur Berechnung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser einer kerntechnischen Anlage. 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 durch Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Nahrung (Ingestion) auf dem Weg
  - Trinkwasser,
  - Wasser - Fisch,
  - Viehtränke - Kuh - Milch,
  - Viehtränke - Tier - Fleisch,
  - Beregnung - Futterpflanze - Kuh - Milch,
  - Beregnung - Futterpflanze - Tier - Fleisch,
  - Beregnung – Pflanze,
  - Muttermilch infolge der Aufnahme radioaktiver Stoffe durch die Mutter über die oben genannten Ingestionspfade.

Modelle und Berechnungsannahmen für die Strahlenexposition über den Abwasserpfad sind in der Verwaltungsvorschrift „Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen“ enthalten.

### AGR

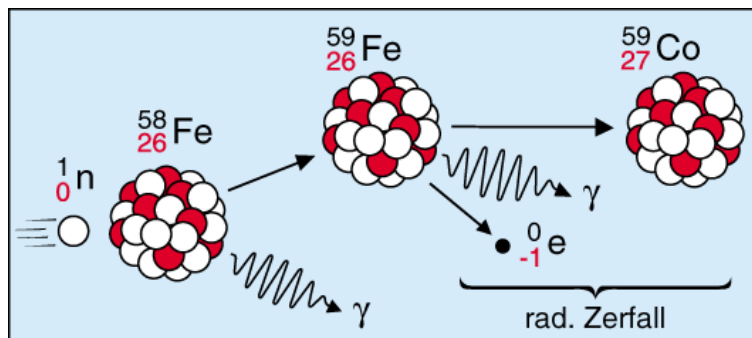
Advanced Gas-Cooled Reactor. In England und Schottland werden insgesamt 14 Reaktorblöcke dieses Bau-typs betrieben. AGR-Reaktoren benutzen bis auf 2,5 % angereichertes Uran als Brennstoff, Graphit als Moderator und CO<sub>2</sub> als Kühlgas.

### Airlift

Verfahrenstechnische Förder- und Dosiereinrichtung, bei der Luft als Fördermedium für Flüssigkeiten benutzt wird, z. B. zur Förderung hochradioaktiver 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 oder anderen Teilchen radioaktiv gemacht wird.



Aktivierung von Eisen

### 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 können. Die Aktivierungsanalyse ist häufig empfindlicher als eine chemische Analyse. Sie findet in steigendem Maße in Forschung, Industrie, Archäologie und Kriminalistik Anwendung.

### Aktivität

Aktivität ist die Zahl der je Sekunde in einer radioaktiven Substanz zerfallenden Atomkerne. Die Einheit für die Aktivität ist die reziproke Sekunde mit dem besonderen Einheitennamen Becquerel, Kurzzeichen: Bq. 1 Becquerel entspricht dem Zerfall eines Atomkerns pro Sekunde. Die früher übliche Einheit der Aktivität war →Curie, Kurzzeichen: Ci. 1 Ci entspricht 37 000 000 000 Bq.



Anmerkung: „Aktivität“ benennt die physikalische Größe der Anzahl von Zerfällen pro Zeit, „Radioaktivität“ ist die Eigenschaft bestimmter Nuklide, sich umzuwandeln.

#### 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 zu:  $A_{sp} = A / m$ .

#### 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:  $A_{konz} = A / V$ .

#### Aktivitätszufuhr

Die durch Mund oder Nase (Inhalation, Ingestion) oder durch die intakte oder verletzte Haut in den Körper gelangte Menge radioaktiver Stoffe.

#### AKR-2

Der Ausbildungskernreaktor AKR-2 der Technischen Universität Dresden wurde am 22.03.2005 erstmals kritisch. Der AKR-2 ist ein homogener feststoffmoderierter Reaktor mit einer maximalen Dauerleistung von 2 Watt. Die Reaktoranlage dient überwiegend zu Ausbildungs- und Lehrzwecken, ist aber auch Instrument für Forschungsarbeiten in nationalen und internationalen Projekten. Die neue Anlage löst den AKR-1 ab, der von Juli 1978 bis März 2004 in Betrieb war.

#### AKW

Atomkraftwerk, →Kernkraftwerk.

#### ALARA

Abkürzung von **as low as reasonably achievable** (so gering wie vernünftigerweise erreichbar). Konzept der Internationalen Strahlenschutzkommission zur Dosisbegrenzung, ausführlich erläutert und begründet in der Empfehlung der Internationalen Strahlenschutzkommission von 1990, veröffentlicht 1991 als →ICRP-Veröffentlichung 60.

#### ALI

Abkürzung von **annual limit of intake**. Grenzwert der Jahresaktivitätszufuhr.

#### Allgemeine Verwaltungsvorschrift Strahlenpass

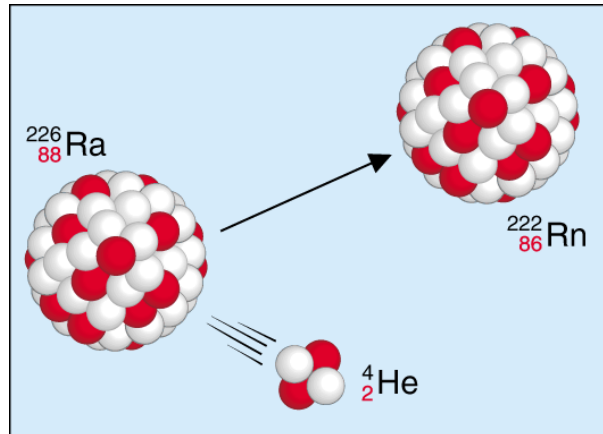
Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 40 Abs. 2, § 95 Abs. 3 Strahlenschutzverordnung und § 35 Abs. 2 Röntgenverordnung („AVV Strahlenpass“) vom 14. Juni 2004 legt Form und Inhalt des Strahlenpasses für beruflich strahlenexponierte Personen und die Anforderungen an die Registrierung und das Führen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

#### 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. Die Ruhemasse des Alphateilchens beträgt  $6,64424 \cdot 10^{-27}$  kg, das entspricht  $3,7273 \cdot 10^9$  eV. Alphastrahlung ist die am wenigsten durchdringende Strahlung der drei Strahlungsarten (Alpha-, →Beta-, →Gammastrahlung). Alphastrahlung wird durch ein dickes Blatt Papier absorbiert. Sie ist für Lebewesen dann gefährlich, wenn die Alphastrahlen aussendende Substanz eingeatmet oder mit der Nahrung aufgenommen wird oder in Wunden gelangt.

## Alphazerfall

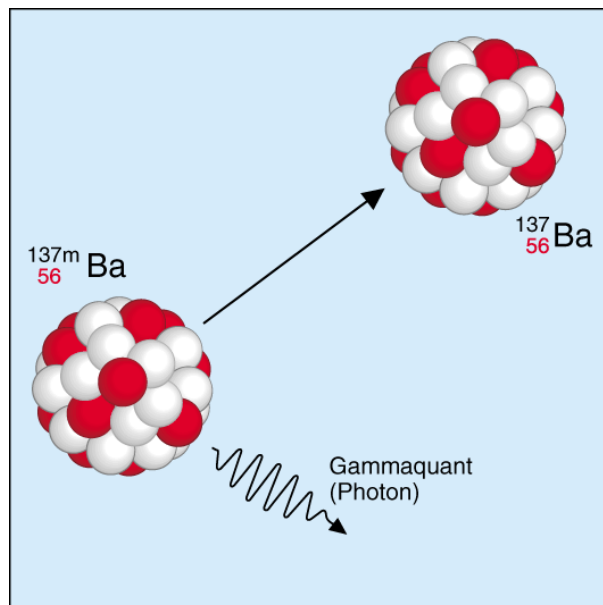
Radioaktive Umwandlung, bei der ein Alphateilchen emittiert wird. Beim Alphazerfall nimmt die →Ordnungszahl um zwei Einheiten und die →Massenzahl um vier Einheiten ab. So entsteht z. B. aus Ra-226 mit der Ordnungszahl 88 und der Massenzahl 226 durch den Alphazerfall Rn-222 mit der Ordnungszahl 86 und der Massenzahl 222.



Alphazerfall; im Bild der Zerfall von Radium-226 in Radon-222 unter Aussendung eines Helium-4-Kerns (Alpha-Teilchen,  $\alpha$ -Teilchen)

## 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. Beispiel: Ba-137m 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

## angereichertes Uran

Uran, bei dem der Prozentsatz des spaltbaren Isotops U-235 über den Gehalt von 0,7205 % im Natururan hinaus gesteigert ist. Zur Anreicherung sind verschiedene Verfahren möglich: →Diffusionstrennverfahren, →Gaszentrifugenverfahren, →Trenndüsenverfahren.

### 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.

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

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.

### 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.

### 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 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 zulässigen Freisetzungswerte für solche radioaktiven Stoffe entsprechend reduziert festgesetzt. Auch durch Anreicherungseffekte dürfen die durch Gesetze und Verordnungen festgelegten →Dosisgrenzwerte nicht überschritten werden.

### Anreicherungsverfahren

→Isotopentrennung

## Antimaterie

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

## Antiteilchen

Antiteilchen haben die gleiche Masse, die gleiche mittlere Lebensdauer und den gleichen Spin wie die entsprechenden Teilchen, aber entgegengesetzt gleiche Baryonen- und Leptonenzahl. Antiteilchen und Teilchen sind entweder beide elektrisch neutral oder sie besitzen eine elektrische Ladung vom gleichen Betrag, aber entgegengesetztem Vorzeichen.

	Teilchen Proton	Antiteilchen Antiproton
Masse	$1,6726 \cdot 10^{-27}$ kg	$1,6726 \cdot 10^{-27}$ kg
mittlere Lebensdauer	stabil	stabil
Spin	$1/2 \hbar$	$1/2 \hbar$
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

## Äquivalentdosis

Produkt aus der Energiedosis  $D$  im ICRU-Weichteilgewebe und dem  $\rightarrow$ Qualitätsfaktor  $Q$ .

$$H = Q D.$$

Die Einheit ist Joule/kg (J/kg). Der besondere Name für die Einheit der Äquivalentdosis ist Sievert, Kurzzeichen: Sv. Die Größe Äquivalentdosis ist nur für den Dosisbereich des Routine-Strahlenschutzes definiert. Sie darf nicht bei hohen Strahlenexpositionen - z. B. bei Strahlenunfällen - angewandt werden. In solchen Fällen ist zur Bewertung 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 Internationale 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  $D_{T,R}$  die  $\rightarrow$ Energiedosis gemittelt über das Gewebe oder Organ  $T$  durch die Strahlenart  $R$  und  $w_R$  der zugehörige  $\rightarrow$ Strahlungs-Wichtungsfaktor.

Besteht das Strahlungsfeld aus Strahlenarten und Strahlenenergien mit unterschiedlichen Werten von  $w_R$ , so werden die einzelnen Beiträge addiert. Für die Organdosis  $H_T$  gilt dann:

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

Auch hier ist die Einheit Joule/kg (J/kg) und der besondere Einheitenname ist Sievert, Kurzzeichen: Sv. Gelegentlich wird noch der frühere Einheitenname Rem gebraucht. 1 Sievert ist gleich 100 Rem. Die Organ-Äquivalentdosis bietet für Strahlendosen weit unter den Schwellwerten für  $\rightarrow$ deterministische Strahlenwirkungen eine Grundlage zur Abschätzung  $\rightarrow$ stochastischer Strahlenwirkungen. In der deutschen Strahlenschutzverordnung wird diese Dosisgröße  $\rightarrow$ Organdosis genannt.

## Äquivalentdosisleistung

Quotient aus der Äquivalentdosis in einer Zeitspanne und dieser Zeit, z. B.: Millisievert/Stunde (mSv/h).

## Arbeitsverfügbarkeit

Verhältnis der verfügbaren Arbeit zur theoretisch möglichen Arbeit in der Berichtsspanne. Kennzeichnet die Zuverlässigkeit der Anlage. →Zeitverfügbarkeit.

## Argonaut

Argonne Nuclear Assembly for University Training; Typ eines Schulungsreaktors.

## Asse

Zur versuchsweisen Endlagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen hergerichtetes ehemaliges Salzbergwerk 10 km südöstlich von Wolfenbüttel. Es wurden mehr als 120 000 Fässer, das entspricht rund 24 000 m<sup>3</sup>, mit schwachradioaktiven Abfällen eingelagert. In einer speziellen Lagerkammer für mittelradioaktive Abfälle wurden 1289 Zweihundert-Liter-Fässer eingelagert. Die Genehmigung zur Einlagerung radioaktiver Abfälle ist 1978 abgelaufen.

## AtDeckV

→Atomrechtliche Deckungsvorsorge-Verordnung.

## AtG

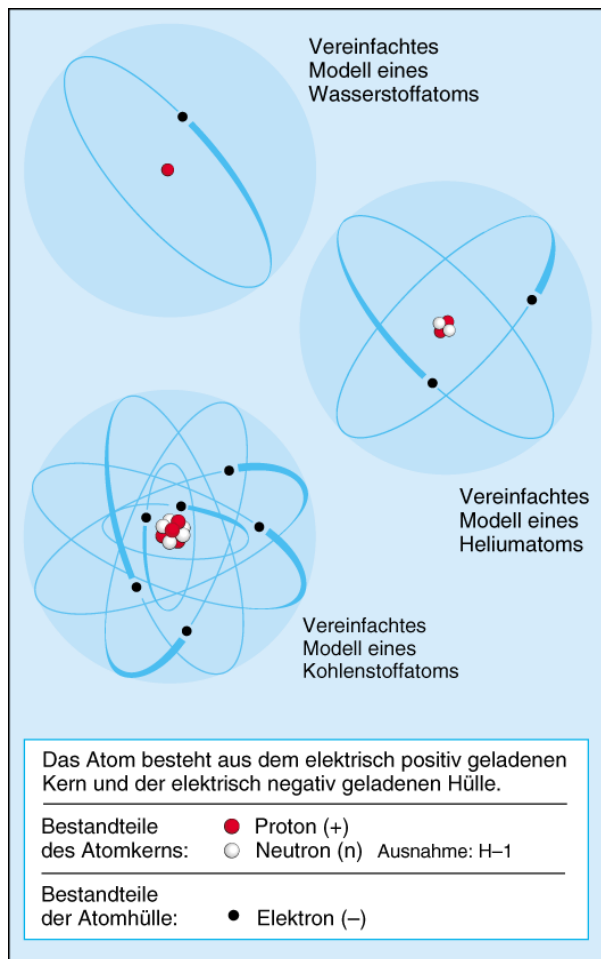
→Atomgesetz.

## AtKostV

→Kostenverordnung zum Atomgesetz.

## Atom

Kleinstes 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 Durchmesser eines Atoms, das aus einem Kern - dem Atomkern - und einer Hülle - der Atom- oder Elektronenhülle - besteht, beträgt ungefähr ein hundertmillionstel Zentimeter ( $10^{-8}$  cm). Der Atomkern ist aus positiv geladenen →Protonen und elektrisch neutrale →Neutronen aufgebaut. Er ist daher positiv geladen. Sein Durchmesser beträgt einige zehnbillionstel Zentimeter ( $1$  bis  $5 \cdot 10^{-13}$  cm) Der Atomkern ist also 100 000mal kleiner als die Atomhülle. In der Atomhülle umkreisen ebenso viele negativ geladene →Elektronen den Kern, wie der Kern Protonen enthält. Atome verhalten sich daher nach außen elektrisch neutral. →Nuklid.



Atommodell

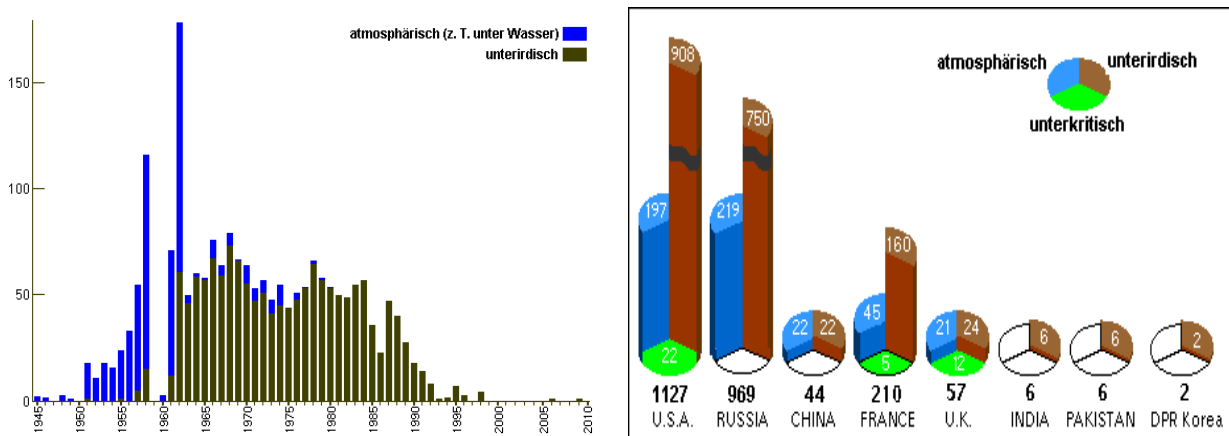
### Atombombe

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 16 bzw. 22 kt TNT. Dabei wurde jeweils rund 1 kg Spaltstoff in weniger als 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. 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.

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

Geschätzte Mindestmenge an Spaltstoff für nukleare Sprengsätze

Nach UN-Angaben wurden bis Ende Mai 2009 504 Kernwaffen (+ 39 Sicherheitstests) mit einer Sprengkraft von 440 Megatonnen TNT-Äquivalent oberirdisch, d. h. mit einer Freisetzung der radioaktiven Stoffe in die Atmosphäre, gezündet. Die nach Zahl und Sprengkraft größten Versuchsserien wurden in den Jahren 1961/62. Die Zahl der unterirdischen Explosionen beträgt 1878 mit einer Sprengkraft von 90 Mt. Diese unterirdischen Explosionen sind mit keiner relevanten Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Atmosphäre verbunden.



Kernwaffenexplosionen

### 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, zuletzt durch das Zwölfte Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes vom 8. Dezember 2010.

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.

### 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 atomare Masseneinheit u entspricht  $1,6605402 \cdot 10^{-27}$  kg.

### 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 erleiden, 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  $10^{-13}$  (zehnbillionstel) cm, 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 M des Kernes.

#### Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung

Verordnung über die Verbringung radioaktiver Abfälle oder abgebrannter Brennelemente (Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung - AtAV) vom 30. April 2009 (BGBl. I 2009, Nr. 24, S. 1000). Diese Verordnung gilt für die Überwachung und Kontrolle grenzüberschreitender Verbringung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente. Diese Verordnung dient der Umsetzung der Richtlinie 2006/117/Euratom des Rates vom 20. November 2006 über die Überwachung und Kontrolle der Verbringung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente.

#### Atomrechtliche Deckungsvorsorge-Verordnung

Die Verordnung über die Deckungsvorsorge nach dem Atomgesetz (Atomrechtliche Deckungsvorsorge-Verordnung - AtDeckV) vom 25. Januar 1977, zuletzt geändert durch Artikel 9 des Gesetzes vom 23. November 2007, 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) vom 14. Oktober 1992, zuletzt geändert durch die Verordnung vom 8. Juni 2010 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 Artikel 4 des Gesetzes vom 9. Dezember 2006, 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 Zuverlässigkeitsüberprüfungs-Verordnung

Verordnung für die Überprüfung der Zuverlässigkeit zum Schutz gegen Entwendung oder erhebliche Freisetzung radioaktiver Stoffe vom 1. Juli 1999, zuletzt geändert durch Artikel 14 des Gesetzes vom 11. Oktober 2002. Diese Verordnung regelt die Verfahren und Zuständigkeiten für die Überprüfung der nach dem Atomgesetz geforderten Zuverlässigkeit von Personen zum 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.

#### AtKostV

→Kostenverordnung

#### AtSMV



→Atomrechtliche Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung.

AtVfV

→Atomrechtliche Verfahrensverordnung.

Aufbaufaktor

→Dosisaufbaufaktor.

Auflöser

Technische Einrichtung in einer Wiederaufarbeitungsanlage 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 Abluftpfad von Bedeutung.

Aufzeichnungsschwelle

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

Ausbreitungsrechnungen

Rechenverfahren zur Ermittlung der Auswirkungen infolge der Abgabe von Radioaktivität mit der Abluft aus Kernkraftwerken. Bei diesen Berechnungen werden die meteorologischen Verhältnisse im Standortgebiet berücksichtigt. Ziel der Ausbreitungsrechnungen ist es, die Strahlenexposition des Menschen durch die Emission radioaktiver Stoffe mit der Abluft zu berechnen. →Abluftpfad.

Ausgangsmaterial

Begriff aus dem Bereich der Kernmaterialüberwachung; Ausgangsmaterial umfasst Uran, welches das in der Natur vorkommende Isotopengemisch enthält, Uran, dessen Gehalt an U-235 unter dem natürlichen Gehalt liegt und Thorium.

Auslaugbeständigkeit

Widerstandsfähigkeit gegen Auslaugen in Flüssigkeiten.

Auslaugrate

Maß für das Auslaugverhalten von Festkörpern in Flüssigkeiten. 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.

Auslegungsstörfall

Auslegungsstörfälle - Leitungsbrüche, Komponentenversagen - müssen durch die Sicherheitseinrichtungen so beherrscht werden, dass die Auswirkungen in der Umgebung unter den vorgegebenen Planungswerten der Strahlenschutzverordnung bleiben, also die effektive Dosis weniger als 50 mSv beträgt. →GAU.

## Ausnutzungsdauer

Die Ausnutzungsdauer eines Kraftwerkes ist gleich dem Quotienten aus der Gesamtarbeit in einer Zeitspanne und der Engpaßleistung der Anlage. Die Ausnutzungsdauer (Quelle: BDEW; angegeben in Volllaststunden pro Jahr) verschiedener Kraftwerksarten in Deutschland im Jahre 2009 betrug:

- Photovoltaik	890 h/a
- Pumpspeicherwasser	950 h/a
- Wind	1 520 h/a
- Mineralöl	1 870 h/a
- Erdgas	3 150 h/a
- Lauf- und Speicherwasser	3 530 h/a
- Steinkohle	3 580 h/a
- Biomasse	5 000 h/a
- Braunkohle	6 610 h/a
- Kernenergie	7 710 h/a

## Autoradiographie

Fotografische Aufzeichnung der Verteilung eines radioaktiven Stoffes in einer Substanz durch die von diesem Stoff emittierte Strahlung.

## 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 hochradioaktiven Abfall.

## AVM-Verfahren

Französisches Verglasungsverfahren von flüssigem hochradioaktivem 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 26.8.1966, am 31.12.1988 endgültig außer Betrieb genommen. Die kumulierte Stromerzeugung betrug 1,7 TWh. Der Reaktor wurde nach dem von Prof. Schulten entwickelten Konzept eines Kugelhaufenreaktors errichtet. Mit dem AVR wurden vor allem Betriebserfahrungen für die Entwicklung von Hochtemperaturreaktoren gesammelt. Mit der Stilllegung wurde am 9.3.1994 begonnen. Sie soll 2015 mit der vollständigen Beseitigung der Anlage und dem Zustand „Grüne Wiese“ abgeschlossen sein.

## AVV 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.

## B

### Barn

In der Kernphysik benutzte Einheit zur Angabe von  $\rightarrow$ Wirkungsquerschnitten von Teilchen für eine bestimmte Reaktion, Kurzzeichen: b. Ein Barn ist gleich  $10^{-28}$  m<sup>2</sup>; 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, das sind: Neutron, Proton, Hyperon. Der Name ( $\beta\alpha\rho\upsilon\varsigma$  (barys), griechisch für „schwer“) leitet sich von der verhältnismäßig großen Masse dieser Teilchen gegenüber anderen Elementarteilchen ( $\rightarrow$ Leptonen,  $\rightarrow$ Mesonen) ab.  $\rightarrow$ Elementarteilchen.

### Becquerel

Einheit der Aktivität eines Radionuklids, benannt nach dem Entdecker der Radioaktivität Henri Becquerel. Das Einheitenkurzzeichen ist Bq. Die Aktivität beträgt 1 Becquerel, wenn von der vorliegenden Menge eines Radionuklids 1 Atomkern pro Sekunde zerfällt. Die Einheit Becquerel ersetzt die früher gebräuchliche Einheit Curie.  $\rightarrow$ Curie.

### BEIR

Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation; ein Komitee des National Research Council der USA, das eine Berichtsreihe zur Information der US-Regierung über die Wirkungen ionisierender Strahlen herausgibt.

1980, BEIR III: The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation

1988 BEIR IV: Health Effects of Radon and Other Internally Deposited Alpha-Emitters

1990 BEIR V: Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation

1998 BEIR VII, Phase 1: Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, Phase 1

1999 BEIR VI: The Health Effects of Exposure to Indoor Radon

2006 BEIR VII, Phase 2: Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, Phase 2

### Benutzungsstunden

Die Benutzungsstunden (Benutzungsdauer) sind gleich der Gesamtarbeit in einer Zeitspanne dividiert durch die Höchstlast in dieser Zeitspanne.

### BER II

Forschungsreaktor des Helmholtz-Zentrum Berlin. BER II ist ein Schwimmbadreaktor mit einer thermischen Leistung von 15 MW, Inbetriebnahme am 9.12.1973.

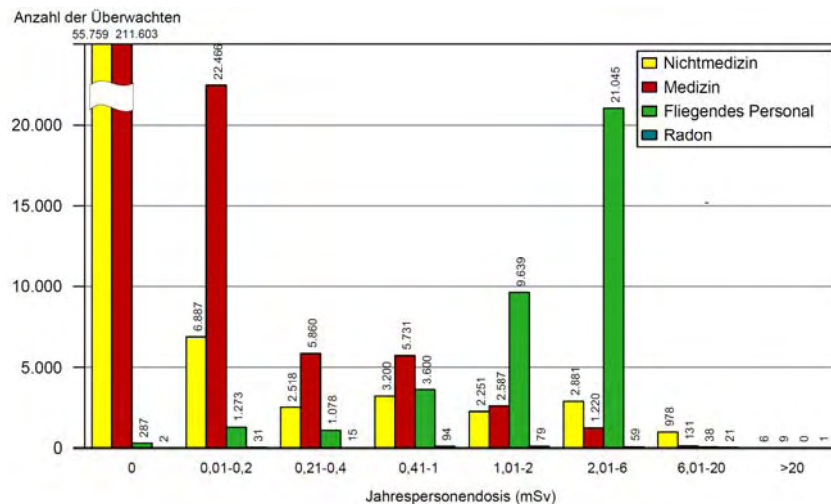
### Berstschutz

Nicht realisiertes Baukonzept, um durch Umgeben des Reaktordruckbehälters mit einem Stahlbetonmantel ein Bersten des Druckbehälters zu verhindern. Der Nachteil eines Berstschatzes liegt darin, dass Wiederholungsprüfungen des Druckbehälters (z. B. durch Ultraschallmeßmethoden) praktisch unmöglich werden.

## beruflich strahlenexponierte Personen

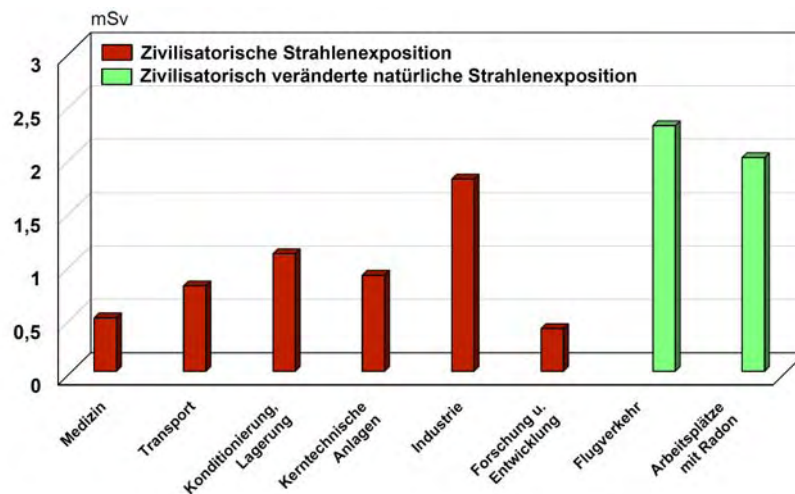
Entsprechend den Bestimmungen der Strahlenschutzverordnung von 2001 und der Röntgenverordnung von 2002 sind dies Personen, die bei ihrer Berufsausübung oder bei ihrer Berufsausbildung eine effektive Dosis (→Dosis, effektive) von mehr als 1 mSv pro Jahr oder eine höheren Organdosis von 15 mSv pro Jahr für die Augenlinse oder mehr als 50 mSv pro Jahr für die Haut oder Hände und Füße erhalten können. Innerhalb der Gruppe der beruflich strahlenexponierten Personen wird unterschieden zwischen Personen der Kategorie A, die eine effektive Dosis von mehr als 6 mSv pro Jahr und Personen der Kategorie B, die mehr als 1 mSv bis höchstens 6 mSv pro Jahr erhalten können. Auswirkungen hat diese unterschiedliche Eingruppierung auf die Häufigkeit der Untersuchung im Rahmen der ärztlichen Überwachung.

Im Jahr 2008 wurden in Deutschland etwa 323 500 Personen während ihrer beruflichen Tätigkeit mit Personendosimetern überwacht. Davon waren rund 77 % im medizinischen Bereich tätig. Die Summe der Jahresdosis aller mit Personendosimetern überwachten Personen im Jahr 2008 betrug 46 Personen-Sievert. Die mittlere Jahres-Personendosis aller Überwachten betrug 0,14 mSv. Bei etwa 83 % der mit Personendosimetern überwachten Personen lagen die ermittelten Werte unter der kleinsten feststellbaren Dosis von 0,05 mSv im Jahr. Für die 57 000 Personen mit einer von Null verschiedenen Jahresdosis ergibt sich eine mittlere Jahres-Personendosis von 0,8 mSv.



Häufigkeitsverteilung der Personendosis überwachter Personen im Jahr 2008

Entsprechend den Vorschriften der Strahlenschutzverordnung müssen die Betreiber von Flugzeugen die durch die erhöhte kosmische Strahlung verursachte Strahlenexposition des fliegenden Personals mit amtlich zugelassenen Rechenprogrammen ermitteln. In Deutschland wurden im Jahr 2008 auf diese Weise 37 000 Personen überwacht, die Kollektivdosis dieser Personen betrug 85 Personen-Sievert. Damit ergibt sich eine mittlere Jahresdosis von 2,3 mSv. Das fliegende Personal ist damit die am höchsten strahlenexponierte Berufsgruppe in Deutschland.



Mittlere Jahres-Personendosis überwachter Personen in Deutschland im Jahr 2008 in den verschiedenen Tätigkeitsbereichen

beschichtete Partikel

Brennstoffkörnchen aus hochangereicherem  $\text{UO}_2$  oder aus Mischungen von  $\text{UO}_2$  und  $\text{ThO}_2$ , die mit einer praktisch gasdichten Hülle aus pyrolytisch abgeschiedenem Kohlenstoff umgeben sind. In einer Graphitmatrix werden sie als Brennelemente in Hochtemperaturreaktoren eingesetzt.

Beschleuniger

Gerät zur Beschleunigung elektrisch geladener Teilchen auf hohe Energien. Zu den Beschleunigern zählen z. B.  $\rightarrow$ Betatron,  $\rightarrow$ Linearbeschleuniger,  $\rightarrow$ Synchrotron,  $\rightarrow$ Synchrozyklotron,  $\rightarrow$ Van-de-Graaff-Generator und  $\rightarrow$ Zyklotron.

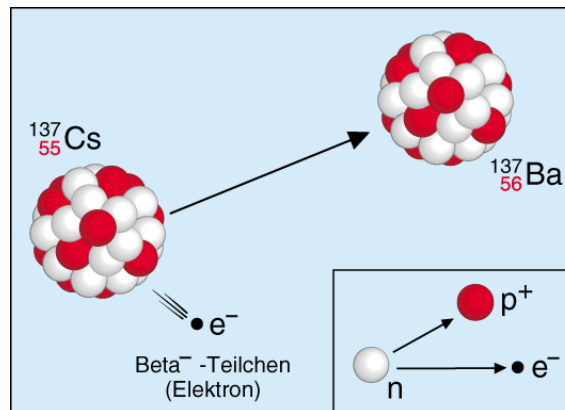
bestimmungsgemäßer Betrieb

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.

Beta-Minus-Zerfall

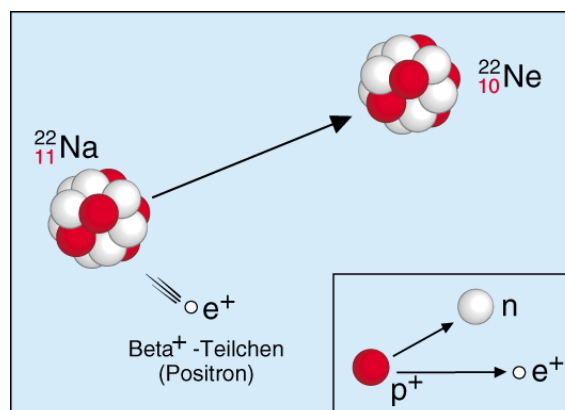
Radioaktive Umwandlung unter Emission eines negativen Elektrons ( $\beta^-$ -Teilchen).



Beta-Minus-Zerfall (Beta $^-$ -Zerfall,  $\beta^-$ -Zerfall). Zerfall von Cs-137 in Ba-137 unter Aussendung eines Elektrons (Beta $^-$ -Teilchen,  $\beta^-$ -Teilchen)

Beta-Plus-Zerfall

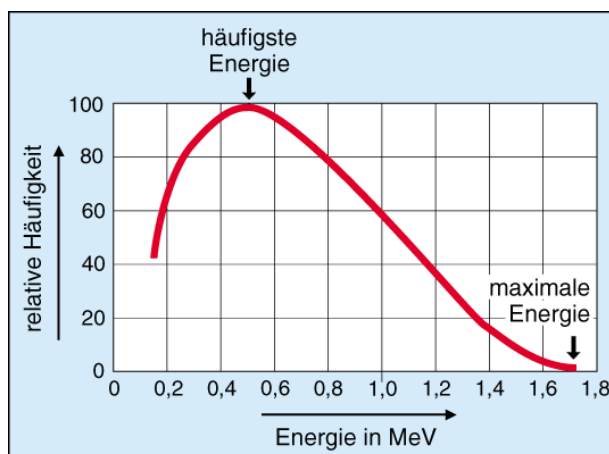
Radioaktive Umwandlung unter Emission eines Positrons ( $\beta^+$ -Teilchen), z. B. Zerfall von Na-22 in Ne-22.



Beta-Plus-Zerfall (Beta<sup>+</sup>-Zerfall, β<sup>+</sup>-Zerfall); Zerfall von Na-22 in Ne-22 unter Aussendung eines Positrons (Beta<sup>+</sup>-Teilchen, β<sup>+</sup>-Teilchen)

## Betastrahlung

Betastrahlung bezeichnet die Emission von Elektronen oder Positronen beim radioaktiven Zerfall. Betastrahlen haben ein Energiekontinuum, angegeben wird jeweils die maximale Energie  $E_{\beta, \max}$ , diese beträgt z. B. beim P-32-Zerfall 1,7 MeV. Betastrahlen werden bereits durch geringe Schichtdicken (z. B. 2 cm Kunststoff oder 1 cm Aluminium) absorbiert.



Energieverteilung der beim β<sup>-</sup>-Zerfall des P-32 emittierten Elektronen (β<sup>-</sup>-Teilchen)

## Betateilchen

Elektron mit positiver oder negativer Ladung, das von einem Atomkern oder Elementarteilchen beim Betazerfall ausgesandt wird. Entsprechend der Ladung des emittierten Elektrons spricht man auch von Beta-Plus-Strahlung (β<sup>+</sup>-Strahlung) und Beta-Minus-Strahlung (β<sup>-</sup>-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 eine Magnetfeldanordnung auf dieser Bahn gehalten. Die Beschleunigung erfolgt durch elektromagnetische Induktion (Transformatorprinzip).

## Betazerfall

Radioaktive Umwandlung unter Emission eines →Betateilchens. Beim Betazerfall ist die Massenzahl des Ausgangsnuklids und des neu entstandenen Nuklids gleich, die Ordnungszahl ändert sich um eine Einheit; und zwar wird die Ordnungszahl beim Betazerfall unter Aussendung eines Positrons - →Beta-Plus-Zerfall - um eine Einheit kleiner und beim Betazerfall unter Aussendung eines negativen Elektrons - →Beta-Minus-Zerfall - um eine Einheit größer.

## Betriebserfahrungen mit Kernkraftwerken

Im Januar 2011 waren in 30 Ländern 442 Kernkraftwerksblöcke mit einer installierten elektrischen Nettoleistung von rund 371 GW in Betrieb. Die kumulierte Betriebserfahrung bis Januar 2011 betrug 14 368 Jahre. Die weltweite Stromerzeugung aus Kernenergie betrug im Jahre 2009 netto rund 2 558 Milliarden kWh. Insgesamt wurden bis Ende 2009 weltweit netto 64 600 TWh (64 Billionen kWh) elektrische Energie aus Kernkraft gewonnen. Das entspricht eine Einsatz von rund 28 000 Millionen Tonnen Steinkohle in Kohlekraftwerken. →Kernkraftwerke, weltweit.

## Betriebshandbuch

Alle zum Betrieb und zur Instandhaltung einer verfahrenstechnischen Anlage notwendigen Anweisungen werden in einem Betriebshandbuch erfasst. Es enthält Hinweise zur Organisation des Betriebes sowie An-

weisungen für das Verhalten des Anlagenpersonals bei Betriebsstörungen, Störfällen und anderen Vorkommnissen.

Bewertungsskala

→INES, →Störfallkategorien.

BfS

→Bundesamt für Strahlenschutz.

Biblis A

Kernkraftwerk Biblis/Rhein, Block A, Druckwasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 1 225 MW, nukleare Inbetriebnahme am 16.04.1974.

Biblis B

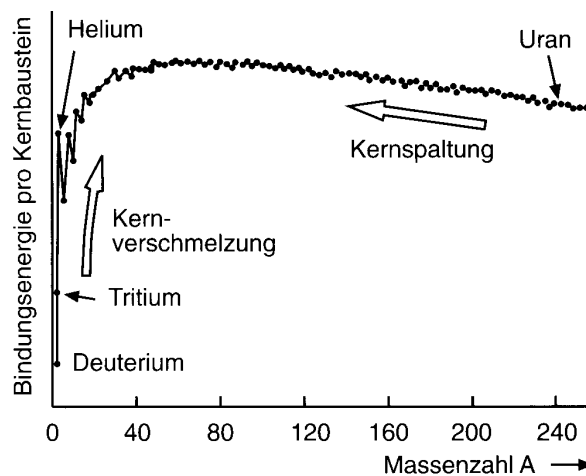
Kernkraftwerk Biblis/Rhein, Block B, Druckwasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 1 300 MW, nukleare Inbetriebnahme am 25.03.1976.

Bilanzierung

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.

Bindungsenergie

Die 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.



Abhängigkeit der Kernbindungsenergie pro Nukleon von der Massenzahl

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 Atom-

kerne 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).

#### 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.

#### Blaskammer

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.

#### BMU

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

#### Bodenstrahlung

→terrestrische Strahlung; daneben auch die Gammastrahlung, die von Ablagerungen radioaktiver Stoffe auf dem Erdboden infolge der Ableitung mit der Abluft aus kerntechnischen Anlagen ausgeht.

#### Bodenwanne

Auffangwannen, in denen flüssigkeitsführende Apparate und Behälter stehen, zur gezielten Aufnahme eventuell auslaufender Prozessflüssigkeiten zur Verhinderung der Ausbreitung dieser Flüssigkeiten in der Anlage.

#### Body Burden

→Körperbelastung.

#### Body Counter

→Ganzkörperzähler.

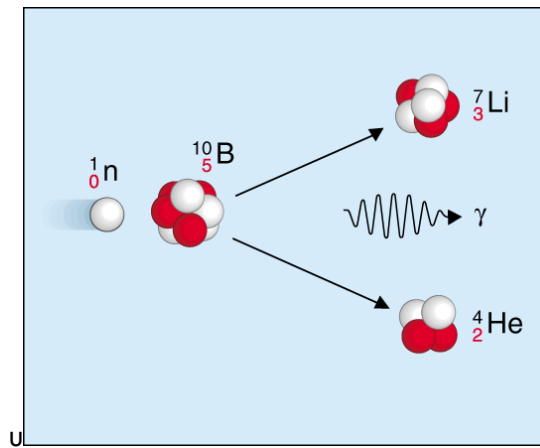
#### Borosilikatglas

Glassorte mit hoher →Auslaugbeständigkeit, geeignet zur Verfestigung des flüssigen hochradioaktiven Abfalls aus der Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen. →Verglasung.

#### Borzähler

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





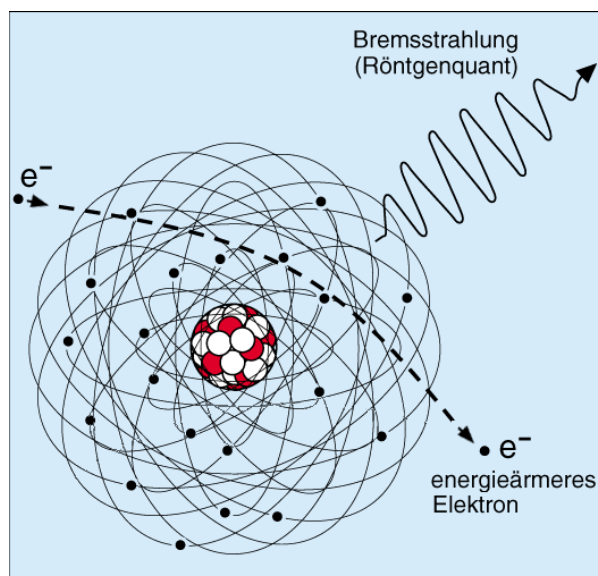
Zum Nachweis von Neutronen dient das bei der Kernreaktion an B-10 entstehende Alphateilchen

Bq

Kurzzeichen für  $\rightarrow$ Becquerel, dem Namen für die Einheit der Aktivität.

### Bremsstrahlung

Elektromagnetische Strahlung, die entsteht, wenn elektrisch geladene Teilchen beschleunigt oder abgebremst werden. Das Spektrum der emittierten Strahlung reicht von einer Maximalenergie, die durch die kinetische Energie des erzeugenden Teilchens gegeben ist, bis herab zur Energie Null. Bremsstrahlung tritt erst dann merklich auf, wenn die Energie des Teilchens sehr groß gegen seine Ruheenergie ist. Das ist meist nur für Elektronen erfüllt (Ruheenergie des Elektrons 511 keV).



Erzeugung von Bremsstrahlung bei der Abbremsung eines Elektrons bei der Wechselwirkung mit einem Atom

### Brennelement

Aus einer Vielzahl von  $\rightarrow$ 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.

Brennelement, abgebranntes

Brennelement nach seinem Einsatz im Reaktor; auch ausgedientes oder bestrahltes Brennelement genannt.

Brennelement, ausgedientes

→ Brennelement, abgebranntes.

Brennelement, bestrahltes

→ Brennelement, abgebranntes.

### Brennelement-Zwischenlager

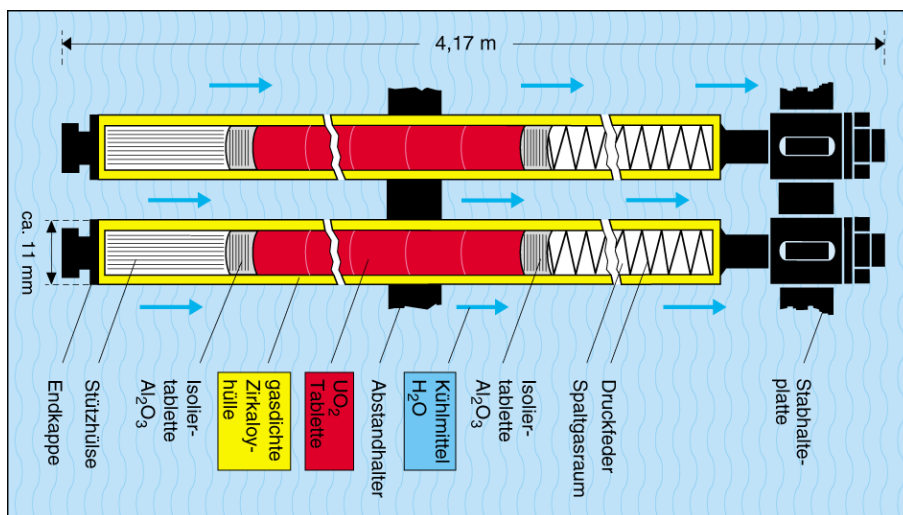
Lagergebäude zur zeitlich begrenzten Lagerung abgebrannter Brennelemente für den Zeitraum zwischen Entladung aus dem Kernkraftwerk und der Wiederaufarbeitung oder der direkten Endlagerung. Die Lagerung erfolgt in speziellen für Transport und Lagerung entwickelten Gusseisen-Behältern, insbesondere in 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 vorbeistreichende Luft in Naturkonvektion.

In Deutschland bestehen zentrale Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente in Ahaus (Nordrhein-Westfalen) mit einer Lagerkapazität von 3960 t abgebrannten Kernbrennstoffs und in Gorleben (Niedersachsen) mit einer Lagerkapazität von 3800 t und in Lubmin (Mecklenburg-Vorpommern) mit einer Lagerkapazität von 585 t.

Dezentrale Zwischenlager wurden im Zuge der Novellierung des Atomgesetzes zur Verringerung der Anzahl von Radioaktivitätstransporten an den jeweiligen Standort der Kernkraftwerke für deren eigenen Lagerbedarf an abgebrannten Brennelementen errichtet.

### Brennstab

Geometrische Form, in der Kernbrennstoff, 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

Brennstoff

→ Kernbrennstoff.

Brennstoff, keramischer

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

### Brennstoffhülle

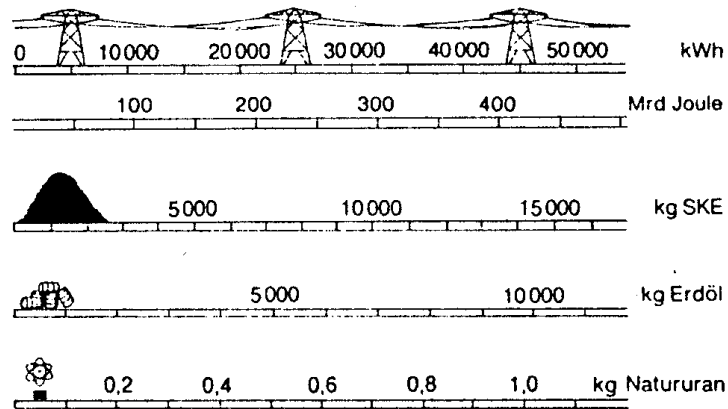
Den Kernbrennstoff unmittelbar umschließende dichte Umhüllung, die diesen gegen eine chemisch aktive Umgebung (Kühlwasser) schützt und den Austritt von Spaltprodukten in das Kühlwasser verhindert.

### Brennstoffkreislauf

→Kernbrennstoffkreislauf.

### Brennstoffvergleich

Bei vollständiger Verbrennung bzw. Spaltung lassen sich aus 1 kg Steinkohle ca. 8 kWh, aus 1 kg Erdöl ca. 12 kWh und aus 1 kg Uran-235 rund 24 000 000 kWh Wärme gewinnen. Bezogen auf ein Kilogramm ist im Uran-235 das zwei- bis dreimillionenfache Energieäquivalent gegenüber Öl bzw. Kohle enthalten. In der Grafik ist ablesbar, wie viel Steinkohle, Öl oder Natururan für eine bestimmte Strommenge erforderlich sind. So entspricht 1 kg Natururan - nach entsprechender Anreicherung eingesetzt für die Stromerzeugung in Leichtwasserreaktoren - knapp 10 000 kg Erdöl oder 14 000 kg Steinkohle und ermöglicht die Erzeugung von 45 000 kWh Strom.



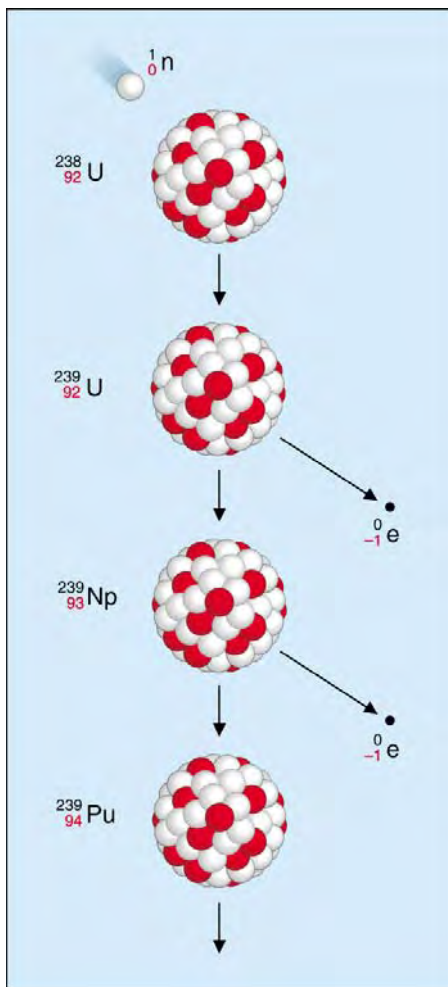
Vergleich der Einsatzmengen verschiedener Primärenergieträger zur Erzeugung einer bestimmten Strommenge

### Brennstoffwiederaufarbeitung

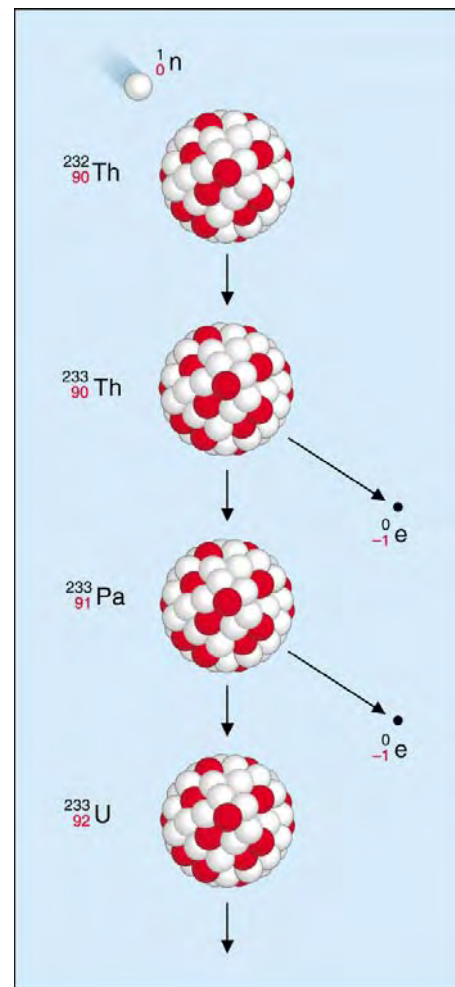
Die chemische Behandlung von Kernbrennstoff nach seinem Einsatz im Reaktor zur Entfernung der Spaltprodukte und zur Rückgewinnung des unverbrauchten Urans und des bei der Spaltung entstandenen neuen Spaltstoffes Plutonium. →Wiederaufarbeitung.

### Brüten

Umwandlung von nicht spaltbarem in spaltbares Material, z. B. Uran-238 in Plutonium-239 oder Thorium-232 in Uran-233. Durch Neutronenbestrahlung in einem Reaktor entsteht z. B. aus Uran-238 durch Einfang eines Neutrons Uran-239, das sich über zwei aufeinanderfolgende Betazerfälle in Plutonium-239 umwandelt.



Brutprozess: Entstehen von Pu-239 aus U-238



Brutprozess: Entstehen von U-233 aus Th-232

Brutfaktor

→ Brutverhältnis.

Brutgewinn

Überschuss der in einem Reaktor gewonnenen Spaltstoffmenge über die verbrauchte Spaltstoffmenge, bezogen auf die verbrauchte Menge. Der Brutgewinn ist gleich dem → Brutverhältnis minus 1.

Brutmantel

Eine Schicht aus Brutstoff rings um den Kern in einem Reaktor.

Brutprozess

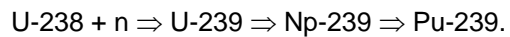
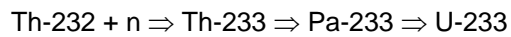
Der Vorgang zur Umwandlung von nicht spaltbarem Material in spaltbares Material. → Brutstoff.

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.



Brutverhältnis

Das Verhältnis von gewonnenem  $\rightarrow$ Spaltstoff zu verbrauchtem Spaltstoff nach dem Einsatz einer Brennstoffmischung aus Spaltstoff und Brutstoff in einem Reaktor.

Brutzone

Reaktorzone, die  $\rightarrow$ Brutstoffe zum Zweck des Brütens enthält.

BTU

British Thermal Unit; in Großbritannien übliche Wärmemengen- oder Energieeinheit;  
1 BTU  $\approx$  252 cal  $\approx$  1055 J.

BWR

Boiling Water Reactor;  $\rightarrow$ Siedewasserreaktor.

## C

C-14

→Kohlenstoff-14

Calder Hall

Erstes kommerzielles Kernkraftwerk der Welt, Standort Seascale, England. Die Kernkraftwerksanlage Calder Hall besteht aus vier Gas-Graphit-Reaktoren mit einer elektrischen Leistung von jeweils 55 MW. Der erste Block wurde am 27.08.1956 in Betrieb genommen. Ende März 2003 wurde der Betrieb aus wirtschaftlichen Gründen eingestellt.

CANDU

Kanadischer, schwerwassermoderierter Druckröhren-Natururanreaktor. Der Name setzt sich zusammen aus: „CAN“ aus Canada, „D“ aus dem fachsprachlichen Namen Deuteriumoxid für Schwerwasser und „U“ aus dem Brennstoff Uran.

Castor

**C**ask for **s**torage and **t**ransport of radioactive material. Behältertyp für den Transport und die Zwischenlagerung von abgebrannten Brennelementen und verglasten hochradioaktiven Abfall. Für alle CASTOR<sup>®</sup>-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 neutronenabsorbierenden 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 übereinanderliegenden 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<sup>®</sup> 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 gekühlten 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 Transporten 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

Commissariat à l'Energie Atomique, französische Atomenergiebehörde.

Čerenkov-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 Čerenkov-Strahlung beträgt bei Elektronenstrahlung in Wasser ( $n = 1,33$ ) 260 keV.

## 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 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.

## Ci

Einheitenkurzzeichen für →Curie.

## coated Particles

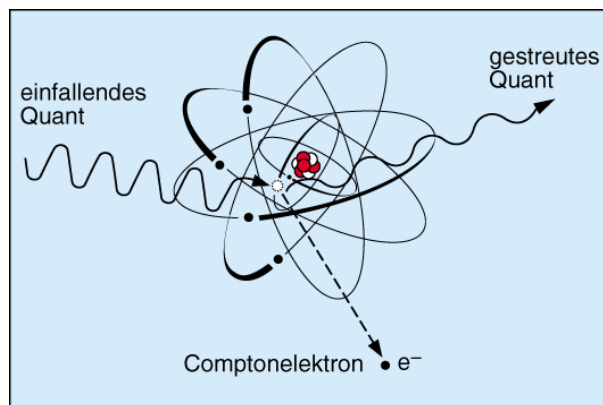
→beschichtete Partikel.

## COGEMA

Compagnie Générale des Matières Nucléaires, heutiger Name Areva NC, französische Unternehmensgruppe für den Kernbrennstoffkreislauf; betreibt u. a. die Wiederaufarbeitungsanlage La Hague.

## Compton-Effekt

Wechselwirkungseffekt von Röntgen- und Gammastrahlung mit Materie. Compton-Effekt ist die elastische Streuung eines Quants mit einem freien oder quasi-freien Elektron aus der Elektronenhülle eines Atoms. Ein Teil der Energie und des Impulses des Quants wird auf das Elektron übertragen, der Rest bleibt bei dem gestreuten Quant.



Compton-Effekt, Wechselwirkung eines Gammaquants mit einem Hüllelektron

## Containment

→Sicherheitsbehälter eines Reaktors.

## Core

→Spaltzone eines Kernreaktors.

## Corecatcher

Kernschmelzrückhalteeinrichtung, →Kernschmelze.

## CP-1

Chicago Pile No. 1, erster Kernreaktor (→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

## 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.

## Curie

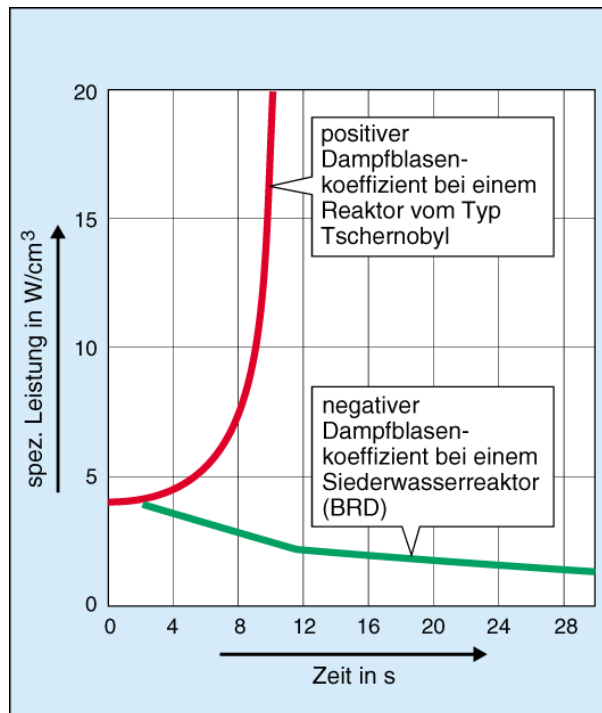
Name für die frühere Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Curie, Einheitenkurzzeichen Ci, liegt vor, wenn von einem Radionuklid  $3,7 \cdot 10^{10}$  (37 Milliarden) Atome je Sekunde zerfallen. Die Aktivitätseinheit Curie wurde ersetzt durch die Einheit →Becquerel.  $1 \text{ Curie} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Becquerel}$ .



## 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 Genehmigungsverfahren 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

### DAtF

$\rightarrow$ Deutsches Atomforum e. V.

### Datierung, radioaktiv

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 zu Kohlenstoff-12 das Alter von Knochen, Holz und anderen archäologischen Proben ermitteln.

### DBE

Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern 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 bei Reaktoren mit einer elektrischen Leistung von 1 300 MW 2,5 Milliarden Euro. 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. Dekontamination von Luft und Wasser erfolgt durch Filtern bzw. Verdampfen und Ausfällen.

#### Dekontaminationsfaktor

Verhältnis der Aktivität vor und nach der Dekontamination von radioaktiv verunreinigten Gegenständen, Abwässern, Luft usw.

#### deterministische Strahlenwirkung

Wirkung ionisierender Strahlung, die zu einem Funktionsverlust des bestrahlten Organs oder Gewebes führt, wenn durch die Strahlung genügend Zellen getötet oder an der Vermehrung und der normalen Funktion gehindert werden. Dieser Organfunktionsverlust wird um so schwerwiegender, je größer die Anzahl der betroffenen Zellen ist. Da viele Organe und Gewebe bei einer geringen Verminderung der Zahl der funktionfähigen 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).

#### Deuterium

Wasserstoffisotop, dessen Kern ein Neutron und ein Proton enthält und infolgedessen 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 vor. Auf 6 500 „normale“ Wasserstoffatome entfällt ein Deuteriumatom. → Schweres Wasser.

#### Deuteron

Kern des Deuteriums. Er besteht aus einem Proton und einem Neutron.

#### Deutsches Atomforum

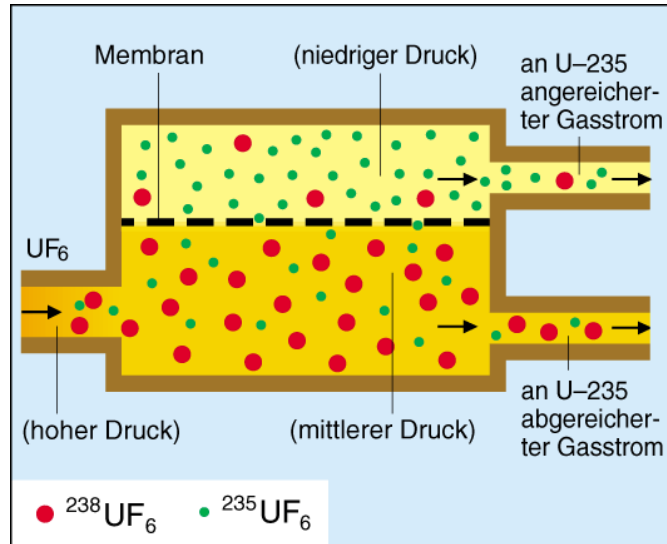
Das Deutsche Atomforum e. V. ist eine private, gemeinnützige Vereinigung, in der Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Wissenschaft vertreten sind. Das Deutsche Atomforum e. V. fördert in Deutschland auf der Basis freiwilliger Zusammenarbeit die Entwicklung und friedliche Nutzung der Kernenergie. Einer 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.

#### DIDO

Schwerwassermoderierter und -gekühlter Forschungsreaktor. Der Name DIDO ist von D<sub>2</sub>O, der chemischen Formel für schweres Wasser, abgeleitet. Ein Reaktor vom Typ DIDO war unter der Bezeichnung FRJ-2 im Forschungszentrum Jülich vom 14.11.1962 bis zum 2.5.2006 in Betrieb. Der Antrag zur Stilllegung wurde am 27.4.2007 gestellt.

## 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  $\text{UF}_6$  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

## 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.

## Dissolver

Behälter zur Auflösung des Kernbrennstoffes in Säure bei der Wiederaufarbeitung.

## Diversität

Auslegungsprinzip für Sicherheitssysteme kerntechnischer Anlagen. Zur Erhöhung der Ausfallsicherheit werden Sicherheitseinrichtungen nicht nur mehrfach - d. h. redundant -, sondern auch nach physikalisch oder technisch verschiedenartigen Prinzipien - diversitär - ausgelegt. →Redundanz

## Dodekan

n-Dodekan,  $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$ , Schmelzpunkt  $-9,6\text{ }^\circ\text{C}$ , Siedepunkt  $216,3\text{ }^\circ\text{C}$ , Dichte  $0,7493\text{ g/cm}^3$ . Dodekan ist eine Kohlenwasserstoffverbindung (Alkan), geeignet als Lösungsmittel zur Verdünnung des →TBP bei der Extraktion von U und Pu aus bestrahltem Kernbrennstoff. →PUREX-Verfahren.

## Dollar

In der Reaktortechnik bei Angaben der →Reaktivität verwendeter Name. Dollar ist die auf den Anteil der verzögerten Neutronen bezogene Einheit für die Reaktivität eines Reaktors.

## Dopplereffekt

Veränderung der gemessenen Frequenz einer Wellenstruktur durch die Bewegung des Empfängers oder der Wellenquelle. Der bewegte Empfänger schneidet mehr oder weniger Wellen pro Zeit, je nachdem, ob er sich auf die Quelle der Wellen zu oder von ihr weg bewegt. Analog gilt in einem Reaktor, da Spaltungsquerschnitte von der relativen Geschwindigkeit der Neutronen und der Uranatome abhängen, dass die Schwingungen der Uranatome in einem Brennelement aufgrund der steigenden Betriebstemperatur zu einem Dopplereffekt führen. Dieser Dopplereffekt kann die Reaktivität des Reaktors verändern.

## Dosimeter

Ein Instrument zur Messung der Personen- oder Ortsdosis (→Ionisationskammer, →Filmdosimeter, →Phosphatglasdosimeter, →Thermolumineszenzdosimeter).

## 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 an die bestrahlte Materie an, sie wird in der Einheit Gray (Gy) angegeben. Zentrale Dosisgrößen im Strahlenschutz sind die „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. 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 tiefliegender Organe und die Oberflächen-Personendosis  $H_p(0,07)$  ein Schätzwert für die Hautdosis.

Die im Strahlenschutz verwendeten Dosisgrößen im einzelnen:

- Äquivalentdosis

Die Äquivalentdosis ist das Produkt aus der Energiedosis im ICRU→Weichteilgewebe und dem →Qualitätsfaktor. Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und Strahlungsenergien ist die gesamte Äquivalentdosis die Summe ihrer ermittelten Einzelbeiträge. Die Einheit der Äquivalentdosis ist das Sievert.

- effektive Dosis

Die effektive Dosis ist die geeignete Größe zur Angabe eines einheitlichen Dosiswertes bei unterschiedlicher Exposition verschiedener Körperbereiche zur Bewertung des Risikos für Strahlenschäden. 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.

$$E = \sum_T w_T H_T .$$

Organ	Gewebe-Wichtungsfaktor $w_T$
Keimdrüsen	0,20
Dickdarm	0,12
Knochenmark (rot)	0,12
Lunge	0,12

Organ	Gewebe-Wichtungsfaktor $w_T$
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

Gewebe-Wichtungsfaktoren nach Strahlenschutzverordnung

- **Energiedosis**

Die Energiedosis  $D$  ist die durch ionisierende Strahlung auf die Materie in einem Volumenelement übertragene mittlere Energie

$$D = \frac{d\epsilon}{dm}$$

Die Einheit der Energiedosis ist Joule durch Kilogramm ( $J \cdot kg^{-1}$ ), ihr besonderer Einheitenname ist Gray (Gy).

- **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 Dosisleistung 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:

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

- **Oberflächen-Personendosis**

Die Oberflächen-Personendosis  $H_p(0,07)$  ist die Äquivalentdosis in 0,07 mm Tiefe im Körper an der Tragestelle des Personendosimeters.

- **Organdosis**

Die Organdosis  $H_{T,R}$  ist das Produkt aus der über das Gewebe/Organ  $T$  gemittelten Organ-Energiedosis  $D_{T,R}$ , die durch die Strahlung  $R$  erzeugt wird, und dem Strahlungs-Wichtungsfaktor  $w_R$ .

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

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:

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

Strahlenart und Energiebereich	Strahlungs-Wichtungsfaktor $w_R$
Photonen, alle Energien	1
Elektronen u. 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, außer Rückstoßprotonen, > 2 MeV	5
Alphateilchen, Spaltfragmente, schwere Kerne	20

#### Strahlungs-Wichtungsfaktoren

- Ortsdosis

Ortsdosis ist die Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einem bestimmten Ort. Ortsdosis bei durchdringender Strahlung ist die Umgebungs-Äquivalentdosis, Ortsdosis bei Strahlung geringer Eindringtiefe ist die Richtungs-Äquivalentdosis. 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.

- Personendosis

Die Strahlenschutzverordnung fordert zur Ermittlung der Körperdosis die Messung der Personendosis. 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 tiefliegender Organe und die Oberflächen-Personendosis ein Schätzwert für die Hautdosis.

- Richtungs-Äquivalentdosis

Die Richtungs-Äquivalentdosis  $H'(0,07, \Omega)$  am interessierenden Punkt im tatsächlichen Strahlungsfeld ist die Äquivalentdosis, die im zugehörigen aufgeweiteten Strahlungsfeld in 0,07 mm Tiefe auf einem in festgelegter Richtung  $\Omega$  orientierten Radius der  $\rightarrow$ ICRU-Kugel erzeugt würde.

- Tiefen-Personendosis

Die Tiefen-Personendosis  $H_p(10)$  ist die Äquivalentdosis in 10 mm Tiefe im Körper an der Tragestelle des Personendosimeters.

- 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.

#### Dosisaufbaufaktor

Berücksichtigt bei Abschirmberechnungen den Einfluss der Streustrahlung auf die Dosis.

#### Dosiseffektkurve

Begriff aus der Strahlenbiologie. Bezeichnet den Zusammenhang zwischen dem prozentualen Auftreten einer untersuchten Wirkung in Abhängigkeit von der eingestrahlten Dosis.

#### 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 unterschiedliche Dosisgrenzwerte festgesetzt. In der Strahlenschutz-

verordnung und in der Röntgenverordnung sind für beruflich strahlenexponierte Personen die in der Tabelle angegebenen Grenzwerte festgelegt. Für berufstätige Schwangere und Auszubildende gelten geringere Werte als die für beruflich exponierten Personen.

Körperdosis	Dosismengengrenzwert im Kalenderjahr
effektive Dosis	20 mSv
Organdosis Gebärmutter, Keimdrüsen, rotes Knochenmark	50 mSv
Augenlinse, Bauchspeicheldrüse, Blase, Brust, Dickdarm, Dünndarm, Gehirn, Leber, Lunge, Magen, Milz, Muskel, Niere, Nebennieren, Speiseröhre, Thymusdrüse	150 mSv
Schilddrüse, Knochenoberfläche	300 mSv
Haut, Hände, Unterarme, Füße und Knöchel,	500 mSv

Dosismengengrenzwerte für beruflich strahlenexponierte Personen

Für Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis 1 mSv im Kalenderjahr; der Grenzwerte der Organdosis für die Augenlinse beträgt 15 mSv und der für die Haut 50 mSv im Kalenderjahr. Bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abluft oder Abwasser sind die technische Auslegung und der Betrieb der Anlagen so zu planen, dass folgende Grenzwerte im Kalenderjahr durch diese Ableitungen jeweils nicht überschritten werden:

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

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.

#### Dosiskoeffizienten

Koeffizienten 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.

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	$4,2 \cdot 10^{-6}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-7}$

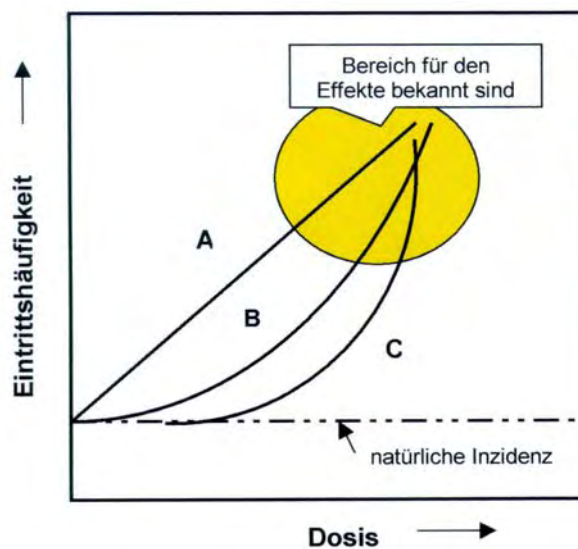
Beispiele für Dosiskoeffizienten für Einzelpersonen der Bevölkerung zur Berechnung der Organdosis oder der effektiven bei einer Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Nahrung (Ingestion)

### Dosisleistung

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

### 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 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 Strahlenschäden.



Dosis-Wirkungs-Beziehungen;  
Verlauf der Extrapolationsmöglichkeiten:  
A: linear, B: linear-quadratisch, C: quadratisch mit Schwellwert

### 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.

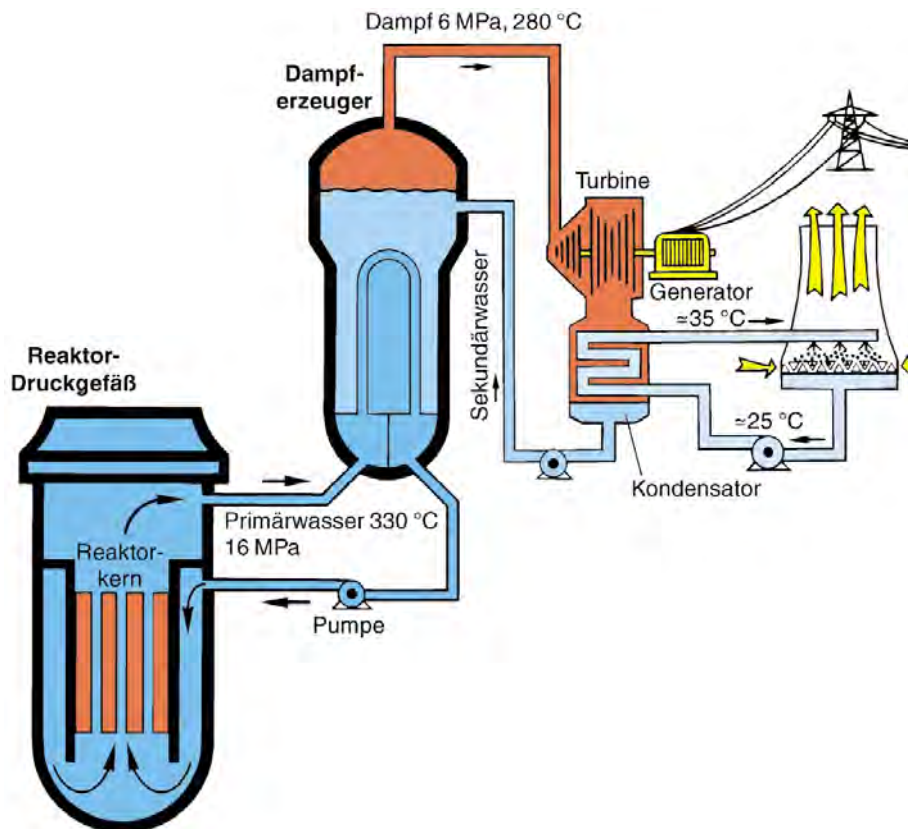
### Druckröhrenreaktor

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 ( $\text{D}_2\text{O}$ ) als Kühlmittel und Moderator; beim russischen RBMK-Reaktortyp wird leichtes Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) 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 eine hohe Temperatur erreicht und 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.



Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor

DTPA

Diäthylentriaminpentaacetat; 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 so wieder beschleunigt aus dem Körper ausgeschieden werden kann. In Form des Ca-DTPA und des Zn-DTPA stehen damit wirkungsvolle Dekontaminationsmittel - speziell auch für Plutonium - zur Verfügung.

DWR

→Druckwasserreaktor.

# E

## ECCS

Emergency Core Cooling System; →Notkühlung.

## Einzelfehler

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

## elektromagnetische Isotopentrennung

Trennung verschiedener Isotope durch elektrische und magnetische Felder.

## elektromagnetische Strahlung

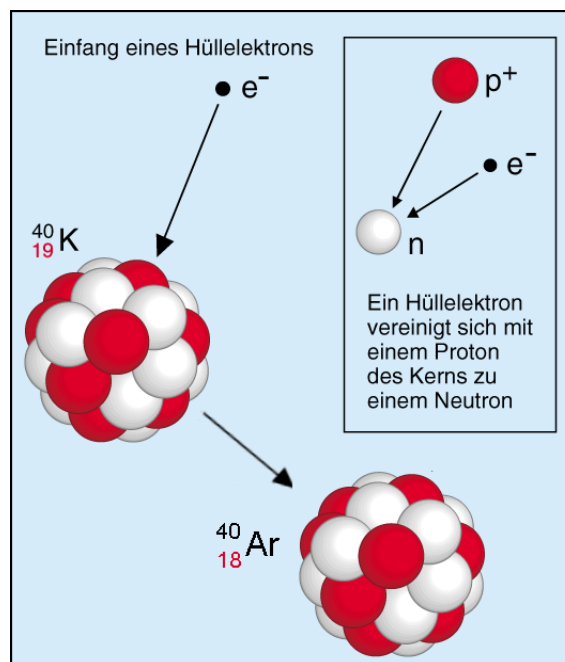
Strahlung aus elektrischen und magnetischen Wellen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit fortbewegen. Beispiele: Licht, Radiowellen, →Röntgenstrahlen, →Gammastrahlen. Die elektromagnetische Strahlung pflanzt sich auch im Vakuum fort.

## 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 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 Namen Elektron als Oberbegriff für Negatron und →Positron benutzt.

## Elektroneneinfang

Zerfallsart mancher Radionuklide, z. B. K-40, Mn-54, Fe-55. Vom Atomkern wird ein Elektron der Atomhülle eingefangen, wobei sich im Kern ein Proton in ein Neutron umwandelt. Das entstehende Nuklid hat eine um eine Einheit kleinere Ordnungszahl, die Massenzahl bleibt gleich. Beispiel:  $K-40 + e^- \Rightarrow Ar-40$ .



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

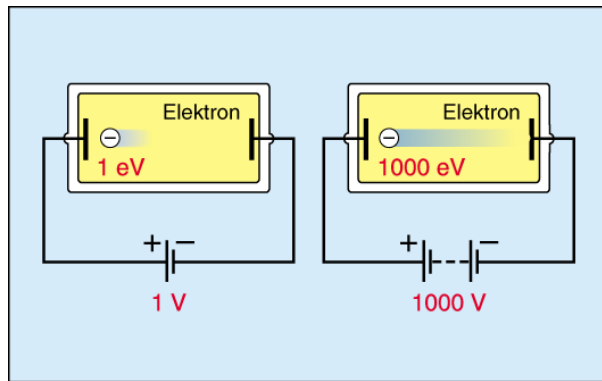
## Elektronengleichgewicht

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

## Elektronvolt

In der Atom- und Kernphysik gebräuchliche Einheit der Energie. Ein Elektronvolt 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

## Element

Chemischer Grundstoff, der sich auf chemischem Wege nicht mehr in einfachere Substanzen umwandeln lässt. Beispiele: Sauerstoff, Aluminium, Eisen, Quecksilber, Blei, Uran. Zur Zeit sind 118 chemische Elemente bekannt. Alle Elemente mit der Ordnungszahl 95 und höher sind künstlich hergestellt. Einige Elemente – wurden zuerst künstlich hergestellt und erst danach auch ihr natürliches Vorkommen nachgewiesen.

## Element, künstliches

Element, das auf der Erde nicht oder nicht mehr vorkommt, sondern durch Kernreaktionen künstlich erzeugt wird. Zu den künstlichen Elementen gehören die Elemente Technetium (Ordnungszahl  $Z = 43$ ), Promethium ( $Z = 61$ ) und die Transurane ( $Z > 92$ ). Nach ihrer künstlichen Herstellung konnte für einige Elemente – Technetium, Promethium, Neptunium und Plutonium – auch ihr natürliches Vorkommen nachgewiesen werden. So konnte in den 40er Jahren 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

Elementname	Symbol	Ordnungszahl
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
Copernicium	Cn	112
noch ohne Namen		113
noch ohne Namen		114
noch ohne Namen		115
noch ohne Namen		116
noch ohne Namen		117
noch ohne Namen		118

Liste der künstlichen Elemente

### 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 bezeichnete 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.

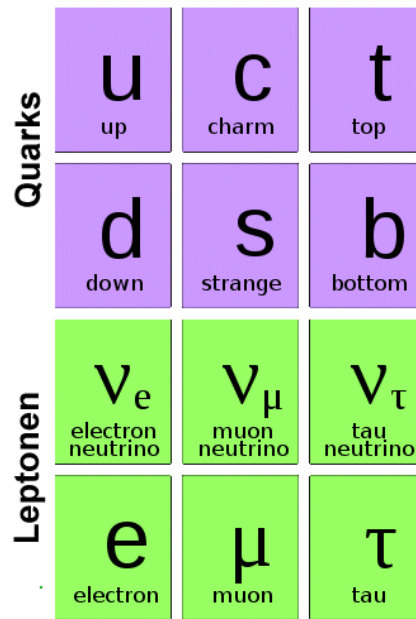
Teilchen	Ruhemasse MeV	mittlere Lebensdauer s	häufigste Zerfallsart %
<b>Photon</b> $\gamma$	0 ( $< 2 \cdot 10^{-22}$ )	stabil	stabil
<b>Leptonen</b>			
$\nu_e$	0 ( $< 3 \cdot 10^{-6}$ )	stabil	stabil
$\nu_\mu$	0 ( $< 0,19$ )	stabil	stabil
$\nu_\tau$	0 ( $< 18,2$ )	stabil	stabil
e	0,510999890	stabil ( $> 4,2 \cdot 10^{24}$ a)	stabil
$\mu^-$	105,658357	$2,19703 \cdot 10^{-6}$	$e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$ 98,6 $e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu \gamma$ 1,4
$\tau^-$	1777,03	$2,906 \cdot 10^{-13}$	$e^- \bar{\nu}_e \nu_\tau$ 17,83 $\mu^- \bar{\nu}_\mu \nu_\tau$ 17,37
<b>Mesonen</b>			
$\pi^0$	134,9766	$8,4 \cdot 10^{-17}$	$\gamma$ 98,8 $\gamma e^+ e^-$ 1,2
$\pi^\pm$	139,57018	$2,6033 \cdot 10^{-8}$	(für $\pi^+$ ) $\mu^+$ $\nu_\mu$ 99,98 $e^+$ $\nu_e$ 0,01 $\mu^+ \nu_\mu \gamma$ 0,01

Teilchen	Ruhemasse MeV	mittlere Lebensdauer s	häufigste Zerfallsart %
$\eta$	547,305		$\gamma$ 38,93 $\pi^0 \pi^0$ 31,22 $\pi^+ \pi^-$ 23,0 $\pi^+ \pi^- \gamma$ 4,9
$K^\pm$	493,677	$1,2386 \cdot 10^{-8}$	(für $K^+$ ) $\mu^+ \nu_\mu$ 63,51 $\pi^+ \pi^0$ 21,16 $\pi^+ \pi^+$ 5,59 $e^+ \nu_e$ 4,82 $\mu^+ \nu_\mu$ 3,18 $\pi^+ \pi^0 \pi^0$ 1,73
$K^0$	497,672	$K_s$ $8,935 \cdot 10^{-11}$ $K_L$ $5,17 \cdot 10^{-8}$	$\pi^+ \pi^-$ 68,61 $\pi^0 \pi^0$ 31,39 $\pi^\pm e^\mp \nu_e$ 38,78 27,18 $\pi^\pm \mu^\mp \nu_\mu$ 21,13 $\pi^0 \pi^0 \pi^0$ 12,55 $\pi^+ \pi^- \pi^0$ 0,36 $\pi^\pm e^\mp \nu_e \gamma$
$D^0$	1864,6	$0,4126 \cdot 10^{-12}$	
$D_s^\pm$	1968,6	$0,496 \cdot 10^{-12}$	
$D^\pm$	1869,3	$1,051 \cdot 10^{-12}$	
$B^\pm$	5279,0	$1,653 \cdot 10^{-12}$	
$B^0$	5279,4	$1,548 \cdot 10^{-12}$	
$B_s^0$	5369,6	$1,493 \cdot 10^{-12}$	
<b>Baryonen</b>			
p	938,27200	stabil ( $> 1,6 \cdot 10^{25}$ a)	stabil
n	939,56533	886,7	$p e^- \bar{\nu}_e$ 100
$\Lambda^0$	1115,683	$2,632 \cdot 10^{-10}$	p $\pi^-$ 63,9 n $\pi^0$ 35,8
$\Sigma^+$	1189,37	$8,018 \cdot 10^{-11}$	p $\pi^0$ 51,6 n $\pi^+$ 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	$8,21 \cdot 10^{-11}$	$\Lambda^0 K^-$ 67,8 $\Xi^0 \pi^-$ 23,6 $\Xi^- \pi^0$ 8,6

Eigenschaften einiger Elementarteilchen

Die Vielzahl solcher „Elementarteilchen“ - neben den in der Tabelle 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 - siehe Abbildung - 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  $+\frac{2}{3}$  und das down-Quark von  $-\frac{1}{3}$  elektrischen Elementarladungen hat.



Standard-Modell der Elementarteilchen

#### Emission

Die von einem Verursacher, z. B. Industrieanlage, Haushalt, Verkehr ausgehenden Ableitungen (z. B. feste, flüssige oder gasförmige Stoffe, Schall).

#### Endenergie

Energieform, die dem Anwender nach Umwandlung aus den Primärenergieträgern - Erdöl, Erdgas, Kernenergie, Kohle, regenerative Energien - zur Verfügung steht. Endenergieformen sind z. B. Heizöl, Kraftstoffe, Gas, Strom, Fernwärme.

#### endlagerfähig

Abfälle, die mit dem Ziel der Volumenreduktion sowie Erhöhung der Auslaugbeständigkeit speziell für eine Endlagerung behandelt wurden.

#### Endlagerkonzepte

Für hochradioaktive Abfälle und bestrahlte Brennelemente ist weltweit noch kein Endlager in Betrieb. In vielen Ländern werden entsprechende Planungen und Standortuntersuchungen schon seit langem und mit großem Aufwand durchgeführt. Der Stand der Planungen in den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union ist in der Tabelle zusammengefasst.

Land	Konzept / Planungsstand	Zeithorizont
Belgien	Endlager in Tonschichten, geplant	Baubeginn etwa 2020
Finnland	Endlager im Granit, Standort Olkiluoto	Inbetriebnahme 2020
Frankreich	Endlager in Tongestein falls Untersuchungsergebnisse die Eignung erweisen	Inbetriebnahme 2025
Vereinigtes Königreich	Endlagerung in tiefen geologischen Formationen, Vorbereitung eines Standortauswahlverfahrens	
Niederlande	Machbarkeitsstudie für verschiedene Endlagertypen	
Rumänien	Standortauswahlverfahren	

Land	Konzept / Planungsstand	Zeithorizont
Russland	geologisches Endlager geplant; Formation und Standort offen	
Schweden	Endlager im Granit; Erkundung der Standorte Östhammar und Oskarshamn	Inbetriebnahme um 2017
Schweiz	Endlagerung in tiefen geologischen Formationen; Standortauswahlverfahren	Inbetriebnahme nach 2020
Slowakische Republik	Standortvorauswahl	Inbetriebnahme um 2030
Spanien	Standortvorauswahl	Inbetriebnahme um 2020
Tschechische Republik	geologisches Endlager geplant	Inbetriebnahme um 2032
Ungarn	Standortauswahl	

## 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 wurden 1975 die Eignungsuntersuchungen und 1982 die Genehmigungsverfahren begonnen. 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 303.000 m<sup>3</sup> von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung erteilt. Durch Beschluss des Bundesverwaltungsgericht vom 26. März 2007 wurden die Klagen gegen die Genehmigung abschließend zurückgewiesen und damit die Genehmigung rechtskräftig. Die Arbeiten zum Umbau des Bergwerks in ein Endlager haben begonnen. Mit der Einlagerung radioaktiver Abfälle soll 2013 begonnen werden.
- Der Salzstock Gorleben wird seit 1979 auf seine Eignung für die Endlagerung aller Arten fester radioaktiver Abfälle untersucht, also auch für die Endlagerung wärmeentwickelnder Abfälle. Eine endgültige Eignungsaussage für den Salzstock Gorleben wird erst nach der untertägigen Erkundung möglich sein. Die Bewertung aller bisherigen Erkundungsergebnisse bestätigt seine Eignungshöflichkeit.
- Im stillgelegten ehemaligen Salzbergwerk Asse bei Wolfenbüttel wurden Verfahren und Techniken zur Endlagerung radioaktiver Abfälle entwickelt und erprobt und bis 1978 schwach- und mittelradioaktive Abfälle eingelagert. Zur Zeit laufen die Arbeiten zur Schließung
- Die Einlagerung radioaktiver Abfälle im Endlager ERAM bei Morsleben in Sachsen-Anhalt wurde 1999 eingestellt. Gegenwärtig lagern im Endlager Morsleben rund 35 000 Kubikmeter schwach- und mittelradioaktive Abfälle. Das Bundesamt für Strahlenschutz betreibt ein Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung.

## Endlagerung, direkte

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 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 wird die Entsorgung ausgedienter Brennelemente aus dem Betrieb von Kernkraftwerken ab dem 1.7.2005 auf die direkte Endlagerung beschränkt.

## Endlagervorausleistungsverordnung

Die Verordnung über Vorausleistungen für die Errichtung von Anlagen des Bundes zur Sicherstellung und zur Endlagerung radioaktiver Abfälle (Endlagervorausleistungsverordnung - EndlagerVIV) vom 28. April 1982

(zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 6. 7.2004) regelt die zur Deckung des notwendigen Aufwandes für Planung und Errichtung eines Endlagers im Voraus zu entrichtenden Beträge. Vorausleistungspflichtig ist der Inhaber einer atomrechtlichen Genehmigung, wenn aufgrund der Genehmigung mit der Ablieferungspflicht radioaktiver Abfälle an ein Endlager zu rechnen ist.

## Energie

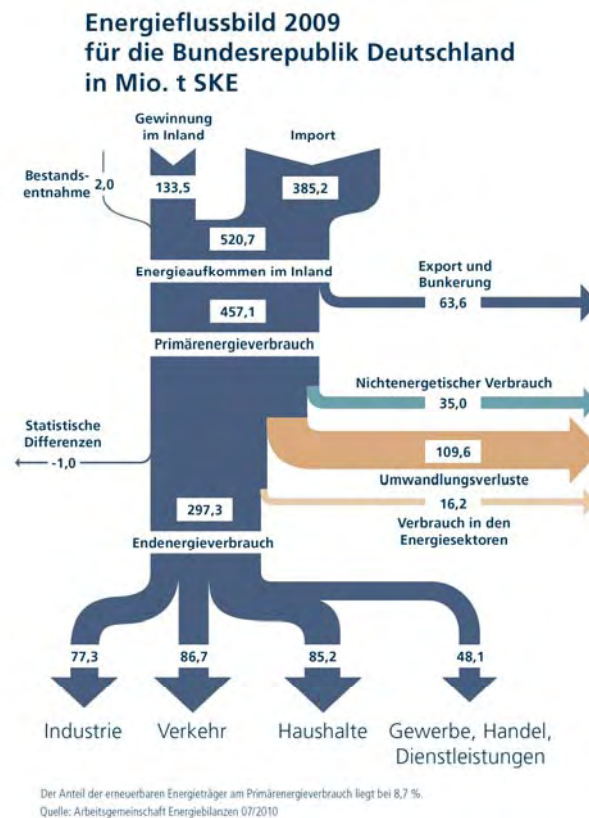
Fähigkeit, Arbeit zu verrichten oder Wärme abzugeben. Die Einheit der Energie ist das Joule (J).

## Energiebedarf

Berechnungen der Vereinten Nationen haben ergeben, dass die Weltbevölkerung bis zum Jahr 2050 auf etwa 10 Milliarden Menschen ansteigen wird. Parallel zum Bevölkerungswachstum wird sich trotz aller weiteren Anstrengungen zur rationellen Energienutzung der globale Energiebedarf deutlich erhöhen. Bis zum Jahr 2020 wird nach Berechnungen des Weltenergieates (WEC) der weltweite Primärenergieverbrauch von heute rund 14 Mrd. t →SKE pro Jahr in Abhängigkeit von den wirtschaftlichen, sozialen und politischen Entwicklungen auf ein Niveau um 24 Mrd. t SKE pro Jahr ansteigen. Dieser Zuwachs wird sich im wesentlichen auf fossile Energieträger stützen.

## Energiebilanz

Energiebilanzen stellen den mengenmäßigen Fluss der Energieträger von der Aufkommens- über die Umwandlungs- bis zur Endverbrauchsseite bilanzmäßig dar. Für energiepolitische und energiewirtschaftliche Entscheidungen sowie für Prognosen über die Entwicklung des Energiebedarfs sind sie eine wesentliche Voraussetzung. Für Deutschland werden z. B. Energiebilanzen von der "AG Energiebilanzen" zusammengestellt.



vereinfachtes Energieflussbild für Deutschland, 2009

## Energiedosis

Die Energiedosis  $D$  ist der Quotient aus der mittleren Energie, die durch ionisierende Strahlung auf die Materie in einem Volumenelement übertragen wird und der Masse der Materie in diesem Volumenelement:



$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$$

Die Einheit der Energiedosis ist Joule durch Kilogramm ( $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), ihr besonderer Einheitenname ist Gray (Gy). Der früher gebräuchliche Einheitenname war Rad (Kurzzeichen: rd oder rad).  $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rd}$ ;  $1 \text{ rd} = 1/100 \text{ Gy}$ .

### Energiedosisleistung

Quotient aus der Energiedosis in einer Zeitspanne und dieser Zeit. Einheit: Gy/h.

### Energieeinheiten

Die Einheit der Energie ist das Joule, Kurzzeichen: J. Die früher gebräuchliche Einheit Kilokalorie (kcal) wurde bei der Übernahme des internationalen Einheitensystems in Deutschland ab 01.01.1978 durch die Einheit Joule ersetzt. Im Bereich der Kernphysik werden Energiewerte überwiegend in  $\rightarrow$ 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 Tonne SKE entspricht 1 Tonne Steinkohle mit einem Heizwert von 29,3 Milliarden Joule = 7 Millionen kcal.

### Energiereserven

Reserven von Energieträgern sind eindeutig identifizierbare Vorräte, die sich unter heutigen oder in naher Zukunft zu erwartenden Bedingungen technisch und wirtschaftlich abbauen lassen. Ressourcen sind Vorräte, die über Reserven hinaus reichen. Sie sind nachgewiesen oder wahrscheinlich, aber technisch und/oder wirtschaftlich zurzeit nicht gewinnbar. Zu den Ressourcen gehören ferner noch nicht nachgewiesene, geologisch aber mögliche Lagerstätten. So vermutet man, dass in Ölsanden und Ölschiefern noch Ressourcen an Öl gebunden sind, deren Abbau beim derzeitigen Preisgefüge jedoch nicht wirtschaftlich ist. Die gesicherten und wirtschaftlich gewinnbaren Energiereserven an Erdgas, Erdöl, Uran und Kohle betragen nach Angaben des Bundesamtes für Geowissenschaften und Rohstoffe 2006 weltweit:

Erdgas	235 Mrd. t SKE,
Erdöl	232 Mrd. t SKE,
Uran	27 Mrd. t SKE,
Kohle	726 Mrd. t SKE.

Der gegenwärtige Weltenergiebedarf beträgt rund 14 Mrd. t SKE.

### Energieträger

Öl, Kohle, Gas, Uran, aber auch gestautes oder strömendes Wasser, Sonnenlicht und Wind sind Träger von Energie. In ihnen ist die Energie in unterschiedlichen Formen gespeichert und kann bei Bedarf in eine nutzbare Energieform umgewandelt werden.

### Energieumwandlung

Umwandlung einer Energieform in eine andere - z. B. mechanische in elektrische Energie im Generator - oder eines Energieträgers in einen anderen - z. B. Kohle in Koks und Gas. Die Ausgangsenergie kann nie vollständig in die Zielenergie umgewandelt werden. Die Differenz wird als Umwandlungsverlust bezeichnet und tritt meist als Wärme auf.

### Engineered Storage

Englische Bezeichnung 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.

## Engpaßleistung

Die durch den leistungsschwächsten Anlagenteil begrenzte, höchste ausfahrbare Leistung eines Kraftwerkes. Je nach der Zeitspanne, während der sich die Engpaßleistung in Anspruch nehmen lässt, unterscheidet man zwischen der einstündigen Engpaßleistung und der Engpassdauerleistung, die 15 Stunden und länger ausgefahren werden kann. Die Netto-Engpassleistung aller Kraftwerke der allgemeinen Versorgung (einschließlich Deutsche Bahn) in Deutschland betrug im Jahr 2002 insgesamt 104 430 MW.

## ENS

European Nuclear Society.

## Entsorgung

In der Kerntechnik alle Anlagen und Verfahrensschritte, die zur weiteren Behandlung des aus dem Reaktor entladenen abgebrannten Brennstoffs erforderlich sind: Zwischenlagerung, Wiederaufarbeitung mit Rückführung nutzbarer Spaltstoffe oder Konditionierung der abgebrannten Brennelemente und direkte Endlagerung, Behandlung und Endlagerung radioaktiver Abfälle. Das Gegenstück zur Entsorgung ist die Versorgung des Reaktors mit nuklearem Brennstoff: Uransuche, -förderung, -aufbereitung, -anreicherung, Herstellung der Brennelemente. →Kernbrennstoffkreislauf

## Entsorgungsvorsorge

Seit 1974 geltender gesetzlicher Zwang zur Vorsorge für die Entsorgung der Kernreaktoren von abgebrannten Brennelementen nach dem Verursacherprinzip durch den Betreiber eines Kernkraftwerkes.

## EPR

European Pressurized Reactor (europäischer Druckwasserreaktor). Der EPR wird im Auftrag von Stromversorgungsunternehmen in Deutschland und Frankreich entwickelt. Er wird sich durch eine weiter verbesserte Sicherheit und Wirtschaftlichkeit auszeichnen. Gegenüber den bestehenden Druckwasserreaktor-Linien beider Länder wird 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 im Bereich von 1 600 MW ausgelegt. In Finnland und Frankreich wird je ein Kernkraftwerk mit EPR errichtet.

## ERAM

**Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben.** Die Schachtanlage Bartensleben in Morsleben (Sachsen-Anhalt) wurde Anfang des 20. Jahrhunderts zur Kali- und Steinsalzgewinnung errichtet. In der Zeit von 1971 bis 1991 und von 1994 bis 1998 wurden schwach- und mittelradioaktive Abfälle eingelagert. Insgesamt sind rund 37.000 m<sup>3</sup> feste Abfälle und 6.621 umschlossene Strahlenquellen endgelagert. Das Bundesamt für Strahlenschutz hat am 13.9.2005 den Plan zur Stilllegung des ERAM bei der zuständigen Planfeststellungsbehörde eingereicht.

## Erdbebensicherheit

Auslegung aller sicherheitstechnisch wichtigen Anlagenteile einer kerntechnischen Anlage in einer technischen und bautechnischen Art, dass der Reaktor sicher abgeschaltet, im abgeschalteten Zustand gehalten, die Nachwärme sicher abgeführt und eine unzulässige Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung verhütet werden kann. Als Bemessungserdbeben ist das Erdbeben mit der für den Standort größten Intensität anzunehmen, das nach wissenschaftlichen Erkenntnissen in einer Umgebung bis zu 200 km auftreten kann. Dabei sind alle historisch berichteten Erdbeben, die den Standort betroffen haben könnten, zu berücksichtigen. Die Festsetzung des Bemessungserdbebens wird mit Angaben über zu erwartende Maximalbeschleunigungen und Dauer der Erschütterungen aufgrund der lokalen seismischen Verhältnisse vorgenommen.

## 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. →Nachweisgrenze.

#### Erneuerbare – Energien - Gesetz (EEG)

Ziel dieses Gesetzes vom März 2000 ist es, im Interesse des Klima- und Umweltschutzes eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen und den Beitrag Erneuerbarer Energien an der Stromversorgung deutlich zu erhöhen, um entsprechend den Zielen der Europäischen Union und der Bundesrepublik Deutschland den Anteil Erneuerbarer Energien am gesamten Energieverbrauch bis zum Jahr 2010 mindestens zu verdoppeln.

#### 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 Genehmigungsvoraussetzungen von Bedeutung sein kann. Er soll denjenigen, die Einwendungen erhoben haben, Gelegenheit geben, ihre Einwendungen zu erläutern. Der Erörterungstermin ist nicht öffentlich.

#### Euratom-Grundnormen

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 neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen im Bereich des Strahlenschutzes. Die Mitgliedstaaten der EU wurden verpflichtet, bis zum 13. Mai 2000 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.

#### eV

Kurzzeichen für →Elektronvolt.

#### EVA

Einwirkungen von außen. Im Rahmen des atomrechtlichen Genehmigungsverfahrens für Kernkraftwerke und kerntechnische Anlagen muss nachgewiesen werden, dass die Anlage spezifizierten Lastfällen wie z. B. Erdbeben, Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwellen standhält.

#### Evakuierungspläne

Katastrophenschutzpläne für die Umgebung von Kernkraftwerken und großen kerntechnischen Anlagen enthalten entsprechend den Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntech-

nischer Anlagen auch Pläne für die Evakuierung der Bevölkerung für den Fall katastrophaler Unfälle an der Anlage. Dabei sind Maßnahmen zur Evakuierung nur der extreme Grenzfall einer Vielzahl der in den Katastrophenschutzplänen vorgesehenen Schutzmaßnahmen.

### Exkursion

Schneller Leistungsanstieg eines Reaktors aufgrund einer großen Überkritikalität. Exkursionen werden im Allgemeinen durch den negativen  $\rightarrow$ Temperaturkoeffizienten der Reaktivität bzw. durch die  $\rightarrow$ Regelstäbe schnell unterdrückt.

### Experimentierkanal

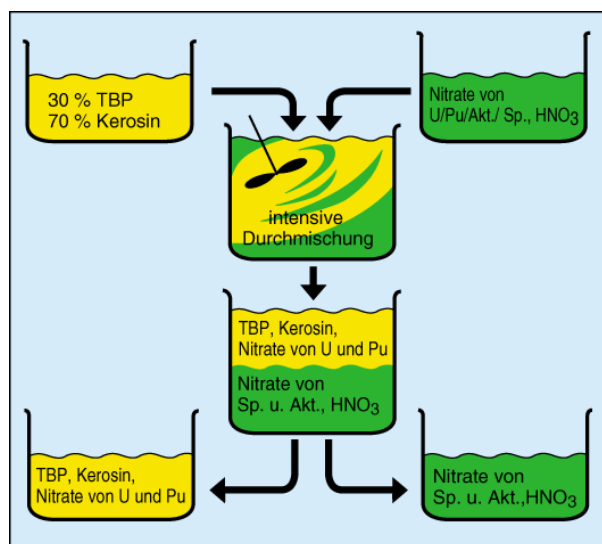
Öffnung in einer Abschirmung eines Versuchsreaktors, durch die Strahlung zu Versuchen außerhalb des Reaktors austreten kann.

### Expositionsprofil

Weg der radioaktiven Stoffe von der Ableitung aus einer kerntechnischen Anlage oder Einrichtung über einen Ausbreitungs- oder Transportvorgang bis zu einer Strahlenexposition des Menschen

### Extraktion

Verfahrensprinzip zur Abtrennung der Spaltprodukte von den Brennstoffen Uran und Plutonium nach dem PUREX-Prozeß. Die wässrige Lösung aus Brennstoff und Spaltprodukten wird in innigen Kontakt mit einer nicht mischbaren organischen Lösung gebracht. Das organische Lösungsmittel besteht beim  $\rightarrow$ 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 Uranyl-nitrat 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

### Extraktor

Extraktionseinrichtung, z. B. Mischabsetzer, Pulskolonne, in der eine mehrstufige Extraktion erfolgt.

## F

fail safe

→folgeschadensicher.

Fallout

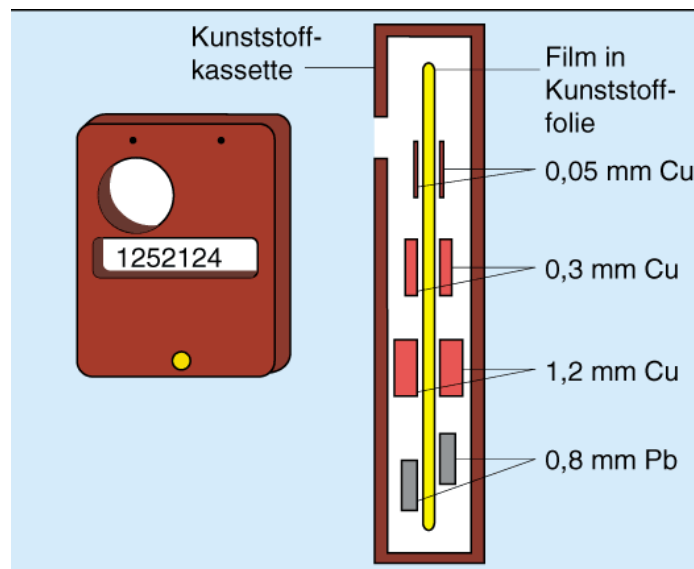
Radioaktives Material, das nach einer Freisetzung in die Atmosphäre (z. B. durch Kernwaffentest, Unfall) auf die Erde zurückfällt. Der Fallout tritt in zwei Formen auf: Der Nah-Fallout besteht aus den schwereren Teilchen, die innerhalb von einigen Tagen in der Nähe des Freisetzungsortes und in einem Gebiet, das je nach den Wetterbedingungen bis zu mehreren hundert Kilometer windabwärts liegt, zur Erde fallen. 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 0,005 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 1 bis 2 mSv und im übrigen Deutschland etwa 0,4 mSv im Zeitraum von 1986 bis 2036.

FBR

Fast breeder reactor; →Schneller Brutreaktor.

Filmdosimeter

Messgerät zur Bestimmung der Dosis. Die Schwärzung eines fotografischen Filmes durch Strahleneinwirkung ist das Maß für die empfangene Dosis. Zur Bestimmung der Strahlenart, der Strahlenenergie und anderer für die Ermittlung der Dosis wichtiger Faktoren sind in der Filmkassette verschiedene „Filter“ aus unterschiedlichen Materialien angebracht.



Filmdosimeter, Vorderansicht und Schnitt

Fissium, simuliertes

Stoffgemisch aus nicht radioaktiven Isotopen der Elemente, die bei der Kernspaltung als radioaktive Spaltprodukte entstehen, um Untersuchungen über das chemische und physikalische Verhalten dieses Gemisches ohne Strahlenschutzmaßnahmen durchführen zu können.

## 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 schnellfliegenden 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 Absturzeschwindigkeit und der größeren Auftreffflächen geringere Wandstärken genügen. Die Sicherheitsvorkehrungen berücksichtigen auch die Folgen eines Flugzeugabsturzes wie Treibstoffbrände und -explosionen oder Trümmerwirkungen.

## Flüssigszintillationszähler

Szintillationszähler, dessen Szintillator eine organische Flüssigkeit ist (z. B. Diphenyloxazol, gelöst in Toluol). Bevorzugtes Nachweis- und Messgerät für die niederenergetische Betastrahlung von Tritium und Kohlenstoff-14.

## FMRB

Forschungs- und Messreaktor Braunschweig der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt; Schwimmbadreaktor mit einer thermischen Leistung von 1 MW. Inbetriebnahme am 3.10.1967. Am 19.12.1995 zur Vorbereitung der Stilllegung abgeschaltet. Stilllegungsgenehmigung am 02.03.2001 erteilt, Abschluss der Stilllegung und Entlassung aus der atomrechtlichen Aufsicht im September 2005, Weiternutzung des Reaktorgebäudes als Zentralwerkstatt.

## 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 Dosisleistung in einem Gewebe oder Organ über die Zeit. Für die Integrationszeit zur Berechnung der Folgedosis wird für Erwachsene ein Zeitraum von 50 Jahren und für Kinder von 70 Jahren angesetzt.

Die Organ-Folgedosis  $H_T(\tau)$  bei einer Inkorporation zum Zeitpunkt  $t_0$  ist das Zeitintegral der Organ-Dosisleistung im Gewebe oder Organ  $T$ :

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

mit

$\dot{H}_T(t)$  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 zu Grunde zu legen.

## folgeschadensicher

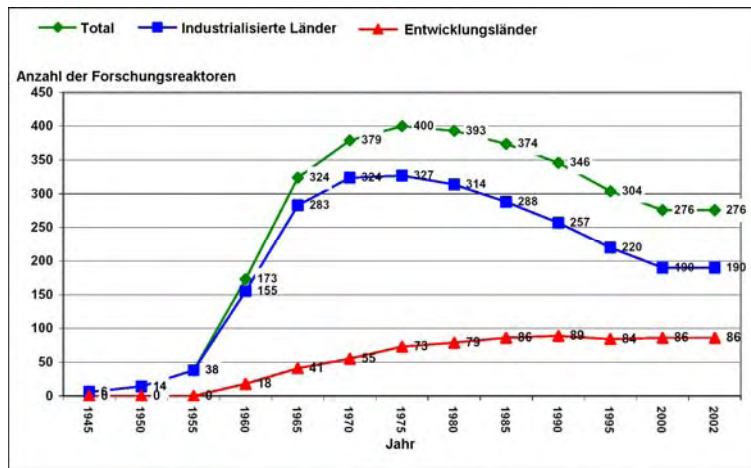
Ein System, das so konstruiert ist, dass im Falle eines Versagens eines Teilsystems das ganze System in einen sicheren Zustand übergeht.

## FORATOM

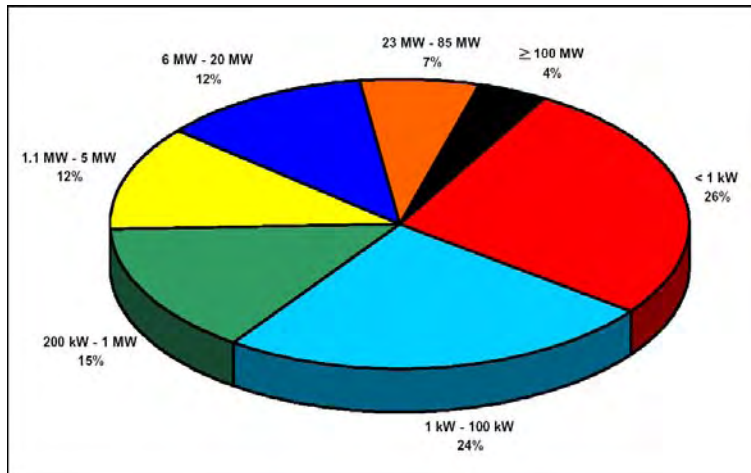
Europäisches Atomforum mit Sitz in Brüssel, Dachorganisation der Atomforen von 16 europäischen Ländern, gegründet am 12.07.1960.

## Forschungsreaktor

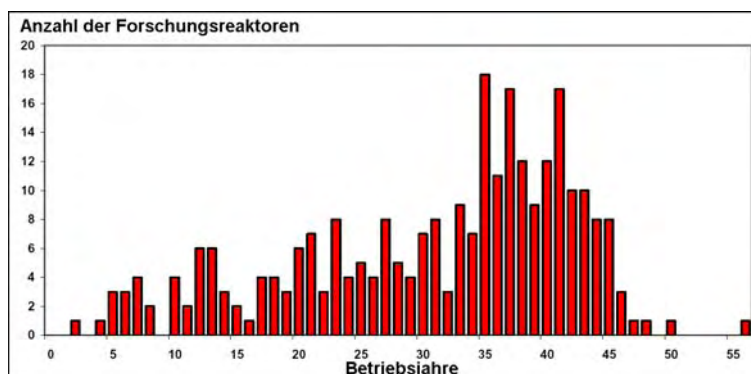
Ein in erster Linie auf die Erzeugung von hohen Neutronenintensitäten zu Forschungszwecken ausgelegter Kernreaktor. Kann auch zu Schulungszwecken, zur Materialprüfung und Erzeugung von Radionukliden dienen. Nach Angaben der Internationalen Atomenergie-Organisation waren im Januar 2011 weltweit 239 Forschungsreaktoren in Betrieb.



Anzahl der Forschungsreaktoren weltweit, IAE0 2004



Prozentuale Verteilung der thermischen Leistung der weltweit in Betrieb befindlichen Forschungsreaktoren, IAE0 2004



Betriebsjahre der in Betrieb befindlichen Forschungsreaktoren weltweit, IAE0 2004

In Deutschland bestehen im Dezember 2010 für drei Forschungsreaktoren und für sechs Schulungsreaktoren Betriebsgenehmigungen.

Standort	Reaktortyp	erste Kritikalität
FRMZ Universität Mainz	TRIGA Mark II, 0,1 MW, $4 \cdot 10^{12}$ Neutronen/s	03.08.1965
BER-II Hahn-Meitner-Institut Berlin	Schwimmbad, 10 MW, $1,5 \cdot 10^{14}$ Neutronen/s	09.12.1973
FRM-II Technische Universität München	Tank, D <sub>2</sub> O-moderiert, H <sub>2</sub> O gekühlt, 20 MW, $8 \cdot 10^{14}$ Neutronen/s	02.03.2004

#### Forschungsreaktoren in Deutschland

Standort	Reaktortyp	erste Kritikalität
SUR Stuttgart Institut für Kernenergetik	fest-homogen, 100 mW, $5 \cdot 10^6$ Neutronen/s	24.08.1964
SUR Aachen RWTH, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft	fest-homogen, 100 mW, $5 \cdot 10^6$ Neutronen/s	22.09.1965
SUR Ulm Fachhochschule Ulm	fest-homogen, 100 mW, $5 \cdot 10^6$ Neutronen/s	01.12.1965
SUR Hannover Institut für Werkstoffkunde	fest-homogen, 100 mW, $5 \cdot 10^6$ Neutronen/s	09.12.1971
SUR Furtwangen Fachhochschule Furtwangen	fest-homogen, 100 mW, $5 \cdot 10^6$ Neutronen/s	28.06.1973
AKR-II Dresden Institut für Energietechnik	fest-homogen, 2 W, $3 \cdot 10^7$ Neutronen/s	22.03.2005

#### Schulungsreaktoren in Deutschland

##### FR 2

Erster Reaktor, der in der Bundesrepublik Deutschland nach eigenem Konzept im Forschungszentrum Karlsruhe gebaut wurde. Der FR 2 war ein D<sub>2</sub>O-moderierter und -gekühlter Forschungsreaktor mit auf 2 % angereichertem UO<sub>2</sub> als Brennstoff und einer Leistung von 44 MW. Der Reaktor wurde am 7.3.1961 in Betrieb genommen. Nach über 20jähriger Betriebszeit ohne nennenswerte Störungen wurde der FR 2 am 21.12.1981 endgültig abgeschaltet. Das erste Ziel der Stilllegungsmaßnahme - der gesicherte Einschluss des Reaktorblocks und die Demontage aller restlichen Anlagen - wurde am 20.11.1996 erreicht.

##### FRG-1

Forschungsreaktor Geesthacht des GKSS-Forschungszentrum Geesthacht; Schwimmbadreaktor mit einer thermischen Leistung von 5 MW, Inbetriebnahme am 23.10.1958. Nach über 50 Betriebsjahren am 28.6.2010 wegen Neuorientierung der Forschung mit Neutronen endgültig abgeschaltet.

##### FRG-2

Forschungsreaktor Geesthacht des GKSS-Forschungszentrum Geesthacht; Schwimmbadreaktor mit einer thermischen Leistung von 15 MW, Inbetriebnahme am 15. März 1963, endgültig abgeschaltet am 1. Juni 1993. Der Antrag auf Außerbetriebnahme wurde am 17.1.1995 genehmigt. Die Anlage ist teilabgebaut. Die Stilllegung erfolgt gemeinsam mit der 2010 abgeschalteten Anlage FRG-1.

##### FRH

Forschungsreaktor Hannover vom Typ TRIGA-Mark 1 der Medizinischen Hochschule Hannover mit einer thermischen Leistung von 250 kW. Inbetriebnahme am 31.01.1973. Am 18.12.1996 zur Vorbereitung der



Stilllegung abgeschaltet. Genehmigung zum Abbau am 8. Mai 2006 erteilt. Nach dem Abbau der Reaktoranlage will die Medizinische Hochschule Hannover in den Räumen ein Zyklotron errichten.

#### Frischwasserkühlung

Kühlung des Turbinenkondensators eines Kraftwerkes mit nicht im Kreislauf geführtem Flusswasser. Frischwasserkühlung ist hinsichtlich der erforderlichen Investitionen bei in ausreichender Menge vorhandenem Flusswasser die billigste Kühlmethode. Um eine zu hohe thermische Belastung des Flusswassers zu verhindern, werden Maximalwerte für die Einleittemperatur des erwärmten Wassers (z. B. 30 °C), für die Aufwärmung des gesamten Flusswassers nach Durchmischung (25 °C bzw. 28 °C) und die Aufwärmspanne (3 °C) festgelegt. Infolge der Vorbelastung ist eine weitere thermische Belastung vieler Flüsse in Deutschland häufig nicht mehr möglich. Daher Übergang zur Wasserrückkühlung.

#### FRJ-2

Forschungsreaktor des Forschungszentrums Jülich; schwerwassermoderierter und -gekühlter Tankreaktor mit einer thermischen Leistung von 23 MW, Inbetriebnahme am 14.11.1962. Am 2.5.2006 endgültig abgeschaltet.

#### FRM

Forschungsreaktor München; leichtwassermoderierter Schwimmbadreaktor, am 31.10.1957 als erster Reaktor in Deutschland in Betrieb gegangen. Am 28.07.2000 endgültig abgeschaltet.

#### FRM II

Die neue Hochfluss-Neutronenquelle FRM-II wurde als Reaktor realisiert und hat den seit 1957 betriebenen Forschungsreaktor München FRM abgelöst. Aufgrund seiner weiterentwickelten technischen Konzeption hat der FRM-II im Vergleich zum FRM bei einer fünfmal so hohen Reaktorleistung (20 MW) einen 50mal so hohen nutzbaren Neutronenfluss. Dabei sorgt ein großdimensionierter Schwerwasser-Moderatortank dafür, dass dieser hohe Fluss in einem wesentlich größeren nutzbaren Volumen und praktisch ausschließlich durch langsame Neutronen, die für die Nutzung besonders gut geeignet sind, aufgebaut wird. Inbetriebnahme am 02.03.2004. Der FRM-II ist als Strahlrohr-Reaktor optimiert. Nahezu 50% der Experimente werden mit kalten Neutronen (deren Energie kleiner ist als 5meV,  $E < 5\text{meV}$ ) durchgeführt. Das Konzept basiert auf dem Einsatz eines Kompaktkerns, der ein einziges zylinderförmiges Brennelement enthält, das im Zentrum eines mit Schwerwasser D<sub>2</sub>O gefüllten Moderatortanks eingebaut wird. Die Kühlung erfolgt mit leichtem Wasser H<sub>2</sub>O aus dem Reaktorbecken. Geregelt wird der Reaktor über den zentralen Regelstab im Innern des Brennelements. Zur Abschaltung ist zusätzlich ein unabhängiges System aus fünf Abschaltstäben im Moderatortank realisiert.

#### FRMZ

Forschungsreaktor Mainz, TRIGA-MARK II-Reaktor, des Instituts für Kernchemie der Universität Mainz mit einer thermischen Leistung von 100 kW. Inbetriebnahme am 3.8.1965.

#### Füllhalterdosimeter

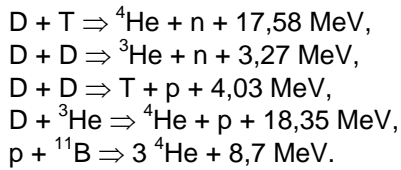
→Stabdosimeter.

#### Funkenkammer

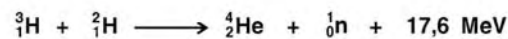
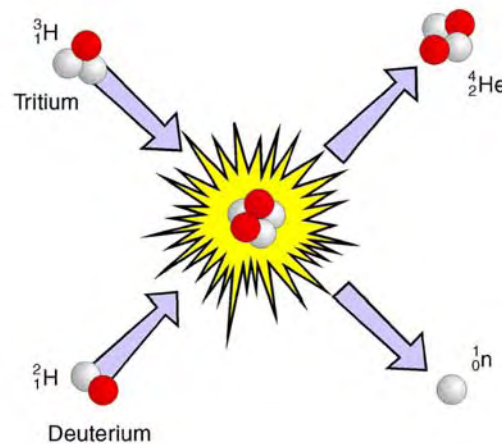
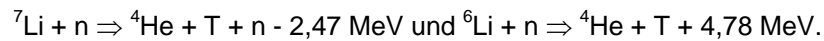
Gerät zum Nachweis von Kernstrahlung. Die Funkenkammer besteht z. B. aus zahlreichen parallel angeordneten Metallplatten, zwischen denen jeweils eine Spannung von einigen tausend Volt liegt. Die Zwischenräume zwischen den Platten sind gasgefüllt. Die ionisierende Strahlung führt zur Funkenbildung zwischen den Platten entlang dem Weg der Strahlung durch die Kammer. Die Funkenspur kann fotografisch oder elektronisch registriert werden.

#### Fusion

Bildung eines schwereren Kernes aus leichteren Kernen; dabei wird Energie, die Bindungsenergie, frei. Mögliche Fusionsreaktionen:



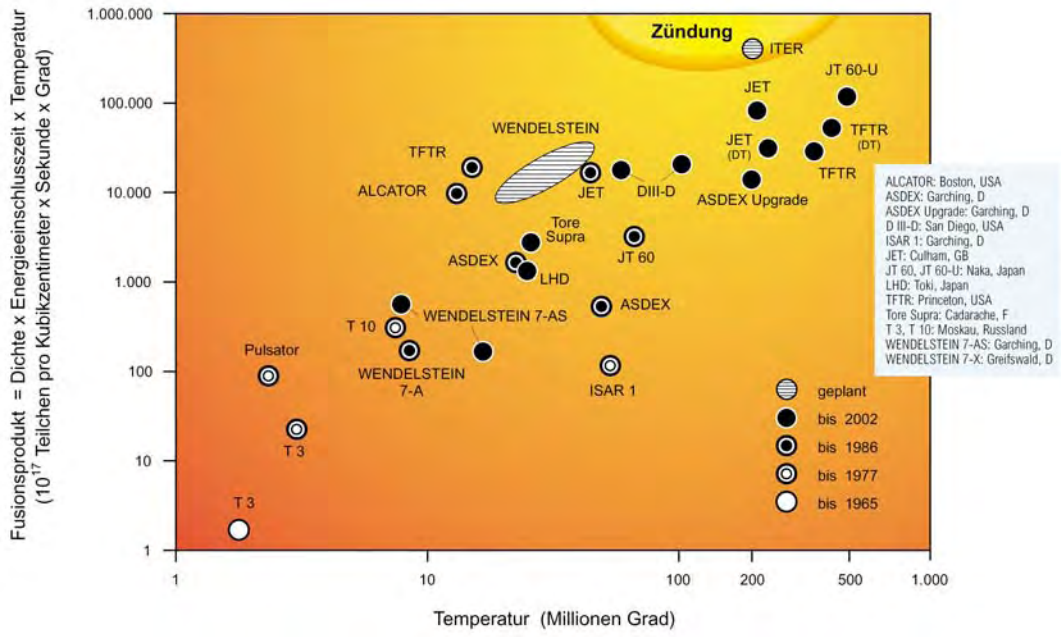
Die Deuterium-Tritium-Reaktion ist unter allen möglichen Fusionsreaktionen noch am leichtesten zu verwirklichen. Deuterium ist in genügender Menge in den Weltmeeren vorhanden; Tritium kann aus dem ebenfalls reichlich verfügbaren Element Lithium mit Hilfe der beim Fusionsprozess entstehenden Neutronen „erbrütet“ werden. Brutreaktionen zur Erzeugung von Tritium aus Lithium:



Bei der Fusion müssen zwei Atomkerne - z. B. Atomkerne der Wasserstoffisotope Deuterium und Tritium - gegen die abstoßende elektrische Kraft ihrer positiven Kernladungen so dicht zusammengebracht werden, dass sie verschmelzen. Um ihre gegenseitigen Abstoßung zu überwinden, müssen zwei Kerne mit großer Geschwindigkeit aufeinander zufliegen. Die erforderlichen hohen Geschwindigkeiten erhalten die Teilchen bei hohen Temperaturen von rund 100 Mio. Grad.

Die Atome eines Gases sind dann in Elektronen und Kerne zerlegt, das Gas ist ionisiert. Ein total ionisiertes Gas wird Plasma genannt. Ein Plasma ist elektrisch leitend, seine Bewegung lässt sich daher durch elektrische und magnetische Felder beeinflussen. Dies macht man sich in den Fusionsanlagen zunutze, wo man das heiße Plasma in einen Magnetfeldkäfig einschließt. In einem Magnetfeld wirkt auf die Ladungsträger die Lorentz-Kraft. Infolge dieser Kraft führen die Ladungsträger längs der magnetischen Feldlinien eine Spiralbewegung aus. Im Idealfall kann der Kontakt mit der Behälterwand und damit der Wärmetransport zur Wand unterbunden werden. Als Anordnungen, mit denen Plasmen innerhalb eines Rings magnetisch eingeschlossen werden können, sind Systeme vom Typ →Tokamak und →Stellarator üblich. →JET, →ITER.

Es ist das Hauptziel der Forschung auf dem Gebiet der Plasmaphysik, nach geeigneten Verfahren zu suchen, die einen kontrollierten Ablauf der Fusionsreaktion in Form einer Kettenreaktion ermöglichen, um die freiwerdenden Energiemengen nutzen zu können. 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.



Fusionsexperimentieranlagen und die von ihnen erreichten Plasmazustände

## G

### Gammaquant

Energiequant kurzwelliger elektromagnetischer Strahlung.

### Gammastrahlung

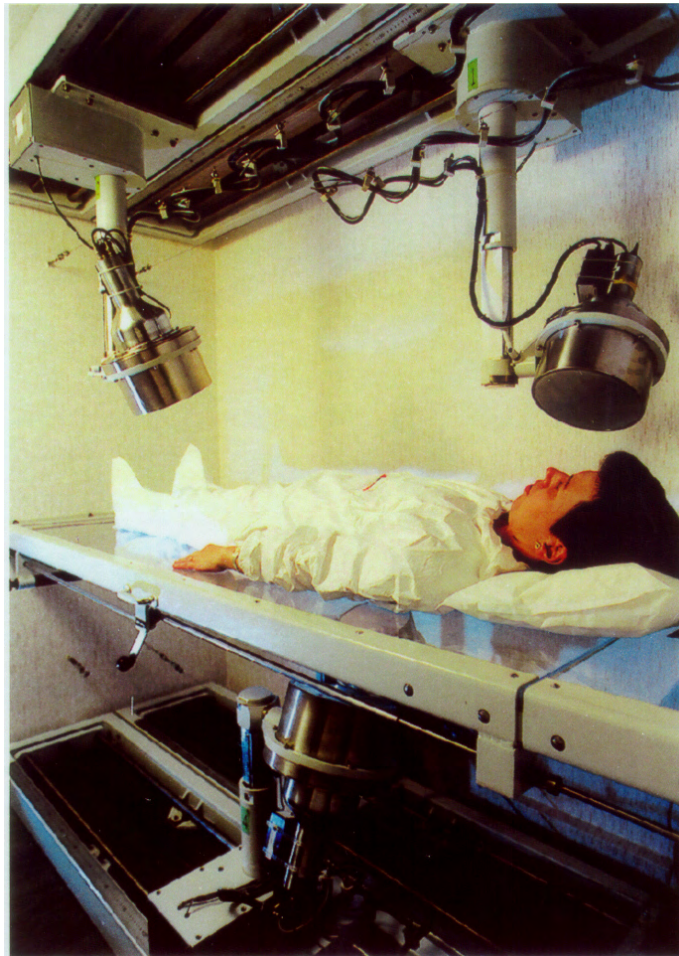
Hochenergetische, kurzwellige elektromagnetische Strahlung, die von einem Atomkern ausgestrahlt wird. Die Energien von Gammastrahlen liegen gewöhnlich zwischen 0,01 und 10 MeV. Auch Röntgenstrahlen treten in diesem Energiebereich auf; sie haben aber ihren Ursprung nicht im Atomkern, sondern sie entstehen durch Elektronenübergänge in der Elektronenhülle oder durch Elektronenbremsung in Materie (Bremsstrahlung). Im Allgemeinen sind Alpha- und Betaerfälle 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.

### 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. →Dosis.

### Ganzkörperzähler

Gerät zur Aktivitätsmessung und Identifizierung inkorporierter Radionuklide beim Menschen.



Ganzkörperzähler des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) zur Bestimmung gammastrahlender Radionuklide im menschlichen Körper

## Gasdiffusionsverfahren

→Diffusionstrennverfahren.

## Gasdurchflußzähler

Ein →Proportionalzähler, dessen Füllgas in einem ständigen Strom durch neues ersetzt wird. Dadurch wird das Eindringen von Luft vermieden bzw. eingedrungene Luft ausgetrieben.

## gasgekühlter Reaktor

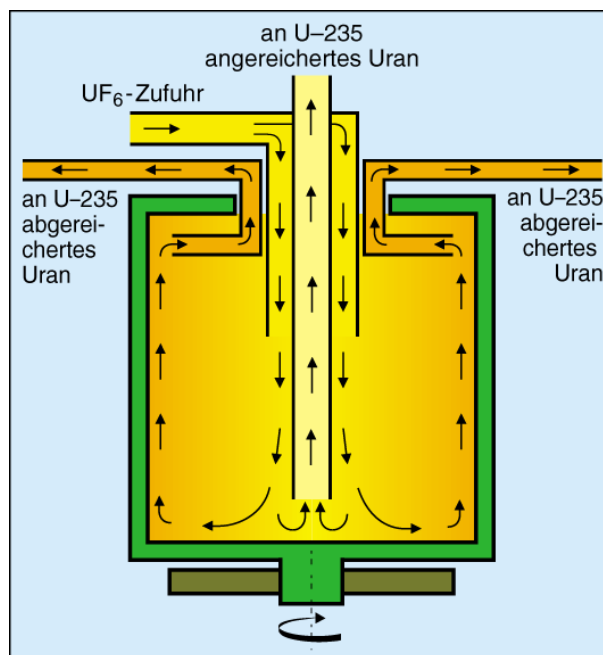
Kernreaktor, dessen Kühlmittel ein Gas ist (Helium, Kohlendioxid).

## Gasverstärkung

Durch Stoßionisation bewirkte Vermehrung der Zahl der Ladungsträger in einem Proportional- und Geiger-Müller-Zähler.

## 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

## GAU

Größter Anzunehmender Unfall. Begriff aus der Reaktorsicherheit, heute ersetzt durch den umfassenderen Begriff des Auslegungsstörfalls.

## Geiger-Müller-Zähler

Strahlungsnachweis- und -messgerät. Es besteht aus einer gasgefüllten Röhre, in der eine elektrische Entladung abläuft, wenn ionisierende Strahlung sie durchdringt. Die Entladungen werden gezählt und stellen ein Maß für die Strahlungsintensität dar.

Geigerzähler

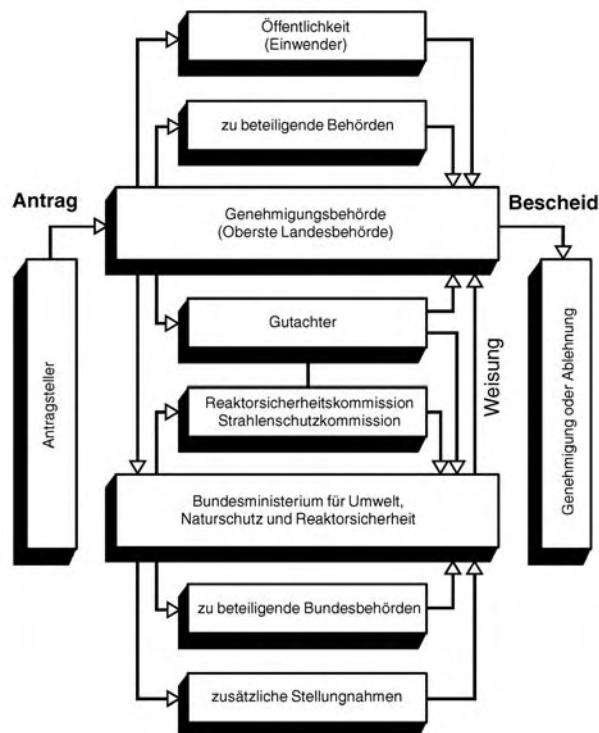
→Geiger-Müller-Zähler.

### Genehmigungsverfahren

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 bekannt zu geben. Während einer Frist von zwei Monaten sind bei der 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.



Ablauf eines Genehmigungsverfahrens für kerntechnische Anlagen

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.

geometrisch sicher

Begriff aus der Reaktortechnik; mit geometrisch sicher wird ein Spaltstoff enthaltendes System bezeichnet, in dem aufgrund der geometrischen Anordnung keine sich selbst erhaltende Kettenreaktion auftreten kann.

GeV

Gigaelektronvolt; 1 GeV = 1 Milliarde eV; →Elektronvolt.

gewebeähnlich

Begriff aus der Strahlenschutzmeßtechnik; gewebeähnlich ist eine Kennzeichnung für einen Stoff, dessen absorbierende und streuende Eigenschaften für eine gegebene Strahlung mit denen eines bestimmten biologischen Gewebes ausreichend übereinstimmen.

Gewebe-Wichtungsfaktor

Für die verschiedenen Organe und Gewebe bestehen unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten →stochastischer Strahlenwirkungen. Der 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 in der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung angegebenen Wichtungsfaktor multipliziert und die Produkte addiert.

Organ	Gewebe-Wichtungsfaktor, $w_T$
Keimdrüsen	0,2
Dickdarm	0,12
rotes Knochenmark	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, Muskeln, Nebenniere, Niere, Thymus (der Wichtungsfaktor 0,05 wird auf die mittlere Dosis dieser Organe angewandt)	0,05

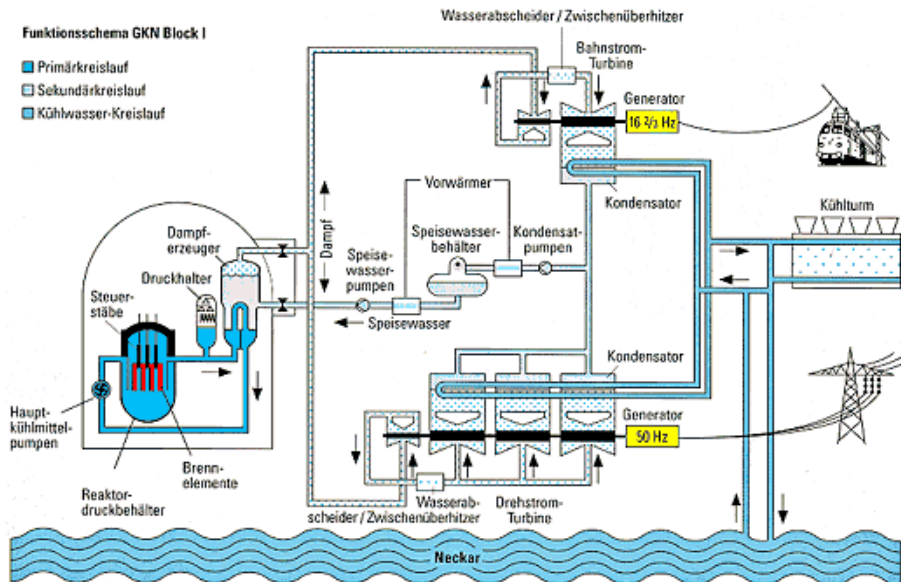
Gewebe-Wichtungsfaktoren nach Strahlenschutzverordnung

Gift

→Reaktorgift.

### GKN-1

Kernkraftwerk auf dem Gebiet der Gemeinden Neckarwestheim und Gemrigheim am rechten Ufer des Neckars zwischen Heilbronn und Ludwigsburg. Der Block 1, GKN-1, ist ein Druckwasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 840 MW (davon 157 MW für Bahnstrom mit 16⅔ Hz), nukleare Inbetriebnahme am 26.5.1976.

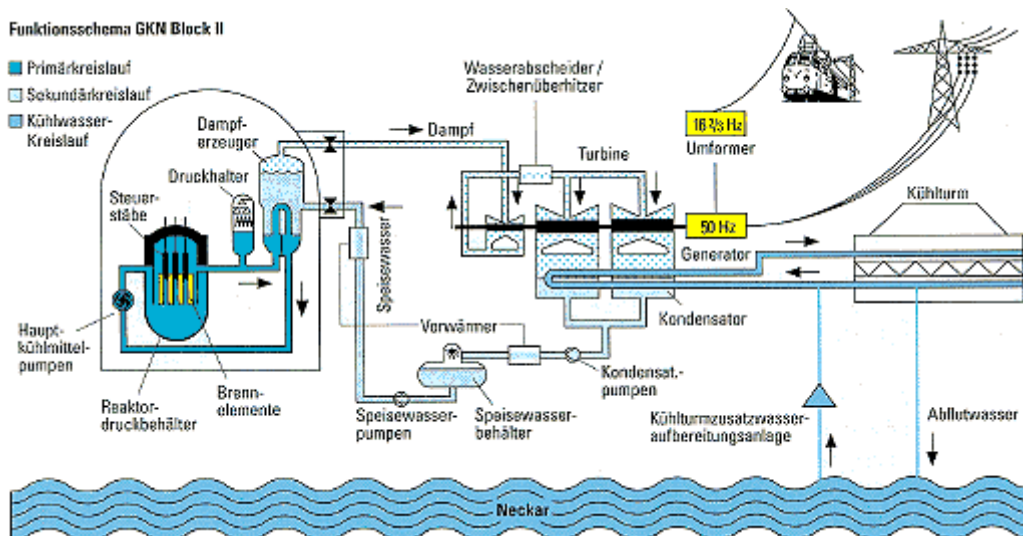


Funktionsschema GKN-1, ein Turbogenerator für 16⅔ Hz Bahnstrom und ein Turbogenerator für 50 Hz Drehstrom für die öffentliche Versorgung (Quelle: Umweltministerium B-W)

### GKN-2

Kernkraftwerk auf dem Gebiet der Gemeinden Neckarwestheim und Gemrigheim am rechten Ufer des Neckars zwischen Heilbronn und Ludwigsburg. Der Block 2, GKN-2, ist ein Druckwasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 1400 MW, nukleare Inbetriebnahme am 29.12.1988.

Wie GKN 1 stellt auch GKN 2 Bahnstrom mit 16⅔ Hz zur Verfügung, allerdings nicht über eine eigene Turbine mit Generator sondern über einen Umformer aus dem 50-Hz-Drehstrom.



Funktionsschema GKN-2, Turbogenerator für 50 Hz Drehstrom für die öffentliche Versorgung und Umformer für 16⅔ Hz Bahnstrom (Quelle: Umweltministerium B-W)



Glasdosimeter

→Phosphatglasdosimeter.

Gleichgewicht, radioaktives

Als radioaktives Gleichgewicht bezeichnet man den Zustand, der sich bei einer radioaktiven Zerfallsreihe, für welche die Halbwertszeit des Ausgangsnuklids 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 der Zerfallsreihe sind dann zeitlich konstant.

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 schwachradioaktive Abfälle aus Kernkraftwerken betrieben. Eine Konditionierungsanlage zur Vorbereitung und Verpackung abgebrannter Brennelemente für die direkte Endlagerung ist weitgehend fertig gestellt. Für das Endlager des Bundes für radioaktive Abfälle einschließlich hochradioaktiver wärmeentwickelnder Abfälle - Glaskokillen mit Abfällen aus der Wiederaufarbeitung, konditionierte bestrahlte Brennelemente zur direkten Endlagerung - wurden die untertägigen Erkundungen über die Eignung des Salzstocks betrieben. Seit Oktober 2000 werden im Bergwerk zur Erkundung des Salzstocks Gorleben nur noch Maßnahmen durchgeführt, die das Bergwerk in einem betriebssicheren Zustand erhalten. Zur Sicherstellung des Standortes Gorleben vor Maßnahmen, die eine Fortsetzung der Erkundung erschweren könnten, hat die Bundesregierung im August 2005 die Gorleben-Veränderungssperren-Verordnung erlassen.

Gray

Einheitenname für die Einheit der Energiedosis, Kurzzeichen: Gy.  $1 \text{ Gray} = 1 \text{ Joule durch Kilogramm}$ . Der Einheitenname Gray wurde in Erinnerung an Louis Harold Gray (1905 bis 1965) gewählt, der mit zu den fundamentalen Erkenntnissen in der Strahlendosimetrie beigetragen hat.

Grundlastkraftwerke

Kraftwerke der Elektrizitätsversorgung, die aufgrund ihrer betriebstechnischen und wirtschaftlichen Eigenschaften zur Deckung der Grundlast eingesetzt werden und mit möglichst hoher Ausnutzungsdauer gefahren werden. Grundlastkraftwerke sind Laufwasser-, Braunkohle- und Kernkraftwerke. →Lastbereiche.

GW

Gigawatt, das milliardenfache der Leistungseinheit Watt;  $1 \text{ GW} = 1\,000 \text{ MW} = 1\,000\,000 \text{ kW} = 1\,000\,000\,000 \text{ W}$ .

GWe

Gigawatt elektrisch;  $1 \text{ GWe} = 1\,000 \text{ MWe} = 1\,000\,000 \text{ kWe}$ .

Gy

Einheitenkurzzeichen für die Einheit der Energiedosis →Gray.

# H

## Hafnium

Metall; Neutronenabsorber, der vornehmlich im thermischen und epithermischen Neutronen-Energiebereich wirksam ist. Hafnium wird bevorzugt als heterogenes Neutronengift zur Vermeidung von Kritikalitätsstörfällen eingesetzt; hohe Strahlen- und Korrosionsbeständigkeit.

## Haftung bei kerntechnischen Anlagen

Nach dem Atomgesetz müssen Inhaber kerntechnischer Anlagen für Personen- und Sachschäden summenmäßig unbegrenzt haften; dabei ist es gleichgültig, ob der Schaden schuldhaft herbeigeführt wurde oder nicht. Die Vorsorge für die Erfüllung seiner gesetzlichen Schadenersatzverpflichtung (Deckungsvorsorge) muss der Inhaber der Anlage nachweisen. Bei Kernkraftwerken beträgt die Deckungsvorsorge 2,500 Millionen Euro pro Schadensfall. Sie ist durch Haftpflichtversicherungen oder eine Freistellungs- oder Gewährleistungsverpflichtung eines Dritten nachzuweisen.

## Haftung für Schäden bei einem Kernkraftwerksunfall in einem anderen Land der EU

Für in der Bundesrepublik Deutschland erlittenen nuklearen Schaden, der von einer in einem anderen Mitgliedstaat der Europäischen Union gelegenen Kernanlage ausgeht, haftet der Inhaber der Kernanlage, wenn der Anlagenstaat Vertragsstaat des Pariser Übereinkommen über die Haftung gegenüber Dritten auf dem Gebiet der Kernenergie oder des Wiener Übereinkommens über die zivilrechtliche Haftung für nukleare Schäden ist. Gehört der Staat des schädigenden Inhabers keinem der Übereinkommen an, bestimmt sich die Haftung nach dem nach den Regeln des Internationalen Privatrechts.

Die in den einzelnen Mitgliedstaaten der Europäischen Union geltenden Haftungssummen können der Tabelle entnommen werden. Um in der Bundesrepublik Deutschland Geschädigten unabhängig von den im Ausland festgesetzten Haftungssummen dennoch eine angemessene Entschädigung zu sichern, hat der Gesetzgeber in § 38 des Atomgesetzes einen Anspruch auf staatlichen Ausgleich bis zu 2,5 Mrd. Euro festgelegt.

Land	Haftungsbeträge	Anmerkung
Belgien	300 Mio. SZR	#
Bulgarien	15 Mio. SZR	
Dänemark	60 Mio. SZR	#
Deutschland	summenmäßig unbegrenzt	#
Estland		keine Ausführungsgesetzgebung zum Wiener Übereinkommen
Finnland	175 Mio. SZR	# *
Frankreich	76 Mio. SZR	#
Griechenland		keine Ausführungsgesetzgebung zum Pariser Übereinkommen
Großbritannien	150 Mio. SZR	#
Irland		keine Spezialgesetzgebung
Italien	5 Mio. SZR	#
Lettland	300 Mio. SZR	
Litauen	5 Mio. US-Dollar	
Luxemburg		keine Spezialgesetzgebung
Malta		keine Spezialgesetzgebung
Niederlande	285 Mio. SZR	#
Österreich	summenmäßig unbegrenzt	
Polen	150 Mio. SZR	
Portugal		keine Ausführungsgesetzgebung zum Pariser Übereinkommen
Rumänien	300 Mio. SZR	
Slovakei	75 Mio. SZR	
Slowenien	150 Mio. SZR	#
Spanien	700 Mio. Euro	#
Schweden	300 Mio. SZR	#, *
Tschechien	6 Mrd. CZK ≈ 230 Mio. €	
Ungarn	100 Mio. SZR	
Zypern		keine Spezialgesetzgebung

SZR Sonderziehungsrechte des Internationalen Währungsfonds,  
1 SZR  $\approx$  0,90 € (Ende Juni 2009)

# Vertragsstaat des Brüsseler Zusatzübereinkommens;  
garantierte Entschädigungssumme 1,5 Mrd. Euro nach Inkrafttreten des Brüssel Protokolls 2004, bis zu diesem Zeitpunkt 300 Mio. SZR.

\* Nach Inkrafttreten des Paris Protokolls 2004 summenmäßig unbegrenzte Haftung.

Haftungsbeträge für nuklearen Schaden in der EU (7/2008) (Bundestagsdrucksache 16/9979)

### Halbleiterzähler

Nachweisgerät für ionisierende Strahlung. Es wird der Effekt ausgenutzt, dass in Halbleitermaterial (Germanium, Silizium) bei Bestrahlung freie Ladungsträger entstehen. Halbleiterzähler sind wegen ihres hohen Energieauflösungsvermögens besonders zur Spektroskopie von Gammastrahlung geeignet.

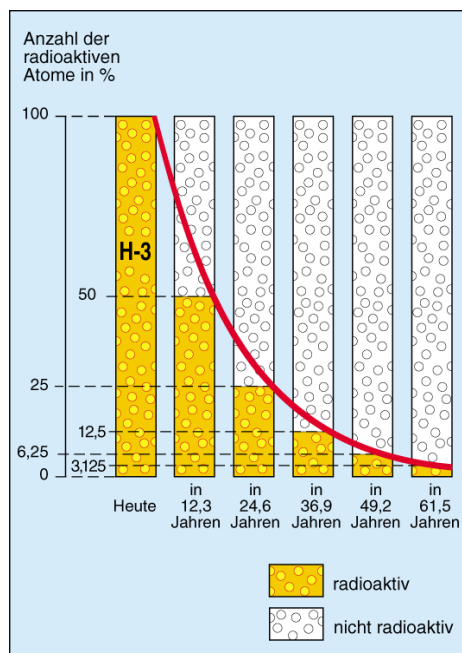
### Halbwertsdicke

Schichtdicke eines Materials, die die Intensität einer Strahlung durch Absorption und Streuung um die Hälfte herabsetzt.

### Halbwertszeit

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  $\rightarrow$ Zerfallskonstanten  $\lambda$  und der mittleren  $\rightarrow$ Lebensdauer bestehen folgende Beziehungen:

$$T = \lambda^{-1} \cdot \ln 2 \quad \approx 0,693 / \lambda, \quad \lambda = T^{-1} \cdot \ln 2 \quad \approx 0,693 / T, \quad \tau = \lambda^{-1} \quad \approx 1,44 T$$



Zerfallskurve von Tritium (H-3), Halbwertszeit 12,3 Jahre

### 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. Für den Erwachsenen gelten 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.

$$T_{\text{eff}} = \frac{T_{\text{phys}} \cdot T_{\text{biol}}}{T_{\text{phys}} + T_{\text{biol}}}$$

$T_{\text{phys}}$ : physikalische Halbwertszeit,  
 $T_{\text{biol}}$ : 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

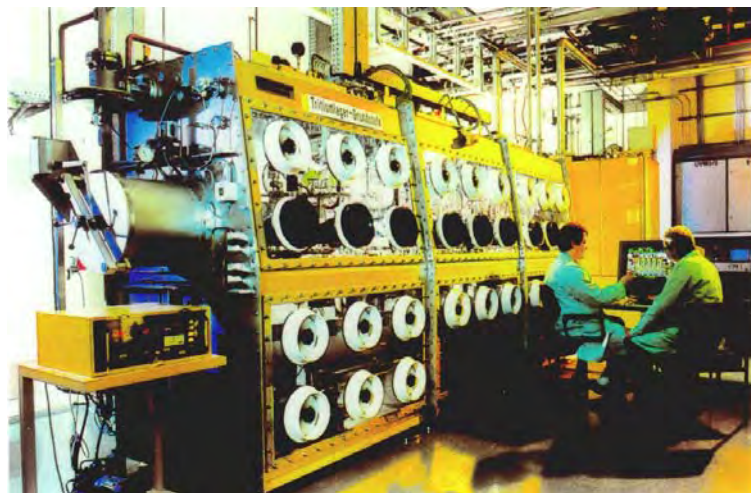
Halbwertszeiten für einige Radionuklide

### Halogenzähler

→ Geiger-Müller-Zähler, dessen Argon- oder Neonzählgas einige Prozent eines Halogens,  $\text{Cl}_2$  oder  $\text{Br}_2$ , zugesetzt sind, um Selbstlöschung der Gasentladung zu erreichen.

### Handschuhkasten

Gasdichter, meist aus durchsichtigem Kunststoff gefertigter Kasten, in dem mit Hilfe in den Kasten hineinreichender Handschuhe bestimmte radioaktive Stoffe, z. B. Tritium oder Plutonium, gefahrlos bearbeitet werden können.



Labor zur Handhabung von gasförmigem Tritium in Handschuhkästen

### 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 zurückgehalten. Da die Rückhaltefunktion des Sicherheitsbehälters entsprechend der Auslegung funktionier-

te, 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.

HAW

**High Active Waste**; hochradioaktiver Abfall.

HDR

Heißdampfreaktor Großweilzheim/Main, Siedewasserreaktor mit integrierter nuklearer Überhitzung mit einer elektrischen Bruttoleistung von 25 MW, nukleare Inbetriebnahme am 14.10.1969. Seit April 1971 abgeschaltet. Die Anlage wurde nach der Abschaltung über viele Jahre im Rahmen von Forschungsvorhaben zur Reaktorsicherheit genutzt. Die Stilllegungsgenehmigung wurde am 16.2.1983 erteilt. Die Demontage wurde am 15.10.1998 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 Filtrieren 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.

heiß

Ein Ausdruck, der in der Kerntechnik im Sinne von „hochradioaktiv“ verwendet wird.

Heißdampf

→ Nassdampf.

heißes Laboratorium

Für den sicheren Umgang mit radioaktiven Stoffen hoher Aktivität ausgelegtes Laboratorium. Es enthält im Allgemeinen mehrere Heiße Zellen.

Heiße Zelle

Stark abgeschirmtes, dichtes Gehäuse, in dem radioaktive Stoffe hoher Aktivität mit Hilfe von Manipulatoren fernbedient gehandhabt und dabei die Arbeitsvorgänge durch Bleiglasfenster beobachtet werden können, so dass für das Personal keine Gefahr besteht.



Heiße Zellen, Bedienseite mit Manipulatoren für fernbedientes Arbeiten

#### Heizkraftwerk

Ein Dampfkraftwerk, bei dem der Dampf nicht nur zur Stromerzeugung, sondern auch zu Heizzwecken genutzt wird. Der Gesamtwirkungsgrad des Kraftwerkes ist hierbei größer als bei Kraftwerken, die nur zur Stromerzeugung eingesetzt werden.

#### HEPA-Filter

high-efficiency particulate air filters; in Deutschland Schwebstofffilter der Sonderklasse S; häufig auch „Absolutfilter“ genannt.

#### heterogener Reaktor

Kernreaktor, in dem der Brennstoff vom Moderator getrennt vorliegt. Gegenteil: →homogener Reaktor. Die meisten Reaktoren sind heterogen.

#### HEU

engl. highly enriched uranium, hochangereichertes Uran. Uran mit einer U-235-Anreicherung von 20 % und mehr wird als HEU bezeichnet. Uran mit einer U-235-Anreicherung über 85 % wird als "weapon grade" bezeichnet. →LEU

#### HFR

Hochflussreaktor; Forschungsreaktor im Institut Laue-Langevin in Grenoble. Maximale Neutronenflußdichte:  $1,5 \cdot 10^{15}$  Neutronen/cm<sup>2</sup> s, Leistung: 57 MW.

#### Hochtemperaturreaktor

Der Hochtemperaturreaktor (HTR) wurde in Deutschland als →Kugelhaufenreaktor entwickelt. Der Reaktorkern besteht aus einer Schüttung von kugelförmigen Brennelementen, die von einem zylindrischen Graphit-

aufbau 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 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.

homogener Reaktor

Reaktor, in dem der Brennstoff als Gemisch mit Moderator oder Kühlmittel vorliegt. Flüssig-homogener Reaktor: z. B. Uranyl-sulfat in Wasser; fest-homogener Reaktor: z. B. Mischung von Uran ( $\text{UO}_2$ ) in Polyäthylen.

HTR

→Hochtemperatur-Reaktor.

Hyperonen

Gruppe kurzlebiger Elementarteilchen, deren Masse größer als die des Neutrons ist. →Elementarteilchen.

IAEA

International Atomic Energy Agency, Wien.

IAEO

Internationale Atomenergie-Organisation (amtliche deutsche Übersetzung für IAEA).

ICRP

International Commission on Radiological Protection; →Internationale Strahlenschutzkommission.

ICRP-Veröffentlichungen 60 und 103

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 den generellen Empfehlungen zum Strahlenschutz von 1990 (ICRP-Publication 60) und von 2007 (ICRP-Publication-103) verfolgt die Kommission folgende 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, dass diese ICRP-Veröffentlichungen für Gesetzgeber, Behörden und beratende Stellen auf nationaler und internationaler Ebene eine Hilfe ist, indem sie die wesentlichen Prinzipien erläutern, mit denen ein angemessener Strahlenschutz begründet werden kann. Wegen der unterschiedlichen Verhältnisse, die in den verschiedenen Ländern anzutreffen sind, hatte 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. Die wesentlichen Inhalte der ICRP-Empfehlung von 1990 sind in die im Mai 1996 verabschiedeten →Euratom-Grundnormen zum Strahlenschutz und 2001/2002 in die deutsche Strahlenschutzverordnung/Röntgenverordnung übernommen worden.

ICRU

International Commission on Radiological Units and Measurements.

Immission

Einwirkung von Luftfremdstoffen, Geräuschen und Erschütterungen auf Menschen, Tiere und Vegetation.

Impulshöhenanalysator

Gerät, das das Verfahren der Impulshöhenanalyse zur Darstellung des Energiespektrums einer Strahlung ausnutzt.

Impulshöhenanalyse

Verfahren zur Gewinnung des Energiespektrums einer Strahlung. Die Impulse eines Detektors, der energieproportionale Ausgangsimpulse liefert, werden entsprechend ihrer Amplitude sortiert und gezählt. Aus der so gewonnenen Impulshöhenverteilung lässt sich das Energiespektrum gewinnen.



## Indikator

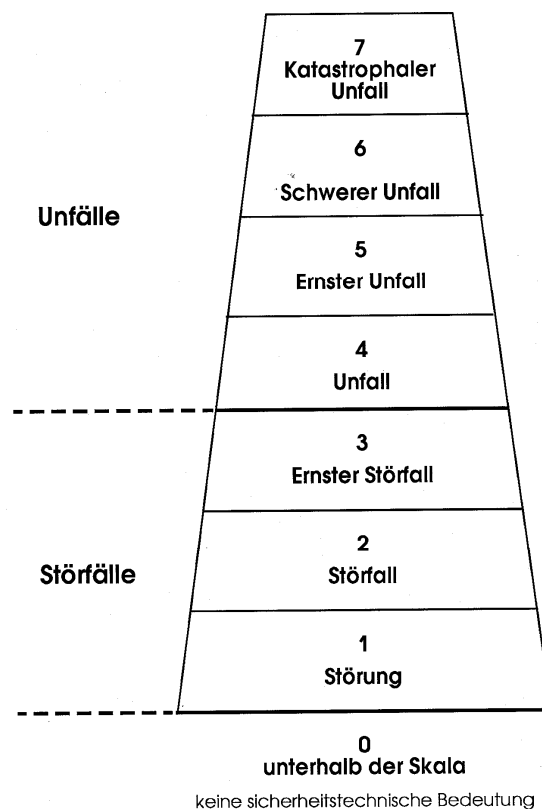
Element oder Verbindung, die radioaktiv gemacht wurden, so dass sie sich in biologischen, chemischen und industriellen Prozessen leicht verfolgen lassen. Die vom Radionuklid ausgehende Strahlung zeigt dann dessen Lage und Verteilung an.

## Inertgas

Nichtbrennbares Gas, z. B. CO<sub>2</sub>, Stickstoff, Edelgase. Einsatz von Inertgas erfolgt in Fabrikationsanlagen mit brennbaren Stoffen zur Inertisierung von Prozessräumen ohne Personalaufenthalt als aktive und passive Maßnahme des Brandschutzes.

## INES

**International Nuclear Event Scale**; von der IAEO vorgeschlagene siebenstufige Skala, um Ereignisse in kerntechnischen Anlagen insbesondere unter dem Aspekt einer Gefährdung der Bevölkerung nach international einheitlichen Kriterien zu bewerten.



### INES-Skala zur Klassifizierung von Ereignissen in kerntechnischen Einrichtungen

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:

- „Radiologische Auswirkungen außerhalb der Anlage“,
- „Radiologische Auswirkungen in der Anlage“ und
- „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 – zuge-

ordnet sind die Stufen 0 bis 3 - umfasst die Ereignisse, bei denen Sicherheitsvorkehrungen beeinträchtigt worden sind, die die Freisetzung radioaktiver Stoffe verhindern sollen.

#### 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 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

International Nuclear Information System der IAEA.

#### Inkorporation

Allgemein: Aufnahme in den Körper. Besonders: Aufnahme radioaktiver Substanzen in den menschlichen Körper.

#### in-pile

Ausdruck zur Kennzeichnung von Experimenten oder Geräten innerhalb eines Reaktors.

#### Instandhaltung

Maßnahmen zur Wartung, Reparatur und Instandsetzung von Apparaten, Maschinen und Anlagenteilen. Instandhaltung kann vorbeugend als Routinemaßnahme oder erst nach Eintreten eines technischen Versagens einer Anlagenkomponente erfolgen.

#### Internationale Strahlenschutzkommission

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 Gemeinschaf-

ten, 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.

#### Intervention

Eingriff zur Ausführung von Instandhaltungsmaßnahmen in Anlagenbereichen mit erhöhter Strahlung. Intervention wird unter Hinzuziehung von Strahlenschutzpersonal vorbereitet und während des Ablaufes überwacht.

#### 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.

#### Iodfilter

Iodhaltiges Abgas aus kerntechnischen Anlagen passiert nach einer Vorreinigung durch Gaswäsche und/oder Nassaerosolabscheider Adsorber (silbernitratimprägnierte Silikagelträger oder Molekularsiebzeolithen), die das Iod durch Chemisorption in am Trägermaterial haftendes Silberiodid überführen und damit Iod aus dem Abgas filtern.

#### Ion

Elektrisch geladenes atomares oder molekulares Teilchen, das aus einem neutralen Atom oder Molekül durch Abspaltung oder Anlagerung von Elektronen oder durch elektrolytische Dissoziation von Molekülen in Lösungen entstehen kann.

#### Ionenaustauscher

Chemische Stoffe (unlösliche, meist hochmolekulare Polyelektrolyte) mit austauschfähigen Ankergruppen, deren Ionen gegen andere Ionen ausgetauscht werden können. Verwendung: Auftrennung von Substanzgemischen.

#### Ionendosis

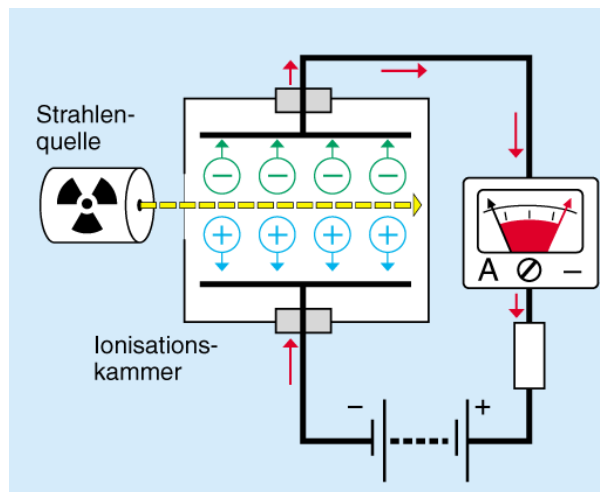
In der Dosimetrie früher benutzte Messgröße für ionisierende Strahlung. Die Einheit der Ionendosis ist Coulomb durch Kilogramm (C/kg). 1 Coulomb durch Kilogramm ist gleich der Ionendosis, die bei der Erzeugung von Ionen eines Vorzeichens mit der elektrischen Ladung 1 C in Luft der Masse 1 kg durch ionisierende Strahlung räumlich konstanter Energieflussdichte entsteht. Bis Ende 1985 war als Einheit Röntgen (Kurzzeichen: R) zugelassen. 1 Röntgen ist gleich 258  $\mu\text{C}/\text{kg}$ .

#### 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

Gerät zum Nachweis ionisierender Strahlung durch Messung des elektrischen Stromes, der entsteht, wenn Strahlung das Gas in der Kammer ionisiert und damit elektrisch leitend macht.



Prinzip einer Ionisationskammer

ionisierende Strahlung

Jede Strahlung, die direkt oder indirekt ionisiert, z. B. Alpha-, Beta-, Gamma-, Neutronenstrahlung.

IRPA

International Radiation Protection Association; Zusammenschluss nationaler und regionaler Strahlenschutzgesellschaften. Gegründet 1966 zur Förderung internationaler 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 20 000 Mitglieder aus 61 Staaten. Die deutschen Fachleute sind durch den deutsch-schweizerischen Fachverband für Strahlenschutz (→FS) vertreten.

Isobare

In der Kernphysik Kerne mit gleicher Nukleonenzahl. 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.

Isodosenkurve

Geometrischer Ort für alle Punkte, an denen eine Dosisgröße den gleichen Wert hat.

Isomere

Nuklide derselben Neutronen- und Protonenzahl, jedoch unterschiedlicher energetischer Zustände; z. B. die Barium-Nuklide Ba-137 und Ba-137m.

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

Atome derselben Kernladungszahl (d. h. desselben chemischen Elementes), jedoch unterschiedlicher Nukleonenzahl, z. B. Ne-20 und Ne-22. Beide Atomkerne gehören zum selben chemischen Element, dem Neon (Kurzzeichen: Ne) und haben daher beide jeweils 10 Protonen. Die Nukleonenzahl ist allerdings verschieden, da Ne-20 zehn Neutronen und Ne-22 zwölf Neutronen enthält.

### Isotopenanreicherung

Prozeß, durch den die relative Häufigkeit eines Isotops in einem Element vergrößert wird. Beispiel: Anreicherung von Uran am Isotop Uran-235; →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 dann 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.

### 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, EU, Indien, Japan, Korea, Russland, 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 Energie lieferndes Plasma zu erzeugen. Eingeleitet wurde diese Kooperation 1985. 1998 wurde der Abschlußbericht an die damaligen vier ITER-Partner weitergeleitet. Nach der Genehmigung des Berichts war damit aus wissenschaftlich-technischer Sicht eine ausreichende Pla-

nungsgrundlage 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. Die Planungsarbeiten auf der Basis des Vorentwurfs wurden im Juli 2001 fertig gestellt. Im Juni 2005 wurde beschlossen, ITER in Cadarache, Südfrankreich, zu errichten. Der Bau der Anlage hat 2009 begonnen. Ungefähr zehn Jahre nach Baubeginn könnte ITER das erste Plasma erzeugen. ITER wird als Fusionsanlage vom Typ →Tokamak geplant; seine Daten:

- Gesamtradius: 10,7 Meter,
- Höhe: 15 Meter,
- Plasmaradius (größter/kleinst): 6,2/2,0 Meter,
- Plasmavolumen: 840 Kubikmeter,
- Magnetfeld: 5,3 Tesla,
- maximaler Plasmastrom: 15 Megaampere,
- Heizleistung: 73 Megawatt,
- Fusionsleistung: 500 Megawatt,
- mittlere Temperatur: 100 Millionen Grad,
- Brenndauer:  $\geq$  400 Sekunden.

# J

## JET

Joint European Torus; Großexperiment zur kontrollierten Kernfusion; Culham, England. Zum ersten Mal in der Geschichte der Fusionsforschung ist es mit JET 1991 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.

Wesentliche Daten von JET:

- 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.

# K

## K-Meson

Elementarteilchen aus der Gruppe der Mesonen. →Elementarteilchen.

## Katastrophenschutzpläne

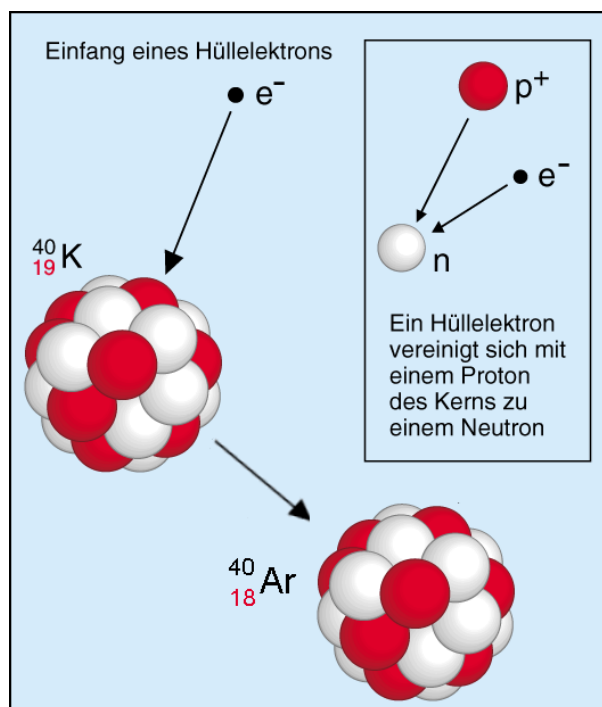
Die Behörden sind verpflichtet, für ein Kernkraftwerk wie für andere großtechnische Anlagen - chemische Fabriken, Raffinerien, Tanklager - oder wie auch für Naturkatastrophen eine Gefahrenabwehrplanung durchzuführen und einen Katastrophenschutzplan aufzustellen. Je nach den örtlichen Gegebenheiten kann 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.

## KBR

Kernkraftwerk Brokdorf/Elbe, Druckwasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 1 480 MW, nukleare Inbetriebnahme am 7.10.1986.

## K-Einfang

Einfang eines Bahnelektrons aus der K-Schale des Atoms durch den Atomkern. →Elektroneneinfang



K-Einfang, Umwandlung von Kalium-40 Elektroneneinfang in Argon-40

## KERMA

**K**inetic Energy Released per Unit **M**ass. Kerma ist eine Dosisgröße. Kerma  $K$  ist 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. Bei allen Angaben einer Kerma muss das Bezugsmaterial (d. h. das Material von  $dm$ ) genannt werden. Die SI-Einheit der Kerma ist das Gray (Gy).



## Kern

→Atomkern, →Spaltzone.

## 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.

## Kernbrennstoff

Nach der Definition des Atomgesetzes 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.

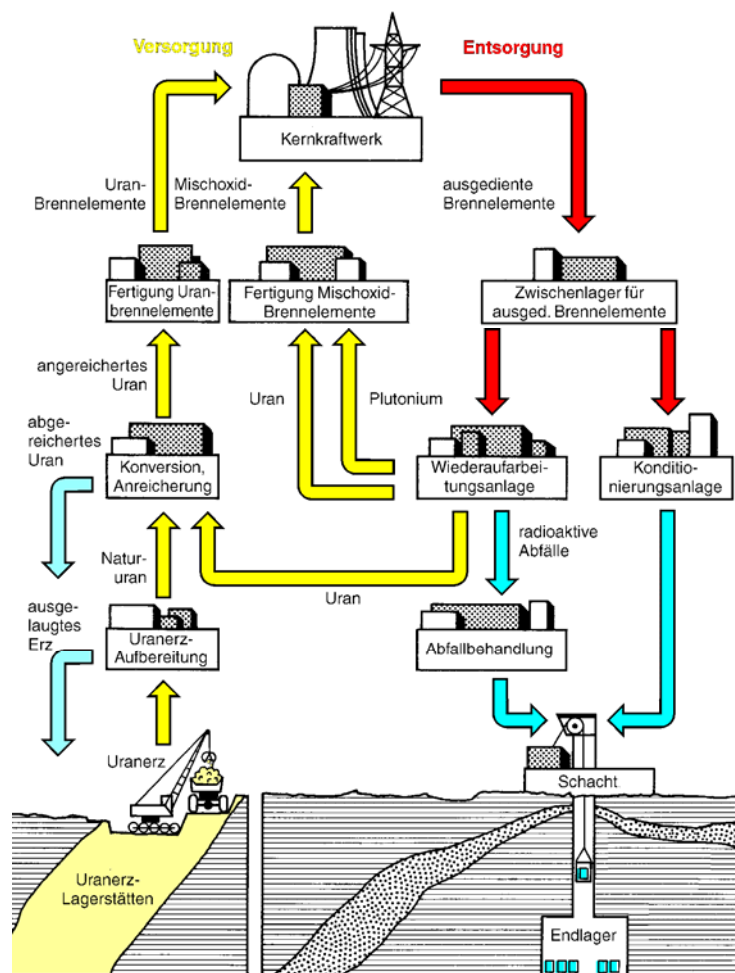
## Kernbrennstoff-Kreislauf

Eine Reihe von Verfahrensstufen bei der Versorgung und Entsorgung von Kernreaktoren mit Kernbrennstoff.

- **Versorgung:**  
Ausgangspunkt der Kernenergienutzung ist die Versorgung der Kernreaktoren mit Uran. Der Urangehalt der abgebauten Erze beträgt typischerweise 0,2 %. In einem Aufbereitungsverfahren wird das Uran aufkonzentriert. Es entsteht das Handelsprodukt „Yellow Cake“, das etwa 70 bis 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 3 bis 5 % 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. Das Produkt der Anreicherungsanlage ist  $UF_6$ , dessen U-235-Anteil ca. 3 bis 5 % beträgt.  
In der Brennelementfabrik wird das  $UF_6$  in  $UO_2$  umgewandelt. Aus  $UO_2$ -Pulver werden Tabletten gepresst, die bei Temperaturen über 1700 °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.
- **Entsorgung:**  
Die Einsatzzeit der Brennelemente im Reaktor beträgt drei bis vier Jahre. Durch Kernspaltung wird Kernenergie in elektrischen Strom umgewandelt. Dabei nimmt der Anteil des spaltbaren U-235 ab, und es entstehen die zum Teil radioaktiven Spaltprodukte sowie nennenswerte Mengen des neuen, z. T. spaltbaren Kernbrennstoffs Plutonium. Alle Tätigkeiten zur Behandlung, Aufarbeitung und Beseitigung der abgebrannten Brennelemente werden zusammenfassend als Entsorgung bezeichnet.  
Zwei Arten der Entsorgung sind möglich: →Wiederaufarbeitung mit Rückgewinnung und Wiederverwendung der nutzbaren Anteile Plutonium und Uran oder direkte Endlagerung, bei der die abgebrannten Brennelemente insgesamt als Abfälle deponiert werden. Die Brennelemente kommen zunächst in ein Zwischenlager, in dem ihre Aktivität abklingt. Bei einer 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. Dazu werden

in einer Konditionierungsanlage 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.

Radioaktive Abfälle müssen auf Dauer sicher gelagert und aus der Biosphäre ferngehalten werden. Schwach- und mittelradioaktive 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 wärmeentwickelnden Spaltproduktlösungen aus der Wiederaufarbeitung werden unter Zusatz von glasbildenden Stoffen in Glas eingeschmolzen und in Edelstahlbehälter gefüllt. Für die Endlagerung werden stabile geologische Formationen benutzt. In der Schweiz und in Schweden ist Granitgestein vorgesehen, in Deutschland wurden insbesondere Salzstöcke für eine Endlagerung untersucht.



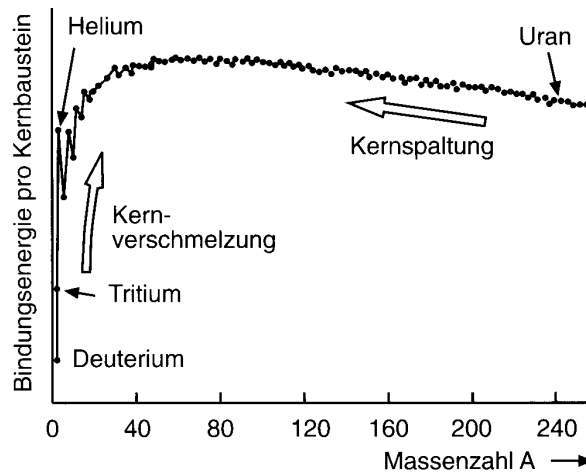
Kernbrennstoffkreislauf

### 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 deshalb Energie entweder durch Spaltung (Fission) schwerer Kerne wie Uran oder durch Verschmelzung (Fusion) leichter Kerne wie Wasserstoff gewonnen werden. Die Spaltung von 1 kg U-235 liefert rund 23 Mio. kWh, bei der Fusion von Deuterium und Tritium (DT-Reaktion) zu 1 kg Helium wird eine Energie von rund 120 Mio. kWh frei. Die Verbrennung von 1 kg Steinkohle liefert dagegen nur etwa 10 kWh. →Fusion, →Kernspaltung.



Kernbindungsenergie in Abhängigkeit von der Massenzahl des Atomkerns

### Kernfusion

→Fusion.

### Kernkraftwerk

Wärmeleistung, überwiegend zur Stromversorgung, bei dem die bei der →Kernspaltung in einem Reaktor freigesetzte Kernbindungsenergie in Wärme und über einen Wasser-Dampf-Kreislauf mittels Turbine und Generator in elektrische Energie umgewandelt wird.

### Kernkraftwerke, Deutschland

In Deutschland sind (Stand 19.1.2011) 17 Kernkraftwerke mit einer elektrischen Bruttoleistung von 21 517 MW in Betrieb. Im Jahr 2010 erzeugten sie 140,6 Mrd. kWh elektrischen Strom. Die Zeit- und Arbeitsverfügbarkeit betrug 76 bzw. 77 %.

Kernkraftwerk	Typ	Nennleistung (brutto) MWe	Nennleistung (netto) MWe	Stromerzeugung 2010 (brutto), MWh
Biblis A	DWR	1.225	1.167	5.042.097
Biblis B	DWR	1.300	1.240	10.306.260
GKN-1 Neckar	DWR	840	785	2.207.634
GKN-2 Neckar	DWR	1.400	1.310	10.874.050
KBR Brokdorf	DWR	1.480	1.410	11.945.182
KKB Brunsbüttel	SWR	806	771	0
KKE Emsland	DWR	1.400	1.329	11.560.347
KKG Grafenrheinfeld	DWR	1.345	1.275	7.938.413
KKI-1 Isar	SWR	912	878	6.543.273
KKI-2 Isar	DWR	1.485	1.410	12.006.506
KKK Krümmel	SWR	1.402	1.346	0
KKP-1 Philippsburg	SWR	926	890	6.790.514
KKP-2 Philippsburg	DWR	1.468	1.402	11.797.122
KKU Unterweser	DWR	1.410	1.345	11.238.640
KRB B Gundremmingen	SWR	1.344	1.284	9.953.737
KRB C Gundremmingen	SWR	1.344	1.288	10.935.801
KWG Grohnde	DWR	1.430	1.360	11.416.876
Summe		21.517	20.490	140.556.452

DWR: Druckwasserreaktor; SWR: Siedewasserreaktor

Kernkraftwerke in Deutschland in Betrieb (19.1.2011), und ihre Stromerzeugung im Jahr 2010

19 Kernkraftwerke - insbesondere in den 60er und 70er Jahren errichtete Versuchs-, Prototyp- und Demonstrationsanlagen - wurden bisher außer Betrieb genommen, darunter auch aus allgemeinen Sicherheitsgründen die fünf Blöcke des Kernkraftwerks Greifswald.

Bezeichnung, Standort	elektrische Bruttoleistung MW	Betriebsdauer
HDR, Großwelzheim	25	1969-1971
KKN, Niederaichbach	107	1972-1974
KWL, Lingen	267	1968-1977
KRB-A, Gundremmingen	250	1966-1977
MZFR, Leopoldshafen	58	1965-1984
VAK, Kahl	16	1960-1985
AVR, Jülich	15	1966-1988
THTR, Hamm-Uentrop	307	1983-1988
KMK, Mülheim-Kärlich	1 308	1986-1988
KKR, Rheinsberg	70	1966-1990
KGR 1-5, Greifswald	2 200	1973-1990
KNK, Leopoldshafen	21	1977-1991
KWW, Würgassen	670	1971-1994
KKS, Stade	672	1972-2003
KWO, Obrigheim	357	1968-2005

Außer Betrieb genommene Kernkraftwerke in Deutschland, Stand 1.1.2011

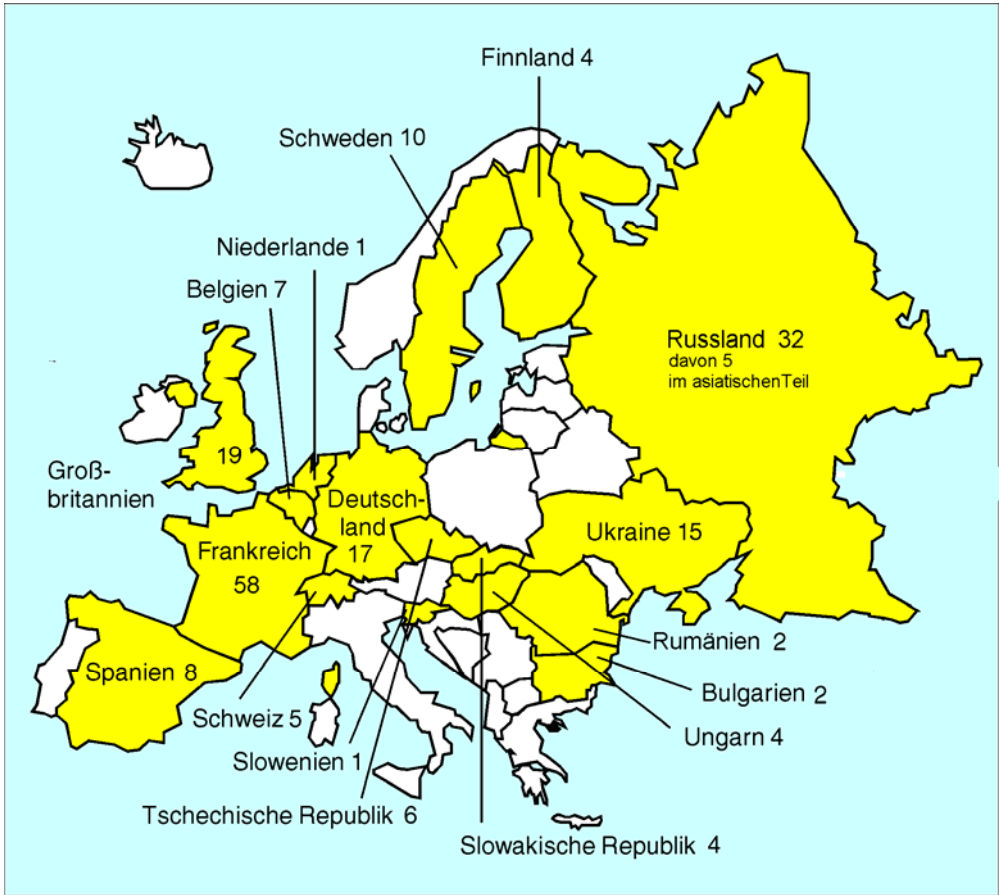
#### Kernkraftwerke, Europa

Anfang Januar 2011 waren in 17 europäischen Ländern insgesamt 195 Kernkraftwerksblöcke (fünf davon im asiatischen Teil Russlands) mit einer installierten elektrischen Nettoleistung von rund 170 GW in Betrieb und in sechs Ländern 19 Blöcke mit einer elektrischen Nettoleistung von etwa 17 GW in Bau.

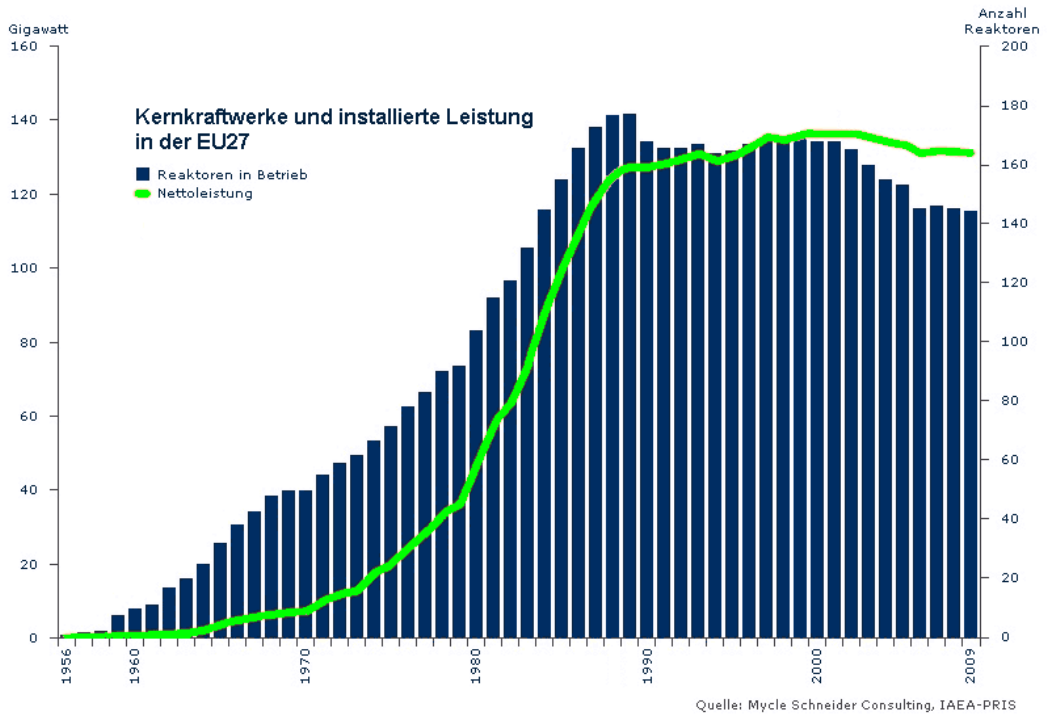
Im Jahr 2009 lag Litauen mit einem Anteil von 76,2 % (das litauische Kernkraftwerk Ignalina wurde am 31.12.2009 entsprechend den Festlegungen im Beitrittsvertrag zur EU außer Betrieb genommen) an der Spitze, gefolgt von Frankreich mit einem Anteil von 75,2 %, der Slowakische Republik mit 53,5 %, Belgien mit 51,7 % und der Ukraine mit 48,6 %. In Deutschland betrug der Anteil der Stromerzeugung aus Kernenergie 26,1 %.

Land	in Betrieb		in Bau	
	Anzahl	Nettoleistung, MWe	Anzahl	Nettoleistung, MWe
Belgien	7	5.926	-	-
Bulgarien	2	1.906	2	1.906
Deutschland	17	20.490	-	-
Finnland	4	2.716	1	1.600
Frankreich	58	63.130	1	1.600
Großbritannien	19	10.137	-	-
Niederlande	1	487	-	-
Rumänien	2	1.300	-	-
Russland	32	22.693	11	9.153
Schweden	10	9.303	-	-
Schweiz	5	3.238	-	-
Slowakische Republik	4	1.792	2	782
Slowenien	1	666	-	-
Spanien	8	7.514	-	-
Tschechische Republik	6	3.678	-	-
Ukraine	15	13.107	2	1.900
Ungarn	4	1.889	-	-

Summe	195	169.972	19	16.941
-------	-----	---------	----	--------



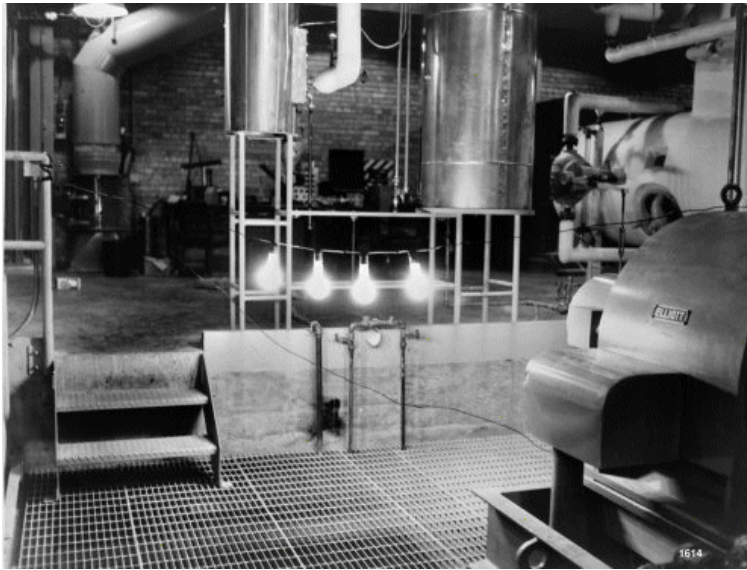
Kernkraftwerke in Europa, Stand 119.1.2011 (Quelle: IAEA)



Kernkraftwerke in der EU (27 Länder)

## Kernkraftwerke, weltweit

Am 20. Dezember 1951 wurde in Arco, Idaho, USA, durch den Experimental Breeder Reactor EBR-I erstmals Strom aus Kernenergie erzeugt - ausreichend für vier Glühlampen. Der EBR-I war nicht zur Stromerzeugung sondern zur Erprobung des Konzepts eines Schnellen Brutreaktors errichtet worden.



Erste Stromerzeugung durch Kernenergie  
Experimental Breeder Reactor EBR-I, 20.12.1951, Arco, Idaho, USA

Am 26. Juni 1954 lieferte der 5 MWe-Reaktor APS-I in Obninsk, Russland, als erster Reaktor, der zur Stromerzeugung errichtet wurde, elektrischen Strom in ein öffentliches Netz. Als erstes kommerzielles Kernkraftwerk wurde die 50-MWe-Anlage Calder Hall 1, England, am 27. August 1956 mit dem öffentlichen Netz verbunden.

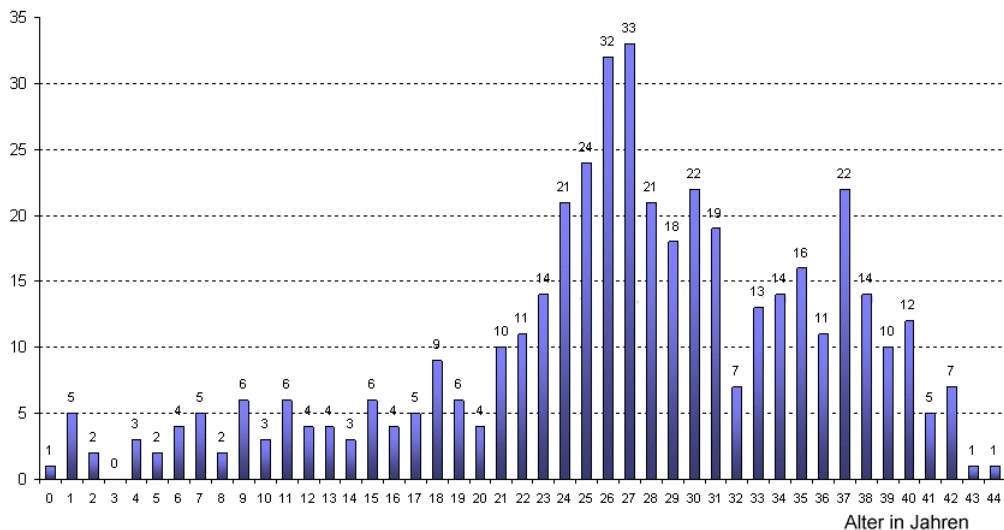
Mitte Januar 2011 waren in 30 Ländern 442 Kernkraftwerksblöcke mit einer installierten elektrischen Nettoleistung von rund 375 GW in Betrieb und in 16 Ländern 65 Kernkraftwerksblöcke mit einer elektrischen Nettoleistung von rund 63 GW im Bau.

Seit der ersten Stromerzeugung in einem Kernkraftwerk - am 20. Dezember 1951 im Schnellen Brüter EBR-I in den USA - sind bis Ende 2009 kumulativ 64 600 Mrd. kWh erzeugt worden Die kumulierte Betriebserfahrung bis Januar 2011 betrug 14 368 Jahre.

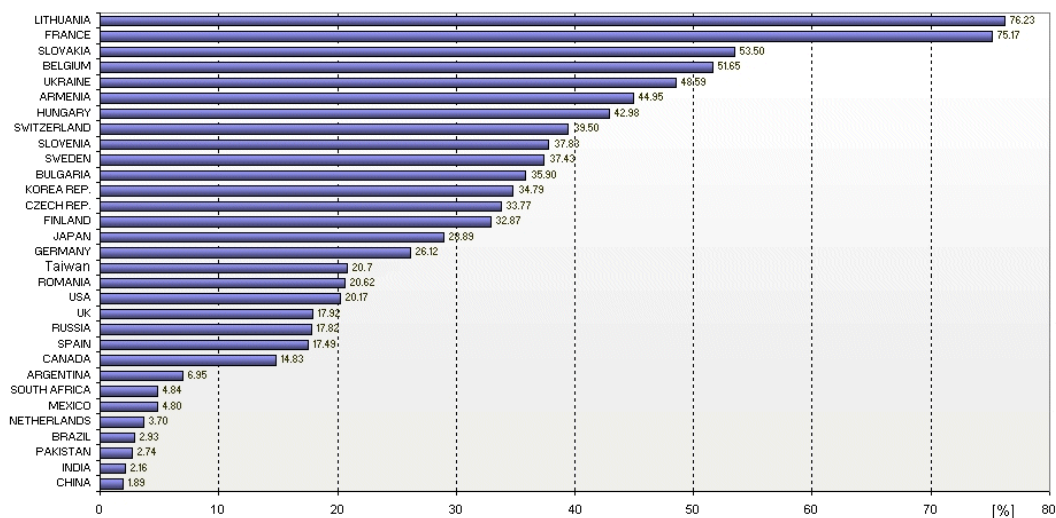
Land	in Betrieb		in Bau	
	Anzahl	Nettoleistung, MWe	Anzahl	Nettoleistung, MWe
Argentinien	2	935	1	692
Armenien	1	375	-	-
Belgien	7	5.926	-	-
Brasilien	2	1.884	1	1.245
Bulgarien	2	1.906	2	1.906
China				
Festland	13	10.048	27	27.230
Taiwan	6	4.980	2	2.600
Deutschland	17	20.490	-	-
Finnland	4	2.716	1	1.600
Frankreich	58	63.130	1	1.600
Großbritannien	19	10.137	-	-
Indien	20	4.391	5	3.564
Iran	-	-	1	915
Japan	54	46.823	2	2.650
Kanada	18	12.569	-	-
Korea, Republik	21	18.665	5	5.560
Mexiko	2	1.300	-	-

Land	in Betrieb		in Bau	
	Anzahl	Nettoleistung, MWe	Anzahl	Nettoleistung, MWe
Niederlande	1	487	-	-
Pakistan	2	425	1	300
Rumänien	2	1.300	-	-
Russland	32	22.693	11	9.153
Schweden	10	9.303	-	-
Schweiz	5	3.238	-	-
Slowakische Republik	4	1.792	2	782
Slowenien	1	666	-	-
Spanien	8	7.514	-	-
Südafrika	2	1.800	-	-
Tschechische Republik	6	3.678	-	-
Ukraine	15	13.107	2	1.900
Ungarn	4	1.889	-	-
USA	104	100.747	1	1.165
<b>Summe</b>	<b>442</b>	<b>374914</b>	<b>65</b>	<b>62.862</b>

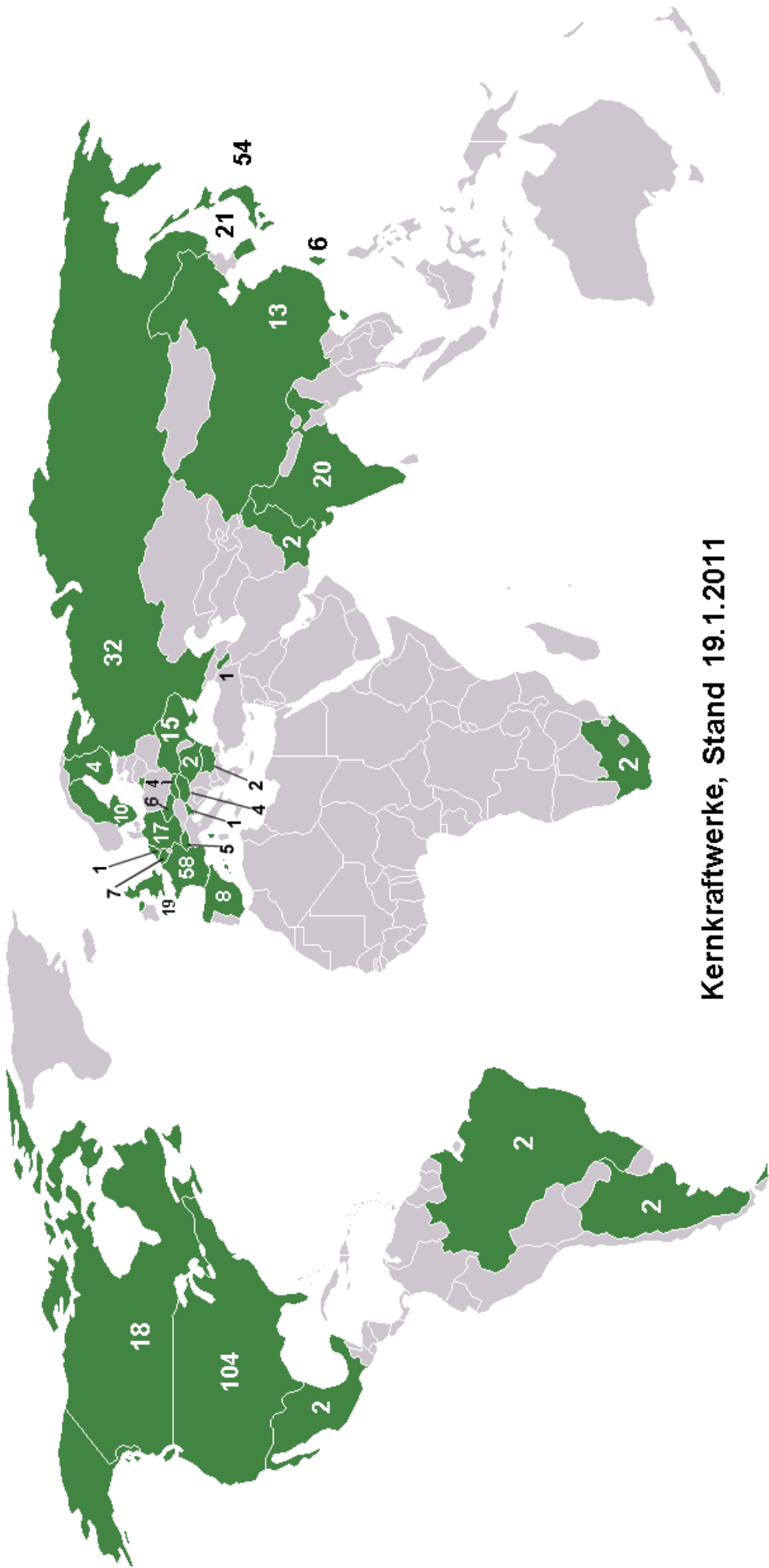
Kernkraftwerke, weltweit, in Betrieb und in Bau, Stand 18.1.2011



Alter der Kernkraftwerke in Betrieb, weltweit, IAEA, 19.1.2011

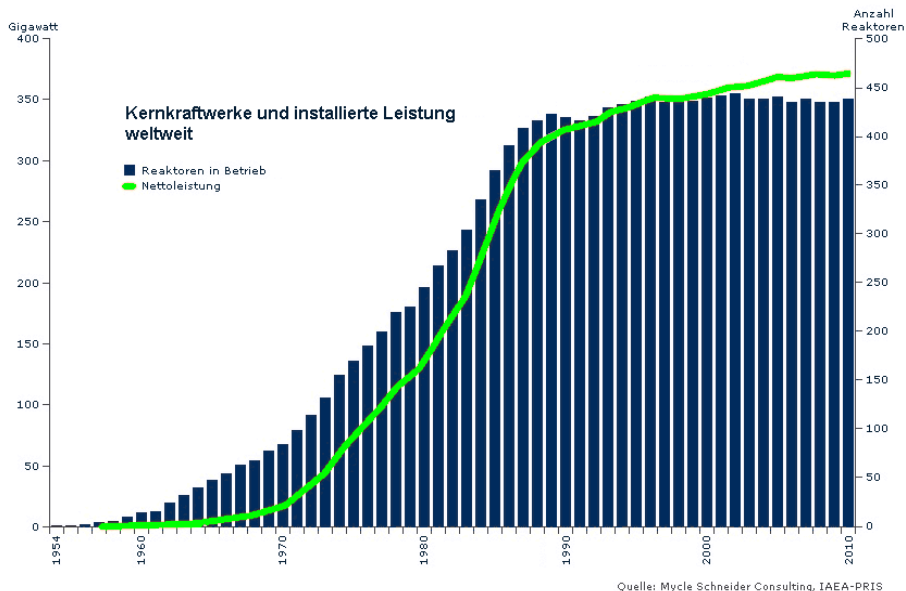


Prozentuale Stromerzeugung durch Kernenergie in verschiedenen Ländern, IAEA, 2009

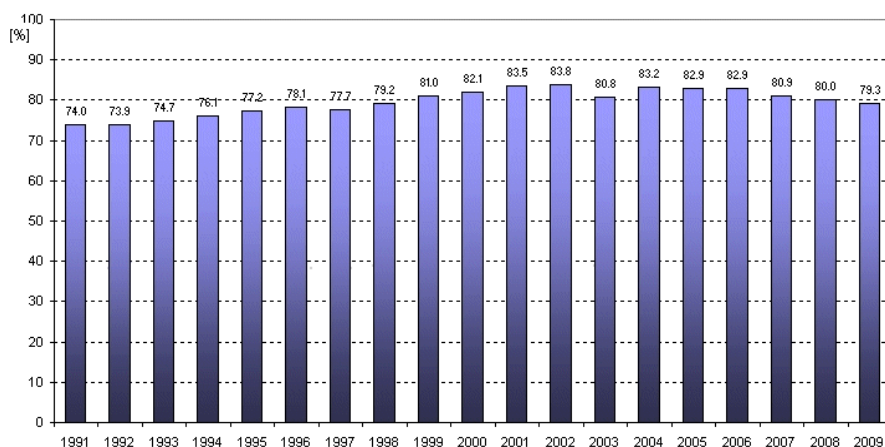


Kernkraftwerke, Stand 19.1.2011





### Kernkraftwerke weltweit, Anzahl und installierte elektrische Leistung



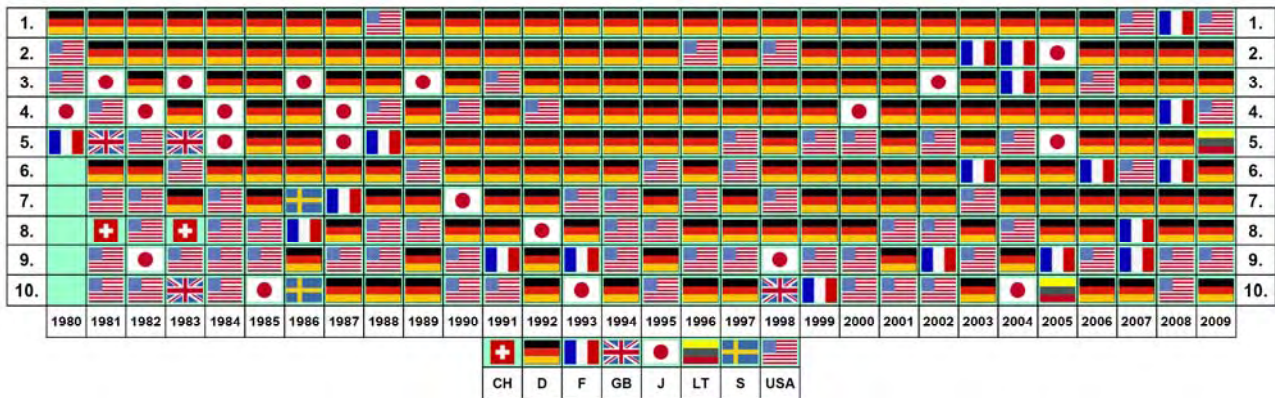
### Arbeits-Verfügbarkeit der Kernkraftwerke, weltweit, IAEA, 1991 - 2009

### Kernkraftwerke, weltweit, Rangfolge

Sechs der zehn weltweit besten Produktionsergebnisse bei der Stromerzeugung aus Kernenergie wurden im Jahr 2009 von deutschen Kernkraftwerken erzielt.

Land	Kernkraftwerk	Nennleistung brutto MWe	Bruttostromerzeugung Mrd. kWh
USA	Palo Verde 1	1.428	12,24
Deutschland	Isar 2	1.485	12,13
Deutschland	Brokdorf	1.480	12,05
USA	South Texas 2	1.413	11,89
Litauen	Ignalina	1.300	11,60
Deutschland	Philippsburg 2	1.458	11,58
Deutschland	Neckar 2	1.400	11,52
Deutschland	Grohnde	1.430	11,51
USA	Grand Gulf 1	1.320	11,44
Deutschland	Emsland	1.400	11,43

Rangfolge der Kernkraftwerke weltweit nach ihrer Stromproduktion 2009



Rangfolge der Kernkraftwerke weltweit nach ihrer Stromproduktion, 1980 bis 2009

### Kernkraftwerke, weltweit, Reaktortypen

In den Kernkraftwerken werden weltweit überwiegend Druckwasserreaktoren (DWR) eingesetzt – 61 % nach Anzahl, 66 % nach Leistung -, gefolgt von Siedewasserreaktoren (SWR) - 21 % nach Anzahl, 22 % nach Leistung.

Reaktortyp	in Betrieb	
	Anzahl	elektr. Netto-Leistung, MW
DWR	269	248.315
SWR	92	83.829
CANDU/D <sub>2</sub> O-DWR	47	23.042
GGR/AGR	18	8.949
RBMK	15	10.219
SNR	1	560
Summe	442	374.914

Kernkraftwerke weltweit nach Reaktortypen, Stand 19.1.2011

### Kernkraftwerke, weltweit, stillgelegt

Seit der ersten Stromlieferung durch ein Kernkraftwerk in das öffentliche Netz am 26. Juni 1954 durch die RBMK-Anlage APS-I in Obninsk, Russland, sind bis Januar 2011 weltweit 125 prototypische oder kommerzielle Kernkraftwerke außer Betrieb genommen worden. Die gesamte installierte elektrische Nettoleistung dieser stillgelegten Anlagen betrug 37 794 MWe.

Land	Anzahl	Land	Anzahl
Armenien	1	Litauen	2
Belgien	1	Niederlande	1
Bulgarien	4	Russland	5
Deutschland	19	Schweden	3
Frankreich	12	Schweiz	1
Großbritannien	26	Slowakische Republik	3
Italien	4	Spanien	2
Japan	5	Ukraine	4
Kanada	3	USA	28
Kasachstan	1		

Kernkraftwerke, weltweit, stillgelegt (IAEA, Stand: 18.1.2011)

## Kernkraftwerkskomplexe

Die Reihenfolge der größten in Betrieb befindlichen Kernkraftwerkskomplexe der Welt (Stand 1/2010) führt der Standort Fukushima, Japan, mit zehn Blöcken und einer elektrischen Bruttoleistung von 9 096 MW an, gefolgt von Kashiwazaki, Japan, mit sieben Blöcken und 8 212 MW und Saporoschje, Ukraine, mit sechs Blöcken und 6 000 MW.

## Kernladungszahl

→Ordnungszahl.

## 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.

## 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

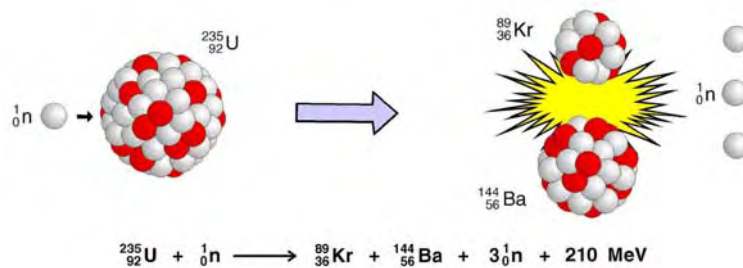
Fällt die Kühlung des Reaktorkerns z. B. bei einem großen Leck im Reaktorkühlkreislauf und gleichzeitigem Versagen der Notkühlung aus, so heizt die im Brennstoff durch den radioaktiven Zerfall der Spaltprodukte entstehende Nachwärme den Reaktorkern auf. Dabei kann der Brennstoff bis auf Schmelztemperatur erhitzt werden. Beim Schmelzen des Brennstoffs versagen auch die Kerntagestrukturen. Die gesamte Schmelzmasse stürzt in den unteren halbkugelförmigen Bereich des Reaktordruckbehälters. Es ist davon auszugehen, dass die in der Schmelze freigesetzte 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 wird für die Aufnahme der bei einem Kernschmelzunfall entstehenden flüssigen Metallschmelze ausgelegt, die durch die Schwerkraft in einen tieferliegenden 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

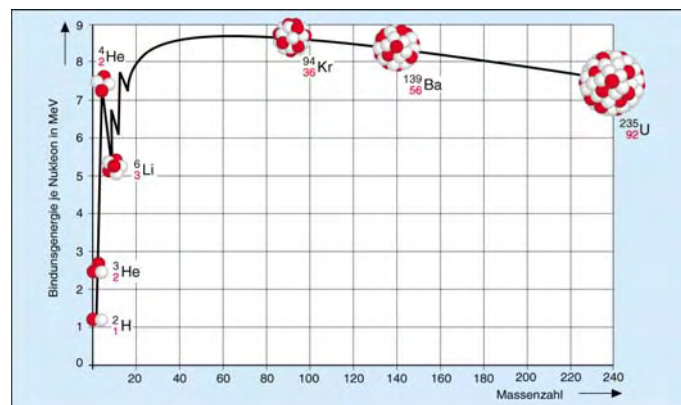
Spaltung eines Atomkernes in zwei Teile etwa derselben Größe durch den Stoß eines Teilchens. Die Kernspaltung kann bei sehr schweren Kernen auch spontan auftreten; →Spaltung, spontane. Bei der Kernspaltung von Uran-235 wird durch Einfang eines Neutrons der Urankern zur Spaltung angeregt. Dabei entstehen im Allgemeinen zwei - seltener drei - →Spaltprodukte, zwei bis drei Neutronen und Energie.



Beispiel für Kernspaltung an U-235

Im Urankern sind die  $\rightarrow$ 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- und Gamma-Strahlung beim Zerfall der radioaktiven Spaltprodukte 13 MeV,
- Energie der Neutrinos 10 MeV.



Verlauf der Kernbindungsenergie

Durch die bei der Kernspaltung freigesetzten Neutronen ist prinzipiell eine  $\rightarrow$ Kettenreaktion möglich. Anlagen, in denen Spaltungskettenreaktionen kontrolliert ablaufen, nennt man Kernreaktoren.

#### Kerntechnischer Hilfsdienst

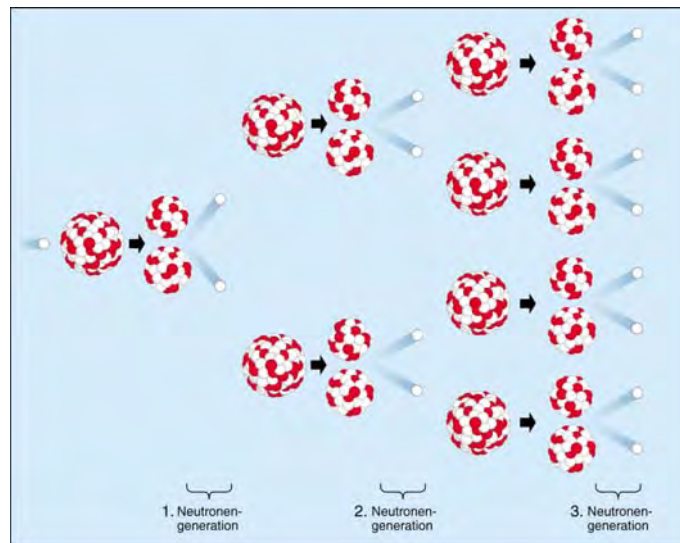
Die Kerntechnische Hilfsdienst GmbH in Eggenstein-Leopoldshafen ist eine von Betreibern kerntechnischer Anlagen gegründete Gesellschaft zur Gewährleistung der Schadensbekämpfung bei Unfällen oder Störfällen in kerntechnischen Anlagen und beim Transport radioaktiver Stoffe. Zur Eindämmung und Beseitigung der durch Unfälle oder Störfälle entstandenen Gefahren werden die erforderlichen speziellen Hilfsmittel und entsprechend ausgebildetes Personal vorgehalten.

#### Kerosin

Gemisch aus verschiedenen Kohlenwasserstoff-Verbindungen, Hauptanteil ist Dodekan; wird zur Verdünnung von Tributylphosphat im PUREX-Prozeß zur Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen eingesetzt.

#### 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

keV

Kiloelektronvolt;  $1 \text{ keV} = 1\,000 \text{ eV}$ ; →Elektronvolt.

KFÜ

→Kernreaktor-Fernüberwachungssystem.

KGR

Am Standort des Kernkraftwerks Greifswald bei Lubmin waren von 1973 bis Mitte 1990 fünf Druckwasserreaktoren sowjetischer Bauart mit einer elektrischen Leistung von je 440 MW in Betrieb:

- KGR-1: 03.12.1973 bis 18.12.1990, erzeugte elektrische Energie: 41 TWh,
- KGR-2: 03.12.1974 bis 14.02.1990, erzeugte elektrische Energie: 40 TWh,
- KGR-3: 06.10.1977 bis 28.02.1990, erzeugte elektrische Energie: 36 TWh,
- KGR-4: 22.07.1979 bis 02.06.1990, erzeugte elektrische Energie: 32 TWh,
- KGR-5: 26.03.1989 bis 30.11.1989, Probetrieb.

1990 waren noch drei weitere Blöcke gleicher Leistungsgröße im Bau. Aufgrund des gegenüber westlichen Standards festgestellten Sicherheitsdefizits wurden 1990 die Reaktoren 1 bis 5 außer Betrieb genommen und der Weiterbau der Blöcke 6 bis 8 eingestellt. Die Stilllegungsarbeiten für die Anlage haben am 30.06.1995 begonnen und sollen bis zum Jahr 2012 abgeschlossen sein.

KHG

→Kerntechnische Hilfsdienst GmbH.

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.

#### KKB

Kernkraftwerk Brunsbüttel/Elbe, Siedewasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 806 MW, nukleare Inbetriebnahme am 23.6.1976.

#### KKE

Kernkraftwerk Emsland in Lingen/Ems, Druckwasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 1 400 MW, nukleare Inbetriebnahme am 14.4.1988.

#### KKG

Kernkraftwerk Grafenrheinfeld/Main, Druckwasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 1 345 MW, nukleare Inbetriebnahme am 9.12.1981.

#### KKI-1

Kernkraftwerk Isar-1 in Essenbach/Isar, Block 1, Siedewasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 912 MW, nukleare Inbetriebnahme am 20.11.1977.

#### KKI-2

Kernkraftwerk Isar-2 in Essenbach/Isar, Block 2, Druckwasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 1 485 MW, nukleare Inbetriebnahme am 15.1.1988.

#### KKK

Kernkraftwerk Krümmel/Elbe, Siedewasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 1 402 MW, nukleare Inbetriebnahme am 14.9.1983.

#### KKN

Kernkraftwerk Niederaichbach/Isar, CO<sub>2</sub>-gekühlter, D<sub>2</sub>O-moderierter Druckröhrenreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 106 MW, nukleare Inbetriebnahme am 17.12.1972. Die Anlage wurde kurze Zeit danach aus wirtschaftlichen Gründen wegen der schnellen und erfolgreichen Entwicklung und Einführung der Baulinien der Druck- und Siedewasserreaktoren stillgelegt. Die Anlage wurde zunächst in den gesicherten Einschluss überführt. Am 6.6.1986 wurde die Genehmigung zur Beseitigung der Anlage erteilt. Am 17.8.1995 waren alle Abbauarbeiten abgeschlossen und damit für das erste Kernkraftwerk in Deutschland der Zustand der „grünen Wiese“ wieder hergestellt.

#### KKP-1

Kernkraftwerk Philippsburg/Rhein, Block 1, Siedewasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 926 MW, nukleare Inbetriebnahme am 9.3.1979.

#### KKP-2

Kernkraftwerk Philippsburg/Rhein, Block 2, Druckwasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 1 458 MW, nukleare Inbetriebnahme am 13.12.1984.

#### KKR

Kernkraftwerk Rheinsberg, Druckwasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 70 MW, als erstes Kernkraftwerk der ehemaligen DDR am 11.3.1966 in Betrieb genommen und am 01.06.1990 endgültig abgeschaltet. Mit der Stilllegung wurde am 28.04.1995 begonnen. Die kumulierte Stromerzeugung betrug 9 TWh.

#### KKS

Kernkraftwerk Stade/Elbe, Druckwasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 672 MW, nukleare Inbetriebnahme am 08.1.1972, am 14.11.2003 aus wirtschaftlichen Gründen endgültig abgeschaltet. Kumulierte Stromerzeugung 146 TWh. Am 7.9.2005 wurde die atomrechtliche Genehmigung für die Stilllegung erteilt.

#### KKU

Kernkraftwerk Unterweser in Rodenkirchen-Stadland/Weser, Druckwasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 1 410 MW, nukleare Inbetriebnahme am 16.9.1978.

#### KKW

Kernkraftwerk.

#### KKW-Nord

→KGR

#### KMK

Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich/Rhein, Druckwasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 1 308 MW, nukleare Inbetriebnahme am 1.3.1986. Formale Mängel der 1. Teilerrichtungsgenehmigung, die der Genehmigungsbehörde von den Gerichten angelastet wurden, führten zur Aufhebung der Betriebsgenehmigung und der Außerbetriebnahme am 9.8.1988. Am 16.7.2004 wurde die Genehmigung für die Stilllegung und die erste Abbauphase des Kernkraftwerks Mülheim-Kärlich erteilt.

#### KNK-II

Kompakte natriumgekühlte Kernreaktoranlage im Forschungszentrum Karlsruhe, schneller natriumgekühlter Reaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 21 MW. Der Reaktor wurde als thermischer Reaktor unter der Bezeichnung KNK-I in Betrieb genommen. Nach Umbau als schneller Reaktor unter der Bezeichnung KNK-II seit dem 10.10.1977 in Betrieb. Am 23.8.1991 endgültig abgeschaltet. Die Arbeiten zur Stilllegung haben am 26.8.1993 begonnen und sollen bis 2013 mit dem Zustand „grüne Wiese“ abgeschlossen sein.

#### Knochensucher

Ein Stoff, der im menschlichen und tierischen Körper bevorzugt in Knochen abgelagert wird. Bei radioaktiven Stoffen z. B. Sr-90 oder Ra.

#### Kohlenstoff-14

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 Jahresdosis beträgt 12  $\mu$ Sv.

#### Koinzidenz

Zeitlicher Zusammenfall zweier Ereignisse. Koinzidenz bedeutet nicht, dass zwei Ereignisse absolut gleichzeitig eintreten, sondern nur, dass beide Ereignisse innerhalb einer Zeit auftreten, die durch das zeitliche Auflösungsvermögen des Nachweisgerätes gegeben ist.

#### Kokille

In der Kerntechnik Bezeichnung für den Glasblock - einschließlich seiner gasdicht verschweißten Metallumhüllung aus korrosionsbeständigem Stahl – des verglasten hochradioaktiven Abfalls. Eine Kokille enthält etwa 400 kg Glasprodukt mit 16 % radioaktivem Abfall.

#### Kollektivdosis

Produkt aus der Anzahl der Personen der exponierten Bevölkerungsgruppe und der mittleren Dosis pro Person. 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.

#### 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.

#### 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. Klagen gegen diese Genehmigung wurden durch das Bundesverwaltungsgericht abgewiesen. Damit ist die Genehmigung zu Bau und Betrieb des Endlagers Konrad rechtskräftig. Die Zulassung des Hauptbetriebsplanes im Januar 2008 ermöglicht die Umrüstung der Schachtanlage Konrad zu einem Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle. Ab 2013 soll mit der Einlagerung radioaktiver Abfälle begonnen werden.

#### Kontamination

Unerwünschte Verunreinigung von Arbeitsflächen, Geräten, Räumen, Wasser, Luft usw. durch radioaktive Stoffe. →Dekontamination.

#### Kontrollbereich

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. Dabei sind die äußere und die innere Strahlenexposition zu berücksichtigen. 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. Kontrollbereiche sind abzugrenzen und zu kennzeichnen. Der Zutritt ist nur unter Beachtung besonderer Strahlenschutzvorschriften zulässig.

### Konversion

In der Kerntechnik wird der Begriff "Konversion" für verschiedene Vorgänge benutzt.

1. Umwandlung eines für den Einsatz in thermischen Reaktoren nicht geeigneten Nuklids in eine spaltbare Substanz, z. B.  $U-238 \Rightarrow Pu-239$  oder  $Th-232 \Rightarrow U-233$ . → Brutstoff.
2. Umwandlung von Uranoxid in  $UF_6$  (Uranhexafluorid). Diese leicht flüchtige Uranverbindung wird in Uran-Anreicherungsanlagen eingesetzt. Die Rückumwandlung von  $UF_6$  in  $UO_2$  (Urandioxid) wird ebenfalls als Konversion bezeichnet.
3. Der Begriff dient weiter der Bezeichnung der Umwandlung von waffenfähigen Materialien (waffenfähiges Plutonium, hochangereichertem Uran → HEU) in Kernbrennstoff für Kernreaktoren (→ LEU bzw. → MOX)

### Konversionselektron

Elektron, das aus der Atomhülle losgelöst wurde, indem die Energie eines vom selben Kern emittierten Gammaquants auf dieses Elektron übertragen wurde. Die kinetische Energie des Konversionselektrons ist gleich der Energie des Gammaquants, vermindert um die Bindungsenergie des Elektrons.

### Konversionskoeffizient, innerer

Quotient aus der Zahl der emittierten Konversionselektronen und der Zahl der emittierten, nicht konvertierten Gammaquanten.

### 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. → Brutreaktor.

### Körperbelastung

Die Körperbelastung ist die Aktivität eines bestimmten Radionuklids 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 eine während dieses Zeitraums stattfindende Aktivitätszufuhr bedingt ist.

### kosmische Strahlung

Strahlung, die direkt oder indirekt aus Quellen außerhalb der Erde herrührt. Die kosmische Strahlung ist Teil des natürlichen Strahlungsuntergrundes. Die durch die kosmische Strahlung hervorgerufene Dosis ist abhängig von der Höhe über dem Meer. In Meereshöhe beträgt sie 0,3 mSv pro Jahr, in 3 000 m Höhe etwa 1,2 mSv pro Jahr. Bei Flugreisen bewirkt die kosmische Strahlung eine zusätzliche Dosis, auf einem Flug Frankfurt - New York - Frankfurt etwa 0,1 mSv. → Strahlenexposition, kosmische.

### Kostenverordnung

Die Kostenverordnung zum Atomgesetz (AtKostV) vom 17. Dezember 1981, zuletzt geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 29. August 2008, 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.

### Kraft-Wärme-Kopplung

Gleichzeitige Erzeugung von elektrischer Energie und Prozeß- oder Fernwärme in einem Kraftwerk. Bei der Kraft-Wärme-Kopplung wird insgesamt ein höherer thermischer Wirkungsgrad erreicht als bei alleiniger Stromerzeugung. Die Kraft-Wärme-Kopplung setzt einen hohen Wärmebedarf in geringer Standortentfernung vom Kraftwerk voraus. Das Kernkraftwerk Stade liefert Prozessdampf für eine unmittelbar benachbarte chemische Fabrik.

### Kraftwerksleistung in der Bundesrepublik Deutschland

Die installierte Nettoleistung der Kraftwerke in Deutschland betrug 2008 rund 147 GW und die Nettostromerzeugung rund 600 Milliarden kWh. Die Tabelle zeigt den Anteil der einzelnen Energieträger an der installierten Kraftwerksleistung und den Beitrag zur Stromproduktion (Quelle: BDEW).

Kraftwerkstyp	Anteil an der installierten Leistung, %	Anteil an der Netto-Stromerzeugung, %
Steinkohle	19	19
Erdgas	16	14
Wind	16	7
Kernenergie	14	24
Braunkohle	14	23
Heizöl, Pumpspeicher, Sonstige	11	5
Wasser, Biomasse, sonstige Regenerative	10	8

### KRB-A

Kernkraftwerk Gundremmingen/Donau, Siedewasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 250 MW, nukleare Inbetriebnahme am 14.08.1966, am 13.1.1977 endgültig außer Betrieb genommen; kumulierte Stromerzeugung: 15 TWh. Die Stilllegung wurde am 26.5.1983 genehmigt.

### KRB-B

Kernkraftwerk Gundremmingen/Donau, Block B, Siedewasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 1 344 MW, nukleare Inbetriebnahme am 9.3.1984.

### KRB-C

Kernkraftwerk Gundremmingen/Donau, Block C, Siedewasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 1 344 MW, nukleare Inbetriebnahme am 26.10.1984.

### Kritikalität

Der Zustand eines Kernreaktors, in dem eine sich selbst erhaltende Kettenreaktion abläuft.

### Kritikalitätssicherheit

Sicherheit gegen unzulässiges Entstehen kritischer oder überkritischer Anordnungen oder Zuständen.

### 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.

## Kritikalitätsstörfall

Störfall als Folge des ungewollten Entstehens einer kritischen Anordnung spaltstoffhaltiger Bauteile. Ein Kritikalitätsstörfall hat im betroffenen Anlagenbereich kurzfristig eine hohe Gamma- und Neutronenstrahlung sowie eine Energiefreisetzung aus den Kernspaltungen zur Folge.

## kritisch

Ein Reaktor ist kritisch, wenn durch Kernspaltung ebenso viele Neutronen erzeugt werden wie durch Absorption im Brennstoff und Strukturmaterial und Ausfluss verloren gehen. Der kritische Zustand ist der normale Betriebszustand eines Reaktors.

## kritische Größe

Mindestabmessung einer Brennstoffanordnung, die bei bestimmter geometrischer Anordnung und Materialzusammensetzung →kritisch wird.

## kritische Masse

Kleinste Spaltstoffmasse, die unter festgelegten Bedingungen (Art des Spaltstoffs, Geometrie, moderiertes/unmoderiertes System etc.) eine sich selbsterhaltende 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	Stahl reflektiert kg
U-233	1,080	0,568	15,8	6,1
U-235	1,420	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-242m	0,042	0,020	8,8	3,0
Cm-243	0,280	0,127	8,4	3,1
Cm-244	-	-	26,6	13,2
Cm-245	0,116	0,054	9,1	3,5
Cm-247	4,060	2,180	6,9	2,8
Cf-249	0,129	0,060	5,9	2,4
Cf-251	0,048	0,025	5,5	2,3

Kleinste kritische Massen für einige Spaltstoffe unter bestimmten Randbedingungen

## kritisches Experiment

Experiment zur Bestätigung von Rechnungen im Hinblick auf die →kritische Größe und Masse sowie andere physikalische Daten, die die Reaktorkonstruktion beeinflussen.

## K-Strahlung

K-Strahlung ist die charakteristische Röntgenstrahlung, die beim Wiederauffüllen der K-Schale, z. B. nach einem →K-Einfang, ausgesandt wird. Die Wiederauffüllung einer inneren Schale kann auch strahlungslos

verlaufen; die freiwerdende Energie wird in diesem Fall auf ein Elektron einer weiter außen liegenden Schale übertragen, das die Atomhülle verlässt (Auger-Effekt).

#### KTA

Kerntechnischer Ausschuss. 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.

#### KTG

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

#### Kühlmittel

Jeder Stoff, der der Wärmeableitung in einem Kernreaktor dient. Übliche Kühlmittel sind leichtes und schweres Wasser, Kohlendioxid, Helium und flüssiges Natrium.

#### Kühlteich

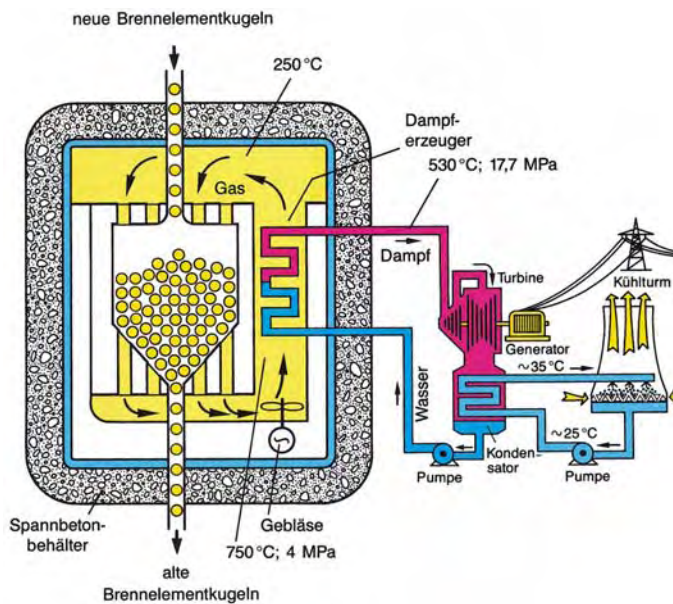
Nutzung künstlicher oder natürlicher Teiche oder Seen zur Wasserrückkühlung. Um bei Feuchtlufttemperaturen von 8 °C (12 °C trocken, relative Luftfeuchte 57 %) eine Kaltwassertemperatur von 21 °C halten zu können, ist für ein Kraftwerk mit einer elektrischen Leistung von 1 300 MW ein Teich mit etwa 10 km<sup>2</sup> Kühlfläche notwendig.

#### Kühlturm

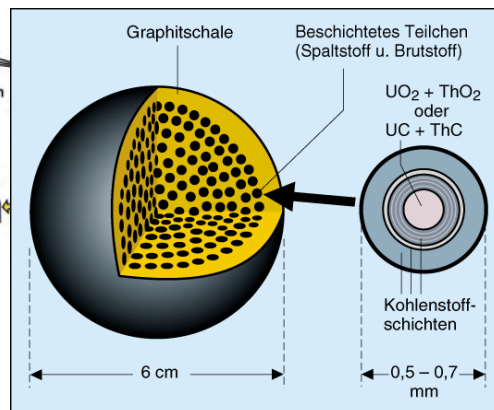
Turmartige Betonkonstruktion zur →Wasserrückkühlung. →Nasskühlturm, →Trockenkühlturm.

#### 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 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.



Kernkraftwerk mit Kugelhaufenreaktor



Schematische Darstellung der Brennstoffkugel des Kugelhaufen-Reaktors

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.

KWG

Kernkraftwerk Grohnde/Weser, Druckwasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 1 430 MW, nukleare Inbetriebnahme am 1.9.1984.

KWL

Kernkraftwerk Lingen/Ems, Siedewasserreaktor mit fossilem Überhitzer mit einer elektrischen Bruttoleistung von 240 MW (davon 82 MW aus fossilem Überhitzer). Nukleare Inbetriebnahme am 31.1.1968; am 5.1.1977 endgültig außer Betrieb genommen; kumulierte Stromerzeugung: 11 TWh. Seit dem 30.3.1988 befindet sich die Anlage im Zustand des „sicheren Einschuss“, der gemäß der Genehmigung auf 25 Jahre festgesetzt ist.

KWO

Kernkraftwerk Obrigheim/Neckar, Druckwasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 357 MW. Die nukleare Inbetriebnahme erfolgte am 22.9.1968. Nach fast 37jähriger Betriebszeit wurde KWO am 11.5.2005 um 7.58 Uhr endgültig abgeschaltet. Die kumulierte Stromproduktion betrug 86,821 TWh. Mit der Stilllegung wurde am 28.08.2008 begonnen.

KWW

Kernkraftwerk Würgassen/Weser, SWR, Bruttoleistung 670 MWe, nukleare Inbetriebnahme am 20.10.1971. Am 26.8.1994 endgültig abgeschaltet. Die kumulierte Stromerzeugung betrug 73 TWh. Beginn der Stilllegung am 14.4.1997.



## L

### Landessammelstelle

Einrichtungen der Bundesländer für die Sammlung und Zwischenlagerung der in ihrem Gebiet angefallenen radioaktiven Abfälle, soweit diese nicht aus Kernkraftwerken stammen.

### langlebige Radionuklide

Die Strahlenschutzverordnung definiert als langlebige Radionuklide radioaktive Stoffe mit einer Halbwertszeit von mehr als 100 Tagen.

### 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 Kurzeitausbreitungsfaktor in der Ausbreitungsrechnung ersetzt, wenn die Emission nicht länger als eine Stunde dauert.

### Lastbereiche von Kraftwerken

Die durch die Leistungsanforderungen der Stromverbraucher sich ergebende Netzbelastung muss über einen zeitlich angepassten Kraftwerksbetrieb gedeckt werden. Dabei unterscheidet man Grundlast, Mittellast und Spitzenlast. In diesen Bereichen werden die Kraftwerke je nach ihren betriebstechnischen und wirtschaftlichen Eigenschaften eingesetzt. Grundlast fahren die Laufwasser-, Braunkohle- und Kernkraftwerke, Mittellast die Steinkohlen- und Gaskraftwerke und Spitzenlast die Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke sowie Gasturbinenanlagen. Ein optimaler Betrieb ist unter den heutigen und absehbaren Gegebenheiten gesichert, wenn das Verhältnis der Kraftwerksleistung in der Grundlast einerseits und in der Mittel- und Spitzenlast andererseits 1:1 beträgt.

### LAVA

Anlage zur Lagerung der hochradioaktiven flüssigen radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung in der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe.

### LAW

Low active waste; schwach aktiver Abfall; üblicherweise mit einer Aktivitätskonzentration von weniger als  $10^{10}$  Bq/m<sup>3</sup>.

### LD<sub>50</sub>

→Letaldosis.

### Lebensdauer, mittlere

Auch kurz Lebensdauer 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  $\tau$  und der →Halbwertszeit  $T$  besteht die Beziehung:

$$\tau = T/\ln 2 \approx 1,44 \cdot T.$$

### Leichtwasserreaktor

Sammelbezeichnung für alle H<sub>2</sub>O-modierten 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 Steuerelemen-

ten 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, im Druckwasserreaktor im Dampferzeuger eines zweiten Kreislaufes. 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.

#### Leistung, spezifische

Thermische Leistung durch Kernspaltung in einem Raumbereich geteilt durch die Masse Schwermetall, die ursprünglich in diesem Raumbereich eingesetzt worden war. Typische Werte der mittleren spezifischen Leistung bei Vollast für einen Leichtwasserreaktor liegen zwischen 35 und 40 kW/kg.

#### 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 oder zur Ermittlung von Ortsdosisleistungen 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.

#### Leitungsverluste

Energieverluste, die durch den Transport der Energieträger zu den Verbrauchsorten entstehen.

#### Lepton

„Leichtes“ →Elementarteilchen. Zu den Leptonen gehören die Elementarteilchen, die nur der schwachen und der elektromagnetischen Wechselwirkung unterliegen. Zu den Leptonen gehören die Neutrinos, das Elektron, das Myon und das  $\tau$ -Teilchen.

#### LET

linear energy transfer; →linearer Energietransfer.

#### 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 1 % der bestrahlten Personen führt; entsprechend führt die  $LD_{99}$  bei allen (99 %) Bestrahlten zum Tod. Unter Berücksichtigung der Fortschritte der ärztlichen Versorgung 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.

#### LEU



engl. low enriched uranium, niedrig angereichertes Uran. Uran mit einer U-235-Anreicherung von weniger als 20 % wird als LEU bezeichnet. →HEU

### Linearbeschleuniger

Ein langes gerades Rohr, in dem Teilchen (meist Elektronen oder Protonen) durch elektrostatische Felder oder elektromagnetische Wellen beschleunigt werden und dadurch sehr hohe Energien erreichen (Stanford 2-miles Linac: 40 GeV Elektronen).

### linearer Energietransfer

Begriff aus der Dosimetrie ionisierender Strahlen, Energieabgabe eines ionisierenden Teilchens an die durchstrahlte Materie. Der lineare Energietransfer ist gleich der Energie  $dE$ , die ein geladenes Teilchen auf einer Wegstrecke  $d$  verliert.

$$L_{\infty} = \frac{dE}{dI}$$

Der lineare Energietransfer wird in  $\text{keV}/\mu\text{m}$  angegeben. Zwischen dem →Qualitätsfaktor  $Q(L)$  und dem unbeschränkten linearen Energietransfer  $L_{\infty}$  wurde folgende Beziehung festgelegt:

unbeschränkter linearer Energietransfer $L_{\infty}$ in Wasser, ( $\text{keV } \mu\text{m}^{-1}$ )	$Q(L)$
< 10	1
10 - 100	$0,32 L - 2,2$
> 100	$300 / \sqrt{L}$

Beziehung zwischen dem linearen Energietransfer und dem Qualitätsfaktor

### Linearverstärker

Impulsverstärker, dessen Ausgangsimpulsamplitude proportional der Amplitude des Eingangsimpulses ist.

### LOCA

Loss-of-Coolant Accident; Kühlmittelverlustunfall.

### Loop

Geschlossener Rohrkreislauf, der Materialien und Einzelteile zur Prüfung unter verschiedenen Bedingungen aufnehmen kann. Liegt ein Teil des Loops und seines Inhalts innerhalb eines Reaktors, spricht man von einem In-pile-loop.

### Lösungsmittelextraktion

Verfahren, bei dem Substanzen selektiv aus einem wässrigen Medium in ein mit diesem nicht mischbares organisches Lösungsmittel extrahiert werden. Das Verfahren der Lösungsmittelextraktion wird beim →PUREX-Verfahren zur Trennung der Spaltprodukte von Uran und Plutonium angewandt.

### LSC

liquid scintillation counter; Flüssigszintillationszähler. Strahlenmessgerät mit dem bevorzugt Radionuklide, die niederenergetische Beta-Strahlung emittieren, gemessen werden können wie z. B. Tritium, Kohlenstoff-14.

### LWR

→Leichtwasserreaktor.

## M

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. Überwiegend in Großbritannien gebauter Reaktortyp; z. B. Calder Hall, Chapelcross, Wylfa.

MAK

Maximale Arbeitsplatzkonzentration. Der MAK-Wert ist die höchstzulässige Konzentration eines Arbeitsstoffes 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 belastigt. 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 Gesundheitsschutzes, nicht die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten der Realisierung in der Praxis.

Manipulator

Mechanische und elektromechanische Geräte zur sicheren fernbedienten Handhabung radioaktiver Stoffe.

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.

Massendefekt

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 freigesetzten →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.

Massenspektrograph, Massenspektrometer

Geräte zur Isotopenanalyse und Bestimmung der Isotopenmasse durch elektrische und magnetische Separierung eines Ionenstrahls.

Massenzahl

Masse eines Atoms in Kernmasseneinheiten. →Nukleonenzahl.

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.

Materialbilanzzone

Begriff aus der Kernmaterialüberwachung. Sie bezeichnet einen räumlichen Bereich, der so geartet ist, dass die Kernmaterialmenge bei jeder Weitergabe und der Bestand an Kernmaterial in Übereinstimmung mit festgelegten Verfahren bestimmt werden kann, damit die Materialbilanz aufgestellt werden kann

Material, nicht nachgewiesenes

Begriff aus dem Bereich der Kernmaterialüberwachung. Differenz zwischen dem realen Bestand und dem Buchbestand an Kernmaterial. →MUF.

MAW

medium active waste; mittelradioaktiver Abfall, üblicherweise mit einer Aktivitätskonzentration von  $10^{10}$  bis  $10^{14}$  Bq/m<sup>3</sup>.

MBZ

→Materialbilanzzone.

mCi

Millicurie, Kurzzeichen mCi; eintausendstel Curie. →Curie.

μCi

Mikrocurie, Kurzzeichen μCi; einmillionstel Curie. →Curie.

Megawatt

Das millionenfache der Leistungseinheit Watt (W), Kurzzeichen: MW. 1 MW = 1000 kW = 1 000 000 W.

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.

MeV

Megaelektronvolt, 1 000 000 eV.

#### Mikrocurie

1 Mikrocurie ( $\mu\text{Ci}$ ) = 1/1 000 000 Ci. →Curie.

#### Millicurie

1 Millicurie (mCi)= 1/1 000 Ci. →Curie.

#### Millirem

1 Millirem (mrem) = 1/1 000 rem = 0,01 Millisievert (mSv). →Rem.

#### 30-Millirem-Konzept

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 Paragraph der Strahlenschutzverordnung legt folgende Dosisgrenzwerte im Kalenderjahr als Folge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser fest:

effektive Dosis	0,3 mSv,
Keimdrüsen, Gebärmutter, rotes Knochenmark	0,3 mSv,
alle anderen Organe	0,9 mSv,
Knochenoberfläche, Haut	1,8 mSv.

Von der früheren Doseinheit Millirem - 0,3 mSv sind gleich 30 Millirem - hat dieses Strahlenschutzkonzept seinen Namen.

#### Mischabsetzer

Extraktionsapparat. Zwei unterschiedlich schwere, nicht mischbare Flüssigkeiten (z. B. wässrige und organische Phase) werden mit Hilfe von Rührern gemischt, wobei bestimmte chemische Verbindungen von einer Flüssigkeitsphase in die andere übertreten. Anschließend setzen sich beide Flüssigkeiten durch natürliche Schwerkraft wieder ab.

#### Mischoxid

Oxidischer Kernbrennstoff aus einer Mischung von Uran und Plutonium (MOX).

#### Mittellastkraftwerk

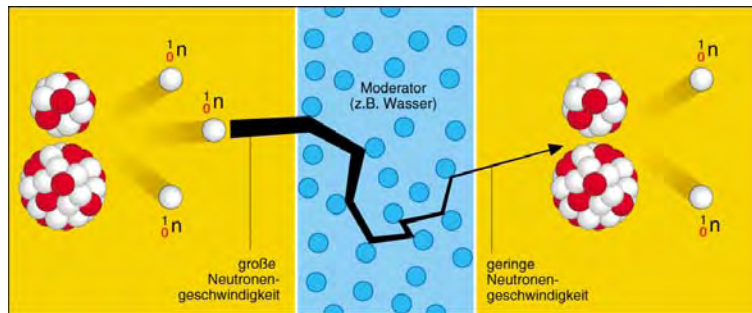
Kraftwerk der Elektrizitätsversorgung, das aufgrund seiner betriebstechnischen und wirtschaftlichen Eigenschaften zur Deckung der Mittelast eingesetzt wird. Mittellastkraftwerke sind Steinkohle- und Gaskraftwerke. →Lastbereich.

#### Mittelwertmesser

Gerät zur Anzeige der im zeitlichen Durchschnitt vorhandenen Impulsrate eines Zählgerätes.

#### Moderator

Material, mit dem schnelle Neutronen auf niedrige Energien „abgebremst“ werden, da bei niedrigen Neutronenenergien die Spaltung der U-235-Kerne mit besserer Ausbeute verläuft. U. a. werden leichtes Wasser, schweres Wasser und Graphit als Moderatoren verwendet.



Modelldarstellung der Wirkung eines Moderators

### Moderierung

Vorgang, bei dem die kinetische Energie der Neutronen durch Stöße ohne merkliche Absorptionsverluste vermindert wird. Die bei der Kernspaltung entstehenden energiereichen Neutronen mit Energien im Bereich von 1 MeV werden auf niedrigere Energien im Energiebereich der  $\rightarrow$ thermischen Neutronen (0,025 eV) gebracht, da sie in diesem Energiebereich mit größerer Wahrscheinlichkeit neue Spaltungen auslösen.

### Molekül

Eine durch chemische Kräfte 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.

### Monitor

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.

### Monte-Carlo-Methode

Statistisches Rechenverfahren, z. B. zur Berechnung der Neutronenflussverteilung bei Abbrand- und Abschirmrechnungen. Dabei wird die Lebensgeschichte einzelner, statistisch ausgewählter Neutronen 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.

### MOX

$\rightarrow$ Mischoxid

### mrem

Millirem, 1/1 000 rem.  $\rightarrow$ Rem

### Mülheim-Kärlich

Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich/Rhein, Druckwasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 1 308 MW, nukleare Inbetriebnahme am 1.3.1986; seit 1988 wegen Gerichtsverfahren über die Gültigkeit der 1.

Teil-Errichtungsgenehmigung nicht in Betrieb. Nach höchstrichterlicher Entscheidung von 1998 ist die Wiederinbetriebnahme unzulässig. Der Rückbau der Anlage soll bis 2012 abgeschlossen sein

#### MUF

**m**aterial **u**naccounted **f**or (nicht nachgewiesenes Material); Begriff aus dem Bereich der Kernmaterialüberwachung. MUF ist die Differenz zwischen dem realen Bestand und dem Buchbestand an Kernmaterial.

#### Multiplikationsfaktor

Verhältnis der Neutronenzahl in einer Neutronengeneration zur Neutronenzahl in der unmittelbar vorhergehenden Generation. →Kritikalität eines Reaktors tritt ein, wenn dieses Verhältnis gleich ist.

#### Mutternuklid

Radioaktives Nuklid, aus dem ein Nuklid (Tochternuklid) hervorgegangen ist; z. B. zerfällt Po-218 (Mutternuklid) zu Pb-214 (Tochternuklid).

#### MW

Megawatt, das millionenfache der Leistungseinheit Watt (W).  $1 \text{ MW} = 1\,000 \text{ kW} = 1\,000\,000 \text{ W}$ .

#### MWd

Megawatt-Tag;  $1 \text{ MWd} = 24\,000 \text{ kWh}$ . Bei vollständiger Spaltung von 1 g U-235 wird eine Energie von etwa 1 MWd frei.

#### MWd/t

Megawatt-Tag je Tonne; Einheit für die je Tonne Kernbrennstoff während der Einsatzzeit im Reaktor abgegebene thermische Energie. →Abbrand.

#### MWe

Megawatt elektrisch; elektrische Leistung eines Kraftwerkes in Megawatt. Die elektrische Leistung eines Kraftwerkes ist gleich der thermischen Gesamtleistung multipliziert mit dem Wirkungsgrad der Anlage. Der Wirkungsgrad bei Kraftwerken mit Leichtwasserreaktoren beträgt 33 bis 35 % gegenüber bis zu 40 % bei modernen kohle-, öl- oder gasgefeuerten Kraftwerken.

#### MWth

Megawatt thermisch; Gesamtleistung eines Kernreaktors in Megawatt. →MWe,

#### 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  $2,2 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ . Das Myon gehört zur Elementarteilchengruppe der Leptonen.

#### MZFR

Mehrzweckforschungsreaktor im Forschungszentrum Karlsruhe, Druckwasserreaktor (D<sub>2</sub>O-moderiert und -gekühlt) mit einer elektrischen Bruttoleistung von 58MW, nukleare Inbetriebnahme am 29.9.1965; am 3.5.1984 endgültig außer Betrieb genommen; kumulierte Stromerzeugung: 5 TWh. Die Stilllegung hat am 17.11.1987 begonnen, die Demontage soll im Jahr 2011 mit der vollständigen Beseitigung und Erreichen des Zustands „grüne Wiese“ abgeschlossen sein.

# N

## 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 in den 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 bei Kernstrahlungsmessungen. Der Zahlenwert der Nachweisgrenze gibt an, welcher kleinste Beitrag mit dem betrachteten Messverfahren bei vorgegebener Fehlerwahrscheinlichkeit noch nachgewiesen werden kann. 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:

Gamma-Ortsdosis:	0,1 mSv/Jahr,
Aerosole*:	0,4 mBq/m <sup>3</sup> ,
Niederschlag*:	0,05 Bq/l,
Bewuchs*:	0,5 Bq/kg,
pflanzliche Nahrungsmittel*:	0,2 Bq/kg,
pflanzliche Nahrungsmittel, Sr-90:	0,04 Bq/kg,
Milch, I-131:	0,01 Bq/l.

\* durch Gammaskopie ermittelte Aktivität einzelner Radionuklide, Nachweisgrenze bezogen auf Co-60

## Nassdampf

Gemisch aus Flüssigkeit und Dampf desselben Stoffes, wobei beide Sättigungstemperatur haben. Wird dem Nassdampf bei gleichbleibendem Druck weitere Wärme zugeführt, so bleibt die Temperatur so lange konstant, bis alle Flüssigkeit verdampft ist (Satttdampf); erst dann steigt die Temperatur über die Sättigungstemperatur (überhitzter Dampf, Heißdampf).

## Nasskühlturm

Kühlturm zur Rückkühlung von Wasser, bei dem das zu kühlende Wasser mit der Kühlluft in direkten Kontakt kommt und durch Verdunstung und Erwärmung der Luft an diese Wärme abgibt. Der zur Kühlung erforderliche Luftzug kann durch Ventilatoren oder durch die natürliche Kaminwirkung des Kühlturmbauwerkes (Naturzug-Kühlturm) bewirkt werden.

## Nasslager

Lagerung bestrahlter Brennelemente in Wasserbecken zur Kühlung und Abführung der durch den radioaktiven Zerfall in den Brennelementen entstehenden Nachwärme. →Trockenlager.

## 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 %).

### Naturzugkühlturm

→Nasskühlturm oder →Trockenkühlturm, der den natürlichen Zug (Kaminwirkung) des Kühlturms zur Abführung der Kühlluft ausnutzt. Naturzug-Nasskühltürme für eine Kühlleistung von einigen tausend MW haben etwa 150 m Höhe und 120 m Bodendurchmesser.

### nCi

Nanocurie, Kurzzeichen: nCi; ein milliardstel Curie. →Curie.

### NEA

Nuclear Energy Agency; Kernenergie-Agentur der OECD.

### 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. →Blasenkammer, →Funkenkammer.

### Neutrino

Gruppe elektrisch neutraler →Elementarteilchen mit einer Masse, die nahezu Null ist.

### Neutron

Ungeladenes →Elementarteilchen mit einer Masse von  $1,67492716 \cdot 10^{-27}$  kg und damit geringfügig größerer Masse als die des Protons. Das freie Neutron ist instabil und zerfällt mit einer Halbwertszeit von 11,5 Minuten.

### Neutron, langsames

Neutron, dessen kinetische Energie einen bestimmten Wert - häufig werden 10 eV gewählt - unterschreitet. →Neutronen, thermische.

### Neutron, mittelschnelles

Neutron mit einer Energie, die größer als die eines langsamen Neutrons, jedoch kleiner als die eines schnellen Neutrons ist; im Allgemeinen der Bereich zwischen 10 und 100 000 eV.

### Neutron, schnelles

Neutron mit einer kinetischen Energie von mehr als 0,1 MeV.

### Neutronen, epithermische

Neutronen, deren kinetische Energieverteilung die der thermischen Bewegung überschreitet. →Neutronen, thermische.

### Neutronen, prompte

Neutronen, die unmittelbar (innerhalb etwa  $10^{-14}$  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. Thermische Neutronen haben bei 293,6 K eine wahrscheinlichste Neutronengeschwindigkeit von 2200 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. Einheit:  $\text{cm}^{-3}$ .

### Neutronenflußdichte

Produkt aus Neutronenzahldichte und mittlerer Geschwindigkeit der Neutronen. Einheit:  $\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

### Neutronenquelle

Vorrichtung zur Erzeugung freier Neutronen.

### nichtenergetischer Verbrauch

Die Mengen an Kohlenwasserstoffen aus Öl, Kohle, Gas, die nicht zur Energieerzeugung - Wärme u. a. - genutzt werden, sondern zu Produkten, meist Kunststoffen und Chemikalien, verarbeitet werden.

### Nichtverbreitungsvertrag

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.

### Notkühlung

Kühlsystem eines Reaktors zur sicheren Abführung der Nachwärme bei Unterbrechung der Wärmeübertragung zwischen Reaktor und betrieblicher Wärmesenke. Die Notkühlssysteme sind so ausgelegt, dass auch bei Verlust des Reaktorkühlmittels - z. B. bei doppelendigem Bruch einer Frischdampfleitung - der Reaktor gekühlt und die Nachzerfallwärme 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.

### NPT

Non-Proliferation Treaty; Vertrag über die → Nichtverbreitung von Kernwaffen.

## nukleares Ereignis

Entsprechend der Definition des Atomgesetzes jedes einen Schaden verursachende Geschehnis, 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

Gemeinsame Bezeichnung für Proton und Neutron.

## Nukleonenzahl

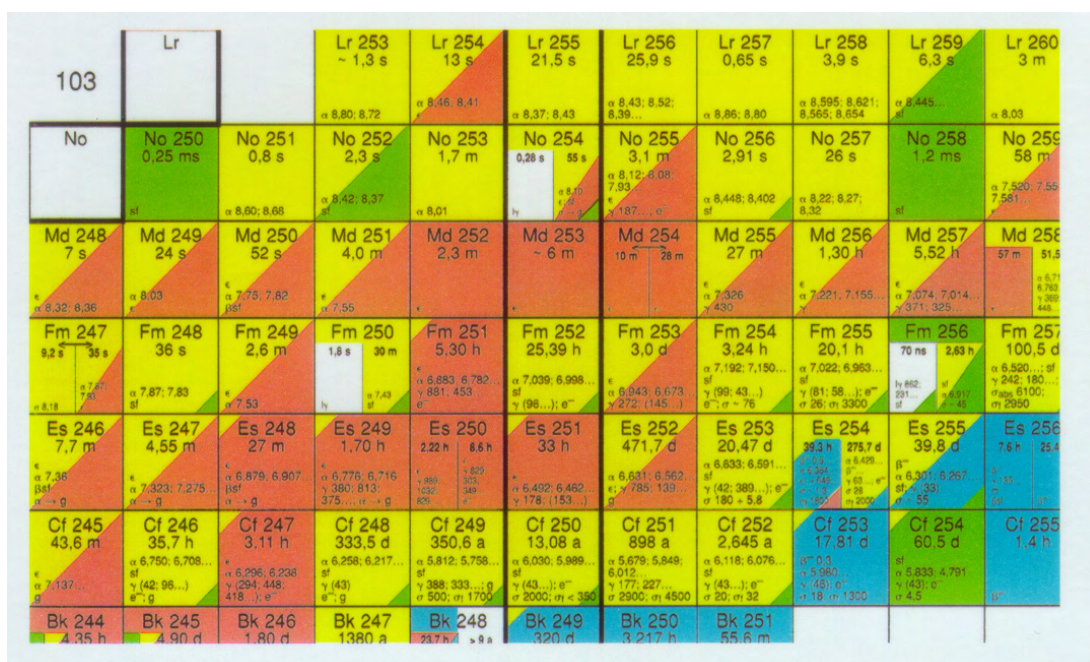
Anzahl der Protonen und Neutronen - der Nukleonen - in einem Atomkern. Die Nukleonenzahl des U-238 ist 238 (92 Protonen und 146 Neutronen).

## 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. Zur Zeit sind rund 4 000 verschiedene Nuklide und isomere Zustände bekannt, die sich auf die 118 zur Zeit bekannten Elemente verteilen. Davon sind über 3 700 Nuklide radioaktiv. →Radionuklide.

## 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. Bekannt ist die „Karlsruher Nuklidkarte“, die im Jahre 2006 in 7. Auflage erschienen ist und Angaben zu 2 962 experimentell beobachteten Nukliden und 692 isomere Zustände enthält



Ausschnitt aus der „Karlsruher Nuklidkarte“

### Nulleffekt

Anzahl der Impulse pro Zeit, die bei einem Strahlungsdetektor durch andere Ursachen als die zu messende Strahlung auftreten. Der Nulleffekt besteht im wesentlichen aus der kosmischen Strahlung und aus der Strahlung der natürlichen Radionuklide der Erde.

### Nulleistungsreaktor

Versuchsreaktor, der bei so niedriger Leistung betrieben wird, dass ein Kühlmittel nicht erforderlich ist.

### Nutzenergie

Der Teil der Endenergie, der beim Verbraucher nach der letzten Umwandlung tatsächlich für den jeweiligen Nutzungszweck zur Verfügung steht. Bei dieser letzten Umwandlung wird Strom zum Beispiel zu Licht, mechanischer Energie oder Heizwärme.

### Nutzstrahlbündel

Das aus einer Strahlenquelle, z. B. einer Röntgenröhre, austretende Strahlenbündel. Es wird normalerweise durch Blendenanordnungen auf die notwendige Größe begrenzt.

### Nutzungsgrad

Anders als der Wirkungsgrad, der die aufgewendete Energie mit der nutzbaren Energie über einen kurzen Zeitraum vergleicht, setzt man beim Nutzungsgrad beides über einen langen Zeitraum ins Verhältnis. So kann eine Ölheizung einen Wirkungsgrad von 90 % haben, der bei Nennlast erreicht wird. Bei nur teilweiser Auslastung in der Übergangszeit (z. B. Sommer) treten höhere Stillstandsverluste auf, so dass sich ein Nutzungsgrad über das ganze Jahr von nur 65 % ergibt.

### NV-Vertrag

→Nichtverbreitungsvertrag, auch Atomwaffensperrvertrag genannt.



### Oberflächen-Personendosis

Die Oberflächen-Personendosis  $H_p(0,07)$  ist die Äquivalentdosis in 0,07 mm Tiefe im Körper an der Tragestelle des Personendosimeters. →Dosis.

### 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.

### 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 verminderten U-235-Gehalts im Natururan eine sich selbst erhaltende Kettenreaktion stattgefunden haben muss. Für die Stelle Oklo II errechnet sich aus der Anreicherung 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 MWe-Klasse werden pro Jahr etwa 30 Mrd. kWh Wärme durch Spaltung erzeugt.

### 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.

### Ordnungszahl

Anzahl der Protonen in einem Atomkern. Jedes chemische Element ist 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 Organ-Energiedosis  $D_{T,R}$  erzeugt durch die Strahlung  $R$  und dem →Strahlungs-Wichtungsfaktor  $w_R$ .

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

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:

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

### 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 zu Grunde zu legen.

Die Einheit der Organ-Folgedosis ist das Sievert (Einheitenzeichen: Sv).

#### Ortsdosis

Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einem bestimmten Ort. Die Ortsdosis bei durchdringender Strahlung ist die →Umgebungs-Äquivalentdosis  $H^*(10)$ , bei Strahlung geringer Eindringtiefe die →Richtungs-Äquivalentdosis  $H'(0,07, \Omega)$ . 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.

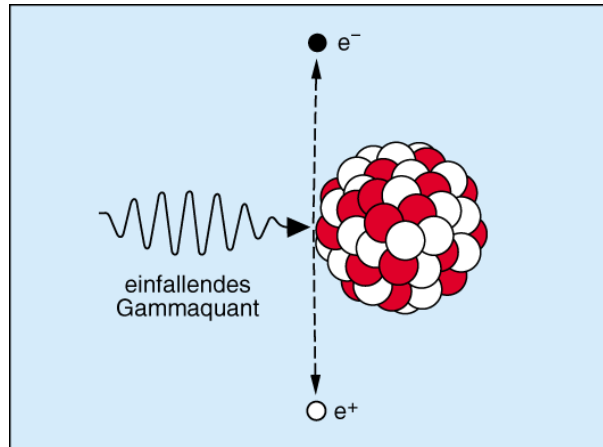
#### „Otto Hahn“

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 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 unter neuem Namen wieder in Dienst gestellt.

## P

### 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 ( $m_{e,0} = 0,511 \text{ MeV}$ ), besteht die Möglichkeit zur Erzeugung eines Elektron-Positron-Paares (Materialisation von Energie).



Paarbildung; Erzeugung eines Elektron-Positron-Paares aus einem energiereichen Gammaquant

### Pariser Übereinkommen

→ Atomhaftungs-Übereinkommen.

### 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.

### Periodensystem

Ordnungssystem der Elemente nach steigender Ordnungszahl. Einteilung entsprechend der Elektronenkonfiguration der Atomhülle in „Perioden“. Durch das gewählte Ordnungsschema stehen chemisch ähnliche Elemente in „Gruppen“ (Haupt- und Nebengruppen) untereinander.

### Personendosis

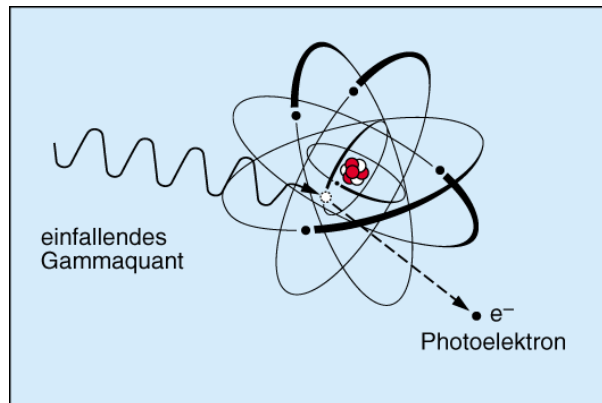
Die Strahlenschutzverordnung fordert zur Ermittlung der Körperdosis die Messung der Personendosis. Personendosis ist die Äquivalentdosis, gemessen in den Messgrößen der → Tiefen-Personendosis und der → Oberflächen-Personendosis an einer für die Strahlenexposition repräsentativen Stelle der Körperoberfläche. Die Tiefen-Personendosis ist bei einer Ganzkörperexposition mit durchdringender Strahlung ein Schätzwert für die effektive Dosis und die Organdosen tiefliegender Organe und die Oberflächen-Personendosis ein Schätzwert für die Hautdosis. → Dosis.

### 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 zeigen z. B. diesen Photolumineszenzeffekt. Die Intensität des Fluoreszenzlichtes ist in weiten Bereichen der eingestrahlten Dosis proportional.

## Photo-Effekt

Wechselwirkung von Röntgen- und Gammastrahlung mit Materie. Das Röntgen- oder Gammaquant überträgt seine Energie an ein Hüllelektron des Atoms. Das Elektron erhält hierbei kinetische Energie, die gleich der Energie des Quants, vermindert um die Bindungsenergie des Elektrons ist.



Photoeffekt

## Photokathode

Kathode, in der Elektronen durch den photoelektrischen Effekt ausgelöst werden.

## Photon

Energiequant der elektromagnetischen Strahlung. Die Ruhemasse des Photons ist Null. Es hat keine elektrische Ladung. →Elementarteilchen.

## PHWR

Pressurized Heavy Water Reactor; Schwerwasser-Druckwasserreaktor, Beispiel: Atucha, Argentinien, 367 MWe.

## Pi-Meson

→Pion, →Elementarteilchen.

## 2 Pi-Zähler, 4 Pi-Zähler

Strahlungsdetektor, der es ermöglicht, über einen Raumwinkel von  $2\pi$  oder  $4\pi$  die Strahlung einer radioaktiven Quelle zu erfassen.

## Pinch-Effekt

Effekt in kontrollierten Fusionsversuchen, bei dem ein durch eine Plasmasäule fließender elektrischer Strom das Plasma einschnürt, komprimiert und damit aufheizt.

## Pion

Kurzlebiges Elementarteilchen; Kurzform für Pi-Meson. Die Masse eines geladenen Pions ist rund 273 mal so groß wie die eines Elektrons. Ein elektrisch neutrales Pion hat eine Masse, die das 264-fache der Elektronenmasse beträgt. →Elementarteilchen.

## Plasma

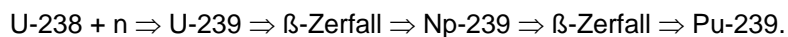
Insgesamt elektrisch neutrales Gasgemisch aus Ionen, Elektronen und neutralen Teilchen. Hochtemperatur-Wasserstoffplasmen dienen als Brennstoff in Versuchen zur kontrollierten →Fusion.

## Plateau

Der Teil einer Zählrohrcharakteristik, in dem sich die Zählrate bei Spannungsschwankungen nur geringfügig ändert.

## Plutonium

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 24 110 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 Himmelskörpern Neptun und Pluto. Plutonium entsteht durch Neutroneneinfang in Uran-238 und zwei darauf folgende Betazerfälle nach folgendem Schema:



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 sechs 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.

## 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 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.

## Pollux

Behälter zur direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente. Namensgebung in bezug auf → Castor® (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 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.

## 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.



ppb

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.

### Primärenergie

Energierohstoffe in ihrer natürlichen Form vor jeglicher technischen Umwandlung. Das sind beispielsweise Steinkohlen, Braunkohle, Erdöl, Erdgas, Uran, Wasser, Sonnenstrahlung.

### Primärenergiereserven

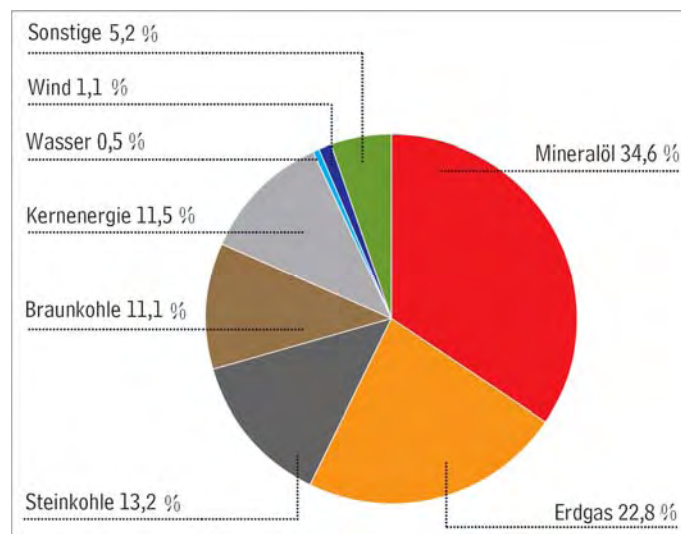
Mit Reserven wird der wirtschaftlich nutzbare Teil der Energievorräte bezeichnet. Der derzeit nicht wirtschaftlich nutzbare Teil der Energievorräte wird als Ressourcen bezeichnet. Die Weltenergiereserven betragen insgesamt über 1 200 Milliarden Tonnen Steinkohleeinheiten. Die Tabelle zeigt die Verteilung auf die verschiedenen Energieträger und Weltregionen.

	Gas	Uran (80 \$/kg)	Kohle	Rohöl	Ölschiefer, Ölsande
OECD	19	15	261	19	69
OPEC	77	-	-	153	
Osteuropa, China	76	6	260	16	11
übrige	13	7	164	12	46
Welt	185	28	685	200	126

Weltenergiereserven in Milliarden Tonnen Steinkohleeinheiten

### Primärenergieverbrauch, Deutschland

Als Primärenergie werden die am Anfang der Energieumwandlungsketten stehenden Energieträger bezeichnet. Der gesamte Primärenergieverbrauch in Deutschland betrug im Jahr 2008 insgesamt 480 Mio. t Steinkohleeinheiten. Der Primärenergieverbrauch teilte sich folgendermaßen auf:



Primärenergieverbrauch nach Energieträgern, Deutschland, 2008  
(Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen)

## Primärkühlkreislauf

Umlaufsystem für das → Primärkühlmittel.

## Primärkühlmittel

Kühlmittel, das zum Abführen der Wärme aus der Spaltzone des Reaktors dient. → Sekundärkühlmittel.

## 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.

## Proportionalzähler

Nachweisgerät für ionisierende Strahlen. Der Proportionalzähler liefert zur primären Ionisation proportionale Ausgangsimpulse, so dass Alpha- und Betastrahlen infolge ihrer unterschiedlichen spezifischen Ionisation getrennt nachgewiesen werden können. Der Proportionalzähler ermöglicht eine Energiebestimmung der Strahlung.

## Proton

Elementarteilchen mit einer positiven elektrischen Elementarladung und einer Masse von  $1,67262158 \cdot 10^{-24}$  g, das entspricht rund dem 1836fachen der Elektronenmasse. Protonen und Neutronen bilden zusammen den Atomkern. Die Zahl der Protonen im Atomkern bestimmt das chemische Element, dem dieses Atom zugeordnet ist. → Elementarteilchen.

## 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.

## Pulsreaktor

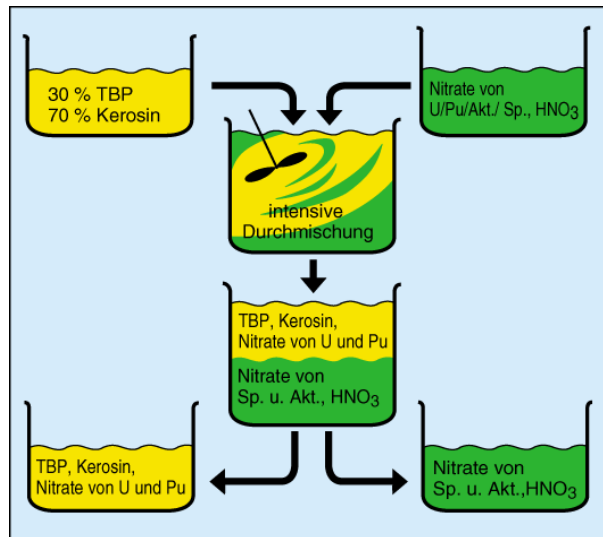
Typ eines Forschungsreaktors, mit dem kurze, intensive Leistungs- und Strahlungsstöße erzeugt werden können. Die Neutronenflußdichte ist in einem solchen Puls viel höher, als sie im stationären Zustand erzielt werden könnte. Beispiel: FRMZ, Forschungsreaktor der Uni Mainz, Typ TRIGA-Mark-II; Pulsleistung 250 MW, Dauerleistung 0,1 MW.

## PUREX

**P**lутonium 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 Lösungsmittelextraktion - 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

PWR

Pressurized Water Reactor; →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 Energieverteilung im zellulären Bereich im bestrahlten Körper. Der Qualitätsfaktor  $Q$  ist eine Funktion des linearen Energietransfers  $L$ . Zwischen dem Qualitätsfaktor und dem unbeschränkter linearer Energietransfer  $L$  wurde folgende Beziehung festgelegt:

unbeschränkter linearer Energietransfer $L$ in Wasser (keV $\mu\text{m}^{-1}$ )	$Q(L)$
$L \leq 10$	1
$10 < L < 100$	$0,32 L - 2,2$
$L \geq 100$	$300 / \sqrt{L}$

Beziehung zwischen linearem Energietransfer und Qualitätsfaktor

### Qualitätsfaktor, effektiver

In der Strahlenschutzverordnung von 1989 wurde statt des  $\rightarrow$ Strahlungs-Wichtungsfaktors der Qualitätsfaktor  $Q$  oder der effektive Qualitätsfaktor  $Q_{eff}$  benutzt. Der effektive Qualitätsfaktor dient der Berücksichtigung der von der Strahlenart abhängigen Wahrscheinlichkeit stochastischer Strahlenwirkungen. Die Werte des effektiven Qualitätsfaktors  $Q_{eff}$  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 können die folgenden Werte des effektiven Qualitätsfaktors  $Q_{eff}$  benutzt werden.

Strahlung	$Q_{eff}$
Röntgen- und Gammastrahlung, Betastrahlung, Elektronen, Positronen	1
Neutronen nicht bekannter Energie	10
Alphastrahlung	20

Effektiver Qualitätsfaktor, Strahlenschutzverordnung von 1989

### Qualitätssicherung

Zur Genehmigung kerntechnischer Anlagen ist die Sicherung der Qualität der zum Bau verwendeten Materialien, Apparate, Behälter, Rohrleitungen u. a. unbedingte Voraussetzung. Die vom Genehmigungsgeber geforderten Maßnahmen werden in einem Qualitätsprogramm erfasst. Vor-, Bau- und Abnahmeprüfungen erfolgen durch unabhängige Sachverständige.

### Quellhöhe

Die 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).

# R

R

Einheitenkurzzeichen für →Röntgen.

rad

Einheitenkurzzeichen für →Rad.

Rad

Frühere Einheit der Energiedosis (Rad: radiation absorbed dose); Einheitenkurzzeichen: 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 Einheitennamen Gray, Kurzzeichen: Gy.  $1 \text{ rd} = 1/100 \text{ Gy}$ .

radioaktive Stoffe

Radioaktive Stoffe im Sinne des Atomgesetz 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) Stoffen, 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.

radioaktives Isotop

Synonym für →Radionuklid.

Radioaktivität

Eigenschaft bestimmter Stoffe, sich ohne äußere Einwirkung 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 millionstel Sekunden (Po-212) bekannt. Charakteristisch sind auch die beim Zerfall emittierte Strahlung und ihre Energie. So zerfällt Radium-226 unter Aussendung von Alphastrahlen, während Iod-131 Betastrahlen emittiert.

Radioaktivität, induzierte

Radioaktivität, die durch Bestrahlung, z. B. mit Neutronen, erzeugt wird.

Radioaktivität, natürliche

Natürlich vorkommende Nuklide, die radioaktiv sind. Man unterscheidet zwischen natürlichen Radionukliden, die durch Kernreaktionen der kosmischen Strahlung ständig neu gebildet werden, kosmogenen Radionukliden (→Radionuklide, kosmogene) und primordialen (uranfänglichen) 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 der zugehörigen →Zerfallsreihe.

Nuklid	Aktivität in Bq
H-3	25
Be-7	25
C-14	3.800
K-40	4.200
Rb-87	650
U-238, Th-234, Pa-234m, U-234	4
Th-230	0,4
Ra-226	1
kurzlebige Rn-222-Zerfallsprodukte	15
Pb-210, Bi-210, Po-210	60
Th-232	0,1
Ra-228, Ac-228, Th-228, Ra-224	1,5
kurzlebige Rn-220-Zerfallsprodukte	30

Natürliche radioaktive Stoffe im Menschen

Radiochemie

Teilgebiet der Chemie, das sich mit Reaktionen, Synthesen und Analysen befasst, bei denen Reaktionspartner radioaktiv sind. →Kernchemie.

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, die die beim radioaktiven Zerfall freigesetzte Wärme direkt in elektrische Energie umwandelt. Solche Generatoren arbeiten mit thermoelektrischen oder thermionischen Konvertern. Einsatz z. B. als Energiequelle bei sonnenfernen Raummissionen.

## 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.

## Radiokohlenstoff

→Kohlenstoff-14.

## Radiolyse

Dissoziation von Molekülen durch Strahlung. Beispiel: Wasser dissoziiert unter Strahleneinwirkung in Wasserstoff und Sauerstoff.

## Radionuklid

Instabiles Nuklid, das spontan ohne äußere Einwirkung unter Strahlungsemission zerfällt. Über 2 750 natürliche und künstliche Radionuklide sind bekannt.

## Radionuklide, kosmogene

Viele kosmogene Radionuklide entstehen durch Kernreaktionen der energiereichen kosmischen Strahlung mit den Atomkernen der Erdatmosphäre. Ein weiterer Anteil auf der Erde vorhandener kosmogener Radionuklide stammt aus Kernreaktionen der kosmischen Strahlung mit extraterrestrischer Materie, die als in der Atmosphäre verglühende Meteore oder als feste Meteoriten die Erde erreicht hat.

Radionuklid	Halbwertszeit	Radionuklid	Halbwertszeit	Radionuklid	Halbwertszeit
H-3	12,323 a	Si-32	172 a	Mn-53	$3,7 \cdot 10^6$ a
Be-7	53,3 d	P-32	14,3 d	Mn-54	312 d
Be-10	$1,6 \cdot 10^6$ a	S-35	87,5 d	Fe-55	2,73 a
C-14	5730 a	S-38	2,8 h	Fe-60	$1,5 \cdot 10^6$ a
Na-22	2,60 a	Cl-36	$3,0 \cdot 10^5$ a	Co-60	5,27 a
Na-24	15 h	Ar-39	269 a	Ni-59	$7,5 \cdot 10^4$ a
Al-26	$7,2 \cdot 10^5$ a	Ar-42	33 a	Ni-63	100 a
Mg-28	20,9 h	Ca-41	$1,0 \cdot 10^5$ a	Kr-85	10,7 a
Si-31	2,6 h	Ti-44	60,4 a	I-129	$1,6 \cdot 10^7$ a

kosmogene Radionuklide

## Radionuklide, primordiale

Uranfängliche Radionuklide, die seit Entstehen der Erde vorhanden sind und aufgrund ihrer langen Halbwertszeit noch nicht vollständig zerfallen sind, sowie die aus den primordialen Radionukliden U-238, U-235 und Th-232 entstehenden Radionuklide der zugehörigen →Zerfallsreihen.

Nuklid	Halbwertszeit Jahre	Nuklid	Halbwertszeit Jahre
K-40	$1,3 \cdot 10^9$	La-138	$1,1 \cdot 10^{11}$
V-50	$1,4 \cdot 10^{17}$	Nd-144	$2,3 \cdot 10^{15}$
Ge-76	$1,5 \cdot 10^{21}$	Nd-150	$1,7 \cdot 10^{19}$
Se-82	$1,0 \cdot 10^{20}$	Sm-147	$1,1 \cdot 10^{11}$
Rb-87	$4,8 \cdot 10^{10}$	Sm-148	$7,0 \cdot 10^{15}$
Zr-96	$3,9 \cdot 10^{19}$	Gd-152	$1,1 \cdot 10^{14}$

Nuklid	Halbwertszeit Jahre	Nuklid	Halbwertszeit Jahre
Mo-100	$1,2 \cdot 10^{19}$	Lu-176	$2,6 \cdot 10^{10}$
Cd-113	$9,0 \cdot 10^{15}$	Hf-174	$2,0 \cdot 10^{15}$
Cd-119	$2,6 \cdot 10^{19}$	Ta-180	$1,2 \cdot 10^{15}$
In-115	$4,4 \cdot 10^{14}$	Re-187	$5,0 \cdot 10^{10}$
Te-123	$1,2 \cdot 10^{13}$	Os-186	$2,0 \cdot 10^{15}$
Te-128	$7,2 \cdot 10^{24}$	Pt-190	$6,5 \cdot 10^{11}$
Te-130	$2,7 \cdot 10^{21}$	Bi-209	$1,9 \cdot 10^{19}$

Primordiale Radionuklide außerhalb von Zerfallsreihen

### 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.

### 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 eingestrahelten Dosis proportional. → Phosphatglasdosimeter.

### Radiotoxizität

Maß für die Gesundheitsschädlichkeit eines Radionuklids. Strahlenart, Strahlenenergie, Resorption im Organismus, Verweildauer im Körper usw. beeinflussen den Grad der Radiotoxizität eines Radionuklids.

### 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.

### Radon

Aufgrund der sehr großen Halbwertszeiten enthält die Erdkruste seit ihrer Entstehung u. a. die Radionuklide Uran-238, Uran-235, 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 bodennahen Atmosphäre 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  $15 \text{ Bq/m}^3$  und in Gebäuden rund  $60 \text{ Bq/m}^3$ . Radonkonzentrationen in Erdgeschosswohnräumen auch oberhalb  $200 \text{ Bq/m}^3$  sind nicht ungewöhnlich. 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. Radon und seine kurzlebigen Zerfallsprodukte verursachen mit 1,1 Millisievert pro Jahr mehr als die Hälfte der gesamten effektiven Dosis durch natürliche Strahlenquellen.



## Rasmussen-Bericht

Nach dem Leiter der Arbeitsgruppe, die in den USA die Reactor-Safety-Study (WASH-1400) erstellte, benannte Reaktorsicherheitsstudie. →Risikostudie.

## Ratemeter

→Mittelwertmesser.

## RBMK

In lateinische Schrift transkribierte Bezeichnung für einen russischen Reaktortyp: **Реактор Большой Мощности Канальный** (reaktor balschoi moschnosti kanalnoi, Hochleistungs-Reaktor 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.

## RBW

→relative biologische Wirksamkeit.

## rd

Einheitenkurzzeichen für →Rad.

## RDB

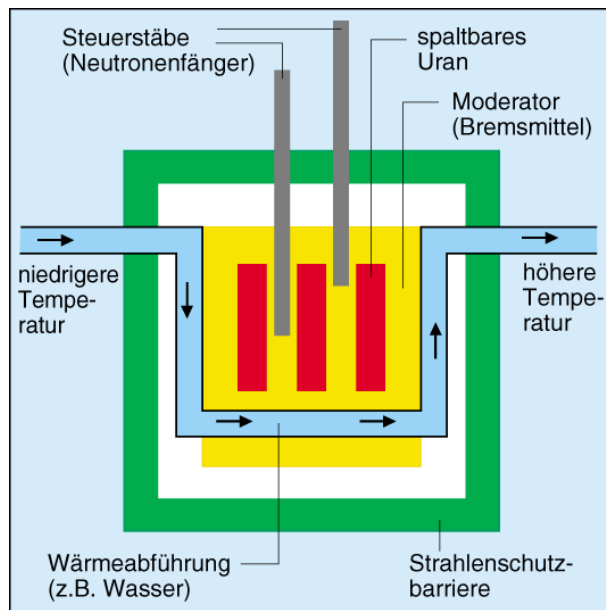
→Reaktordruckbehälter.

## Reaktivität

Maß für das Abweichen eines Reaktors vom kritischen Zustand. 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 →Kernbrennstoff. Ein Reaktor hat im allgemeinen einen →Moderator, eine Abschirmung und Regelvorrichtungen. Reaktoren werden zu Forschungszwecken oder zur Leistungserzeugung errichtet. Reaktoren, bei denen die Kettenreaktion durch thermische Neutronen (→Neutronen, thermische) aufrecht erhalten wird, werden thermische Reaktoren genannt; wird die Kettenreaktion durch schnelle Neutronen aufrechterhalten, spricht man von schnellen Reaktoren. Der erste Reaktor (→CP 1) wurde am 2. Dezember 1942 durch eine Forschergruppe unter der Leitung von Fermi in Betrieb genommen. →Druckwasserreaktor, →Siedewasserreaktor.



Reaktoraufbau, Prinzip

#### Reaktor, gasgekühlter

Kernreaktor, dessen Kühlmittel ein Gas ist (Kohlendioxid, Helium). Die AGR-Anlagen 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.

#### Reaktor, thermischer

Kernreaktor, in dem die Spaltungskettenreaktion durch thermische Neutronen aufrechterhalten wird. Die meisten existierenden Reaktoren sind als thermische Reaktoren konstruiert.

#### 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.

#### Reaktordruckgefäß

→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 schnelle 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.

## 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 entsprechend der Satzung vom 22.12.1998 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.

## Reaktorsteuerung

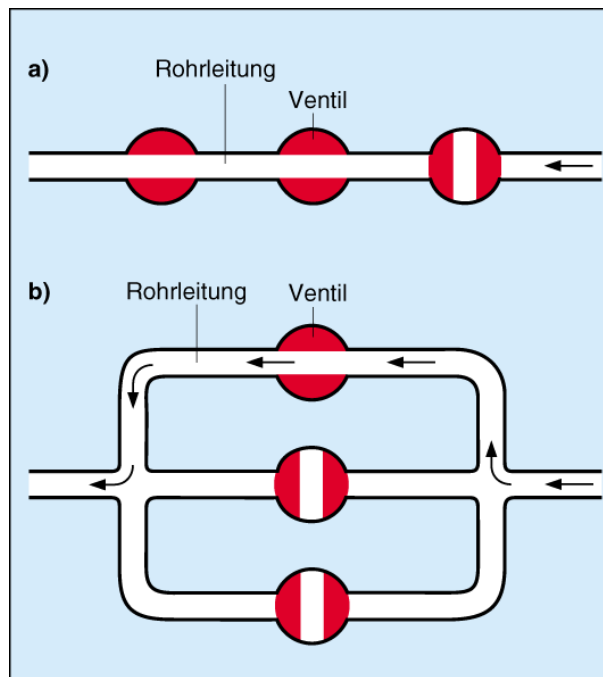
Einstellen der  $\rightarrow$ Reaktivität zum Erreichen oder Einhalten eines gewünschten Betriebszustandes.

## Reaktortypen, weltweit

$\rightarrow$ Kernkraftwerke, weltweit, Reaktortypen

## 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.  $\rightarrow$ Diversität.



Prinzipdarstellung der Redundanz für die Schließfunktion (a) und Öffnungsfunktion (b) von Ventilen in einer Rohrleitung

#### Referenzschwelle

Wert einer Größe der Äquivalentdosis, der Aktivitätszufuhr oder der Kontamination, bei dessen Überschreitung bestimmte Handlungen oder Maßnahmen erforderlich werden.

#### 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.).

#### Reinelement

Chemisches Element, das nur aus einem stabilen Isotop besteht; z. B. Fluor, Aluminium, Gold.

#### relative biologische Wirksamkeit

Für einen bestimmten lebenden Organismus oder Teil eines Organismus das Verhältnis der Energiedosis einer Referenzstrahlung (meist 200 kV Röntgenstrahlen), die eine bestimmte biologische Wirkung erzeugt, zu der Energiedosis der betreffenden Strahlung, die die gleiche biologische Wirkung erzeugt. Der Begriff sollte nur in der Radiobiologie und nicht im Strahlenschutz verwendet werden.

#### 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 Einheitenamen  $\rightarrow$  Sievert.  $1 \text{ rem} = 1/100 \text{ Sv}$ .

## Reprocessing

→Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen.

## Restrisiko

Nicht näher zu definierendes, noch verbleibendes Risiko nach Beseitigung bzw. Berücksichtigung aller denkbaren quantifizierten Risiken bei einer Risikobetrachtung.

## Richtungs-Äquivalentdosis

Die Richtungs-Äquivalentdosis  $H'(0,07, \Omega)$  am interessierenden Punkt im tatsächlichen 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. Ein aufgeweitetes Strahlungsfeld ist ein idealisiertes Strahlungsfeld, in dem die Teilchenflussdichte und die Energie- und Richtungsverteilung der Strahlung an allen Punkten eines ausreichend großen Volumens die gleichen Werte aufweisen wie das tatsächliche Strahlungsfeld am interessierenden Punkt.

## Ringspalt

Raum zwischen den beiden Teilen eines Doppelcontainments (Sicherheitsbehälter), der unter Unterdruck gehalten wird. Bei Undichtigkeiten im inneren Containment in den Ringraum eindringende radioaktive Stoffe werden abgesaugt und entweder in das innere Containment zurückgepumpt oder gefiltert und kontrolliert über den Abluftkamin abgegeben.

## Risiko

Als Risiko wird insbesondere bei Risikovergleichen häufig die Multiplikation von Schadensumfang (welche Folgen?) mit der Eintrittshäufigkeit (wie oft kommt der Unfall vor?) definiert. Eine Technik mit häufig eintretenden Unfällen, aber geringen Folgen (z. B. Auto), kann risikoreicher sein als eine Technik mit seltenen, aber schweren Unfällen (Flugzeug). Diese Risikogröße ist der Maßstab, mit dem mögliche Folgen einer Technologie abgeschätzt bzw. die Folgen verschiedener Technologien verglichen werden.

## 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, wieweit 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.

## Röntgen

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 ( $1,293 \text{ mg}$  Luft) eine Ionenmenge von einer elektrostatischen Ladungseinheit erzeugt wurde. Die neue Einheit der Ionendosis ist Coulomb durch Kilogramm (C/kg).  $1 \text{ R} = 258 \text{ } \mu\text{C/kg}$ ;  $1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ R}$ .

## 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.

## Röntgenbehandlungen

Bestrahlungen des lebenden menschlichen oder tierischen Körpers oder einer Sache mit Röntgenstrahlen, um deren Beschaffenheit, Zustand oder Funktionen zu beeinflussen.

## Röntgendiagnostik

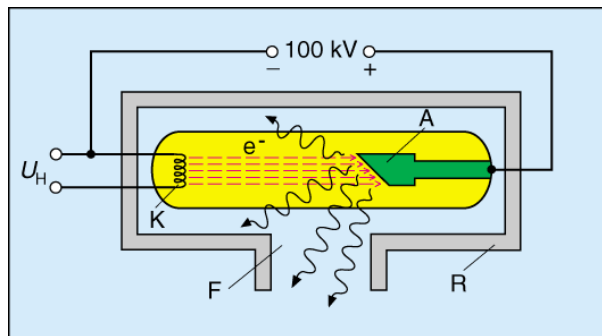
Zweig der Radiologie, der sich mit Röntgenuntersuchungen d. h. Röntgenaufnahmen und Röntgendurchleuchtungen zum Zweck der Diagnosestellung beschäftigt.

## 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.

## 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 geschossen. Die dabei entstehende Bremsstrahlung nennt man Röntgenstrahlung.



Vereinfachte Schnittzeichnung einer Röntgenröhre ( $U_H$ : Heizspannung, K: Kathode, A: Anode, e: aus der Kathode austretende und zur Anode beschleunigte Elektronen, R: Röhrenabschirmung, F: Strahlungsaustrittsfenster)

## Röntgenverordnung

Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - RöV) vom 8. Januar 1987, 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

→Röntgenverordnung.

## RSK

→Reaktorsicherheitskommission.

## Rückkühlanlagen

Kühlturm (nass; trocken; zwangsbelüftet; Naturzug) oder Kühlteich zur Kühlung des erwärmten Kühlwassers eines Kraftwerkes vor Rückführung in den Kühlkreislauf zur Reduzierung des Frischwasserverbrauchs zu Kühlzwecken.

## 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:  $E = mc^2$ . Die 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 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.

## Sattdampf

→Nassdampf.

## Schild, biologischer

Absorbermaterial rings um einen Reaktor; dient zur Verringerung der Menge ionisierender Strahlung auf Werte, die für den Menschen ungefährlich sind. →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. 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 →Materialbilanzonen.

## 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 nachfolgende Betazerfälle 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. Der Schnelle Brüter kann das Uran bis zu 60fach besser ausnutzen als die Leichtwasserreaktoren.

## Schneller Reaktor

Reaktor, in dem die Spaltungskettenreaktion hauptsächlich durch schnelle Neutronen aufrechterhalten wird. Schnelle Reaktoren enthalten keinen Moderator, da eine Geschwindigkeitsverminderung der bei der Spaltung entstehenden schnellen Spaltneutronen vermieden werden muss.

## Schnellschluss

Möglichst schnelle 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.

## Schwebstofffilter

Filter zur Abscheidung von trockenen Aerosolen.



### Schnellspaltfaktor

Anzahl der in einem Kernreaktor durch sämtliche Spaltungen erzeugten schnellen Neutronen zur Anzahl der durch thermische Spaltungen erzeugten schnellen Neutronen.

### Schwefelwasserstoffverfahren

Verfahren zur Schwerwassergewinnung, das die negative Temperaturabhängigkeit der Gleichgewichtskonstanten der Reaktion  $\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{S}_2 + \text{H}_2\text{O}$  nutzt. Der bei hoher Temperatur an Deuterium angereicherte Schwefelwasserstoff gibt bei niedriger Temperatur einen Teil des Deuteriums an das Wasser ab. Im Gegenstromverfahren zwischen einer heißen und einer kalten Kolonne ergibt sich zwischen den Kolonnen eine Deuteriumanreicherung.

### Schwellendetektor

Detektor zum Nachweis von Neutronenstrahlung oberhalb einer bestimmten Energie (Schwellenenergie). Schwefel ist z. B. ein Schwellendetektor. über die Reaktion  $\text{S-32} (n,p) \text{P-32}$  werden nur Neutronen mit einer Energie  $> 2 \text{ MeV}$  gemessen.

### Schwellenwertdosis

Kleinste Energie- oder Körperdosis, die eine bestimmte Wirkung hervorruft.

### Schwerer Wasserstoff

→Deuterium.

### Schweres Wasser

Deuteriumoxid,  $\text{D}_2\text{O}$ ; Wasser, das an Stelle der zwei leichten Wasserstoffatome zwei Deuteriumatome enthält. Natürliches Wasser enthält ein Deuteriumatom pro 6500 Moleküle  $\text{H}_2\text{O}$ .  $\text{D}_2\text{O}$  hat einen niedrigen Neutronenabsorptionsquerschnitt. Es ist daher als Moderator in Natururanreaktoren verwendbar.

### Schwerwasserreaktor

Mit schwerem Wasser ( $\text{D}_2\text{O}$ ) gekühlter und/oder moderierter Reaktor. Beispiel: →CANDU-Reaktoren;  $\text{D}_2\text{O}$ -Druckwasserreaktor Atucha, Argentinien.

### Schwimmbadreaktor

Reaktor, in dem 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).

### Sekundärenergie

Durch Umwandlung aus Primärenergien erzeugte Energieform, z. B. Strom aus Gas, Kernenergie, Kohle, Öl; Heizöl und Benzin aus Erdöl; Koks und Kokereigas aus Steinkohle.

### Sekundärkühlkreis

Kühlkreissystem, das Wärme aus dem primären Kühlkreis übernimmt und abführt.

## Sekundärkühlmittel

Kühlmittel zum Abführen der Wärme vom Kreislauf des Primärkühlmittels.

## 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 hochradioaktiven Abfalllösungen durch die Betriebskühlung zu verhindern.

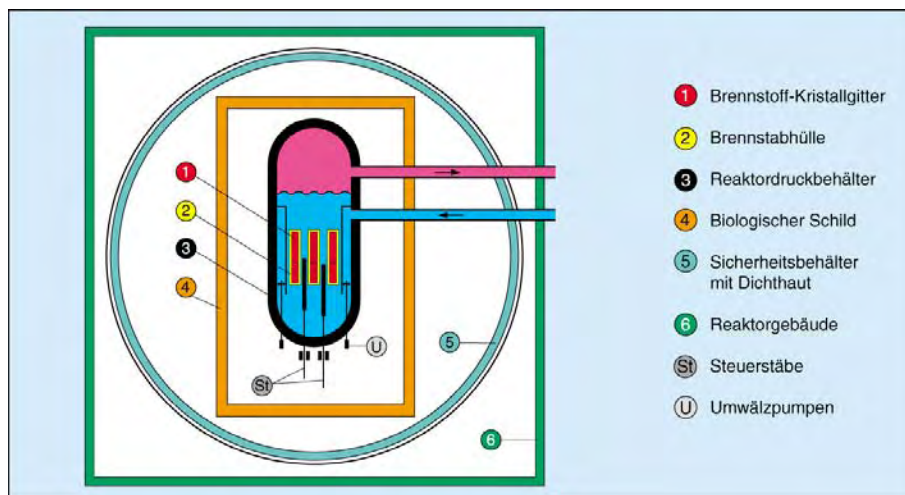
## Sellafield

Standort zahlreicher kerntechnischer Einrichtungen in Cumbria, England. Am Standort Sellafield ist die Wiederaufarbeitungsanlage THORP seit 1994 in Betrieb, seit 1956 sind 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.

## 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

## 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

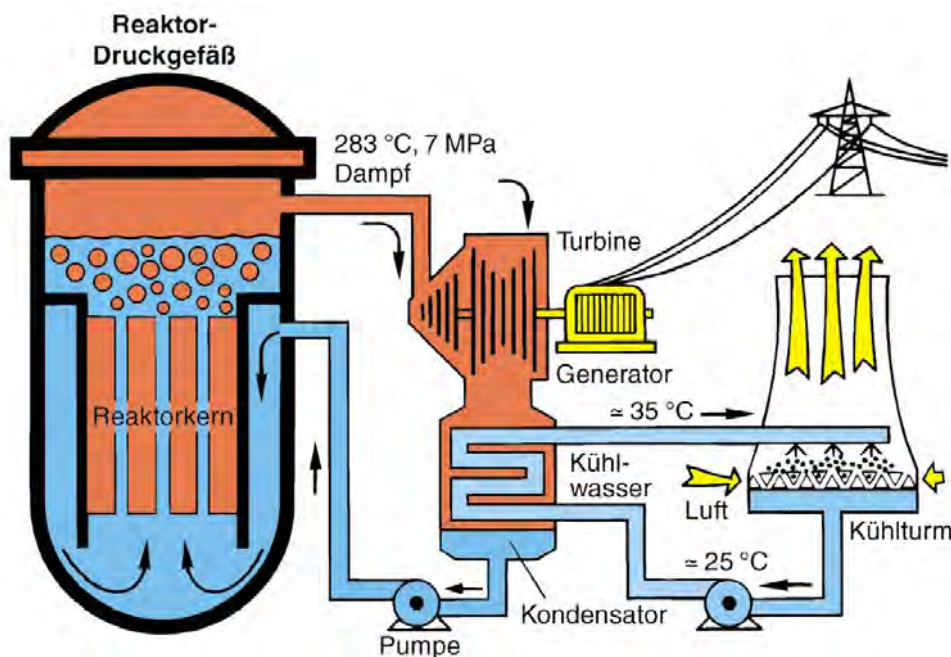
gehören schnellschließende Armaturen der herausführenden Rohrleitungen sowie Personen- und Materialschleusen. Den Behälter umgibt eine bis zu 2 m dicke Stahlbetonkuppel zum Schutz gegen äußere Einwirkungen. Die Innenwand der Kuppel ist gasdicht mit einer Stahlhaut ausgekleidet. In dem Ringraum zwischen Sicherheitsbehälter und Stahlhaut herrscht Unterdruck. Die beim Normalbetrieb aus dem Sicherheitsbehälter austretenden radioaktiven Stoffe gelangen 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.

### 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 Uranoxid 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 Sattdampf mit einer Temperatur von rund 290 °C und einem Druck von ca. 70 bar (7 MPa) direkt 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.



Prinzip eines Kernkraftwerks mit Siedewasserreaktor

## Sievert

Besonderer Einheitenname für die Organdosis und die effektive Dosis, →Dosis; Einheitenkurzzeichen: Sv; benannt nach Rolf Sievert (1896 bis 1966), einem schwedischen Wissenschaftler, der sich um Einführung und Weiterentwicklung des Strahlenschutzes verdient gemacht hat.  $1 \text{ Sv} = 100 \text{ Rem}$ .

## SKE

→Steinkohleneinheit.

## Skyshine

Durch Streuung in Luft entstehende Streustrahlung einer primären Gammastrahlenquelle.

## SNR-300

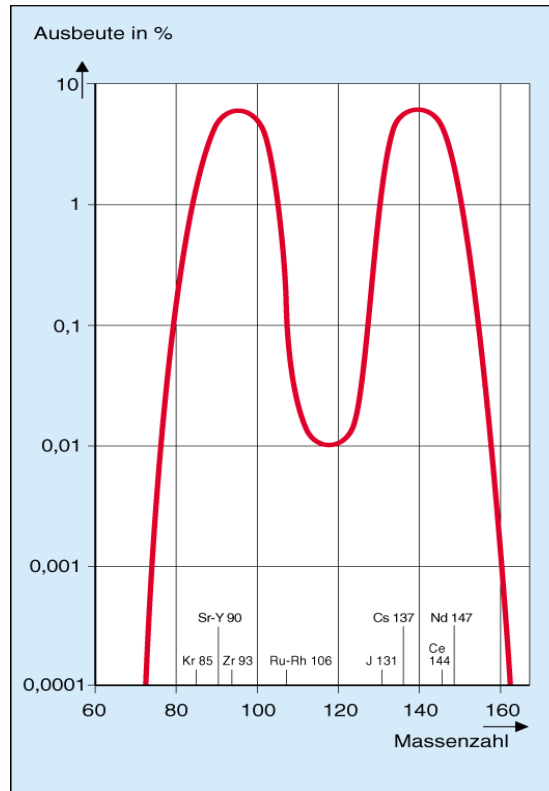
Geplanter schneller natriumgekühlter Reaktor in Kalkar/Rhein, mit einer elektrischen Bruttoleistung von 327 MW. Nach fast vollständiger Fertigstellung aus politischen Gründen nicht in Betrieb gegangen.

## Spallation

Kernumwandlung, bei der ein energiereiches Geschossteilchen 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 Kerns in zwei Teile gleich zwei. Spaltprodukte mit Massenzahlen um 95 und 138 haben bei 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 den Massenzahl

## Spaltbarkeit

Eigenschaft eines Nuklides, durch irgendeinen Kernprozess gespalten zu werden.

## Spaltgas

Bei der Kernspaltung entstehende gasförmige Spaltprodukte, z. B. Kr-85.

## Spaltgasraum

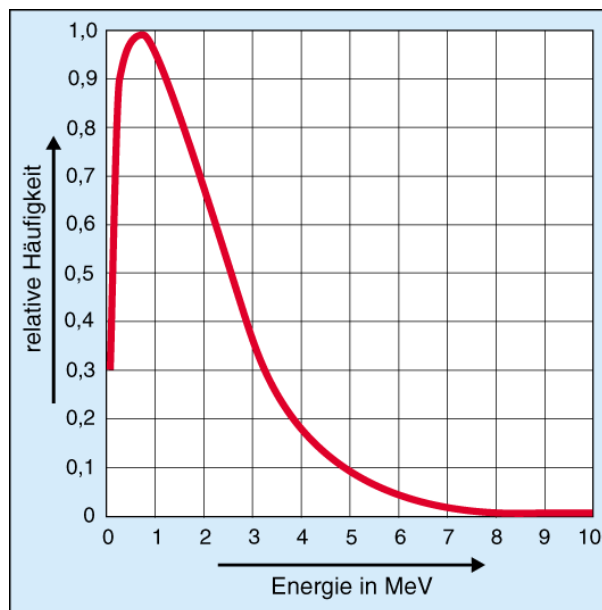
Zum Auffangen des während des nuklearen Abbrandes entstehenden Spaltgases freigelassener Raum im oberen Teil eines jeden →Brennstabes.

## 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.



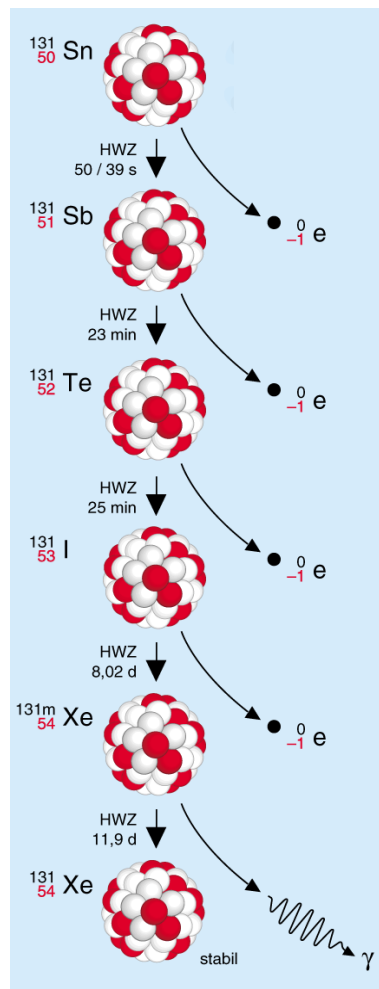
Energieverteilung der bei der Spaltung von U-235 entstehenden Neutronen

## 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

### Spaltproduktgift

→Reaktorgift, das ein Spaltprodukt ist; z. B. Xe-135.

### Spaltstoff

Jeder Stoff, der sich durch Neutronen spalten lässt, wobei weitere Neutronen frei werden, z. B. U-235, Pu-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., dass pro Gramm U-238 sich etwa alle 2,5 Minuten ein Kern durch Spontanspaltung umwandelt. (Die Halbwertszeit des U-238 für Alphaerfall beträgt demgegenüber „nur“  $4,5 \cdot 10^9$  Jahre, pro Gramm U-238 wandeln sich daher rund 750 000 Uranatome pro Minute durch Alphaerfall um.). Cf-254 und Fm-256 wandeln sich fast ausschließlich durch spontane Spaltung um.

Spaltung, thermische

Kernspaltung durch thermische Neutronen. → Neutronen, thermische.

Spaltzone

Teil des Kernreaktors, in dem die Spaltungskettenreaktion abläuft.

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.

Sperrbereich

Bereich des → Kontrollbereiches, in dem die Ortsdosisleistung höher als 3 mSv pro Stunde sein kann.

Spitzenlastkraftwerk

Kraftwerke der Elektrizitätserzeugung, die aufgrund ihrer betriebstechnischen und wirtschaftlichen Eigenschaften zur Deckung der Spitzenlast eingesetzt werden. Als Spitzenlastkraftwerke werden Gasturbinenanlagen sowie Speicher- und Pumpspeicherwasserkraftwerke eingesetzt.

Spontanspaltung

→ Spaltung, spontane.

SSK

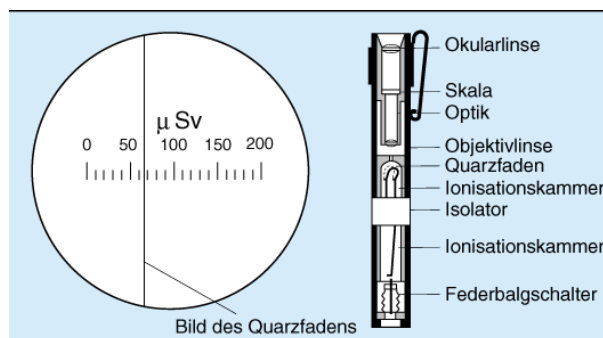
→ Strahlenschutzkommission.

SSVO

Früher übliche Abkürzung für Strahlenschutzverordnung (StrlSchV).

Stabdosisimeter

Messgerät in Stabform zur Bestimmung der Dosis ionisierender Strahlung. Die Entladung eines aufgeladenen Kondensators ist ein Maß für die vom Träger des Dosimeters empfangene Dosis.



Stabdosisimeter

## Stableistung

Maß für die Größe der pro Länge des Brennstabes erreichbaren Wärmeleistung. Sie wird in W/cm Stablänge angegeben (z. B. Biblis-A: 563 W/cm).

## Steinkohleneinheit

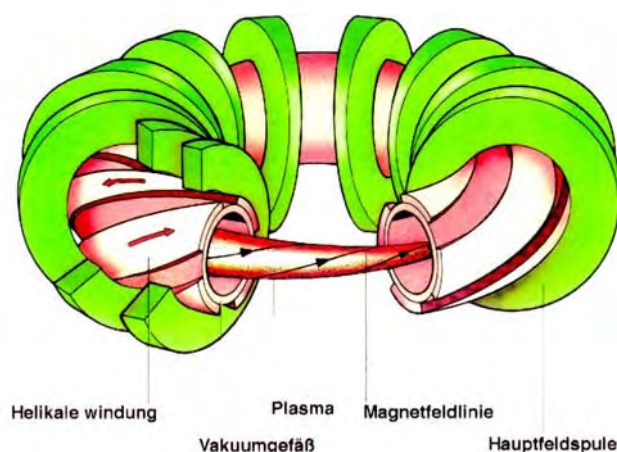
Bezugseinheit für die energetische Bewertung verschiedener Energieträger. 1 kg Steinkohleneinheit (kg SKE) entspricht einem mit 7 000 Kilokalorien (7 000 kcal  $\approx$  29,3 MJ  $\approx$  8,141 kWh) festgelegten Wert und damit etwa dem Heizwert der Steinkohle, der je nach Sorte 29,3 MJ/kg (Gasflammkohle) bis 33,5 MJ/kg (Anthrazit) beträgt.

1 kg Benzin	1,59 kg SKE,
1 kg Heizöl	1,52 kg SKE,
1 m <sup>3</sup> Erdgas	1,35 kg SKE,
1 kg Anthrazit	1,14 kg SKE,
1 kg Steinkohle	1,00 kg SKE,
1 kg Steinkohlekoks	0,97 kg SKE,
1 kg Braunkohlebrikett	0,72 kg SKE,
1 m <sub>3</sub> Stadtgas	0,60 kg SKE,
1 kg Brennholz	0,57 kg SKE,
1 kg Brenntorf	0,56 kg SKE,
1 kg Rohbraunkohle	0,34 kg SKE,
1 kWh	0,123 kg SKE.

Bei der vollständigen Spaltung von 1kg U-235 werden 19 Milliarden Kilokalorien frei, d. h. 1 kg Uran-235 entspricht 2,7 Millionen kg SKE.

## 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  $\rightarrow$ 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

## Steuerstab

Steuerelement zur Veränderung der Reaktivität eines Reaktors.  $\rightarrow$ Regelstab.



## Stilllegung von Kernkraftwerken

Voraussetzung für den Beginn der Stilllegungsarbeiten ist, dass Kernbrennstoff, Kühlmittel und die radioaktiven Betriebsabfälle aus der Anlage entfernt sind. 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 drei Stilllegungshauptvarianten: gesicherter Einschluss, Teilbeseitigung mit gesichertem Einschluss, totale Beseitigung.

## 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. Nichtstochastische Wirkungen, heute deterministische Strahlenwirkungen genannt, sind solche, bei denen der Schweregrad der Wirkung mit der Dosis variiert 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 Internationale Strahlenschutzkommission gibt in der ICRP-Publication 103 von 2007 für Krebs und Leukämie einen Wert von 5,5 % pro Sievert und vererbare Schäden von 0,2 % pro Sievert an. Zur Verdeutlichung dieses Wertes folgende Rechnung: Die jährliche natürliche Strahlenexposition von 2,1 mSv in Deutschland führt bei den rund 82 Mio. Einwohnern zu einer Gesamtdosis von 172 000 Sv. Wird dieser Wert mit diesem Risikofaktor für Krebsmortalität von 5,5 % pro Sievert multipliziert, so ergeben sich rechnerisch durch die natürliche Strahlung jährlich rund 9 500 Krebssterbefälle.

## 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.

## 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 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 der 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 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: 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: 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.

### Strahlenbiologie

Teilgebiet der Radiologie. Sie befasst sich mit den Wirkungsmechanismen und Effekten von Strahlungen, insbesondere ionisierenden Strahlungen, 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 strahlungsbedingter 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 Person.

### Strahlenexposition, Baumaterial

Das zum Hausbau verwendete Baumaterial hat einen Einfluss auf die Strahlendosis des Menschen durch natürlich 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.

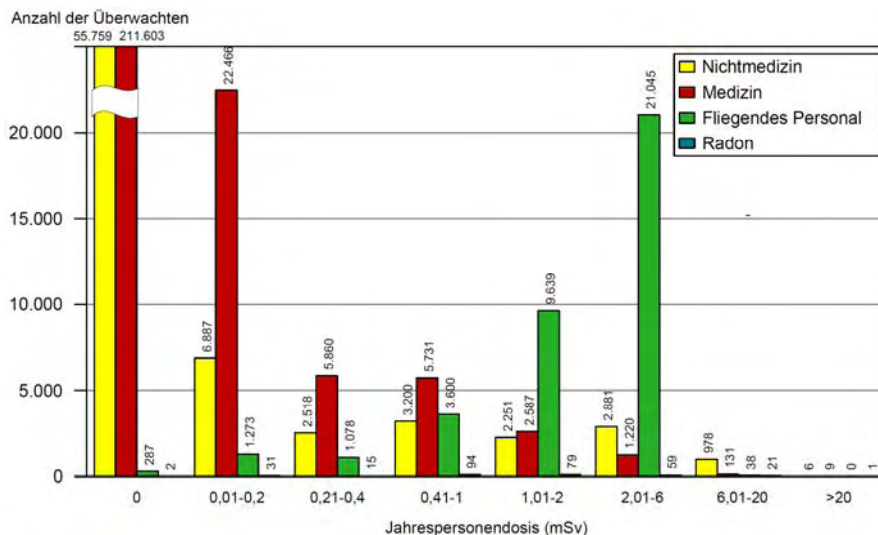
Baustoff	zusätzliche jährliche Strahlenexposition, mSv
Holz	0
Kalksandstein, Sandstein	0 bis 0,1
Ziegel, Beton	0,1 bis 0,2
Naturstein, technisch erzeugter Gips	0,2 bis 0,4
Schlackenstein, Granit	0,4 bis 2

Strahlenexposition durch Baumaterial

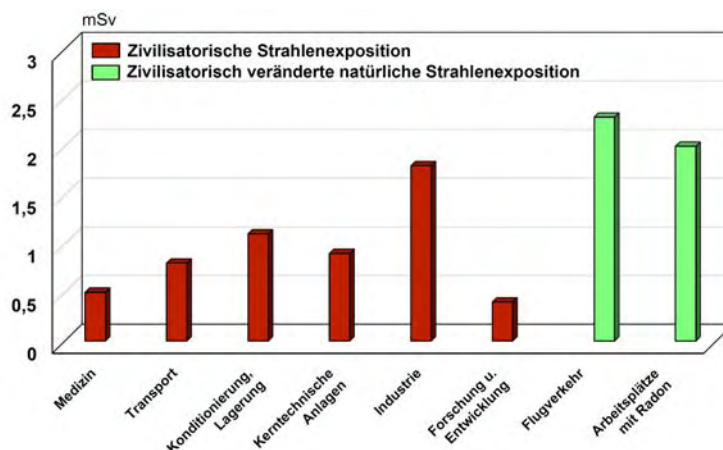
### Strahlenexposition, berufliche

Im Jahr 2008 wurden in Deutschland etwa 323 500 Personen während ihrer beruflichen Tätigkeit mit Personendosimetern überwacht. Davon waren rund 77 % im medizinischen Bereich tätig. Die Summe der Jahresdosis aller mit Personendosimetern überwachten Personen im Jahr 2008 betrug 46 Personen-Sievert. Die mittlere Jahres-Personendosis aller Überwachten betrug 0,14 mSv. Bei etwa 83 % der mit Personendosimetern überwachten Personen lagen die ermittelten Werte unter der kleinsten feststellbaren Dosis von 0,05 mSv im Jahr. Für die 57 000 Personen mit einer von Null verschiedenen Jahresdosis ergibt sich eine mittlere Jahres-Personendosis von 0,8 mSv.

Entsprechend den Vorschriften der Strahlenschutzverordnung müssen die Betreiber von Flugzeugen die durch die erhöhte kosmische Strahlung verursachte Strahlenexposition des fliegenden Personals mit amtlich zugelassenen Rechenprogrammen ermitteln. In Deutschland wurden im Jahr 2008 auf diese Weise 37 000 Personen überwacht, die Kollektivdosis dieser Personen betrug 85 Personen-Sievert. Damit ergibt sich eine mittlere Jahresdosis von 2,3 mSv. Das fliegende Personal ist damit die am höchsten strahlenexponierte Berufsgruppe in Deutschland.



Häufigkeitsverteilung der Personendosis überwachter Personen im Jahr 2008



Mittlere Jahres-Personendosis überwachter Personen in Deutschland im Jahr 2008 in den verschiedenen Tätigkeitsbereichen

### Strahlenexposition, Grenzwerte

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 unterschiedliche Dosisgrenzwerte festgesetzt. Bei jedem Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierender Strahlung muss darüber hinaus der Grundsatz beachtet werden, dass jede unnötige Strahlenexposition zu vermeiden ist und jede Strahlenexposition, auch unterhalb der gesetzlich festgelegten Grenzwerte, so gering wie möglich zu halten ist.

Die in den Euratom-Grundnormen von 1996 festgelegten Grenzwerte wurden durch die Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 und die Röntgenverordnung vom 18. Juni 2002 in deutsches Recht übernommen.

Die für die verschiedenen Organe und Gewebe für beruflich strahlenexponierte Personen geltenden Grenzwerte im Kalenderjahr sind in der Tabelle wiedergegeben. Für berufstätige Schwangere und Auszubildende gelten geringere Werte als die für beruflich exponierten Personen.

Körperdosis	Dosisgrenzwert im Kalenderjahr
effektive Dosis	20 mSv
Organdosis	
Gebärmutter, Keimdrüsen, rotes Knochenmark	50 mSv
Bauchspeicheldrüse, Blase, Brust, Dickdarm, Dünndarm, Gehirn, Leber, Lunge, Magen, Milz, Muskel, Niere, Nebennieren, Speiseröhre, Thymusdrüse	150 mSv
Schilddrüse, Knochenoberfläche	300 mSv
Haut, Hände, Unterarme, Füße und Knöchel,	500 mSv

Dosisgrenzwerte im Kalenderjahr für beruflich strahlenexponierte Personen nach der Strahlenschutzverordnung

Für Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis im Kalenderjahr 1 mSv; der Grenzwerte der Organdosis für die Augenlinse beträgt 15 mSv und der für die Haut 50 mSv im Kalenderjahr. Bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abluft oder Abwasser sind die technische Auslegung und der Betrieb der Anlagen so zu planen, dass folgende Grenzwerte im Kalenderjahr durch diese Ableitungen jeweils nicht überschritten werden:

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

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.

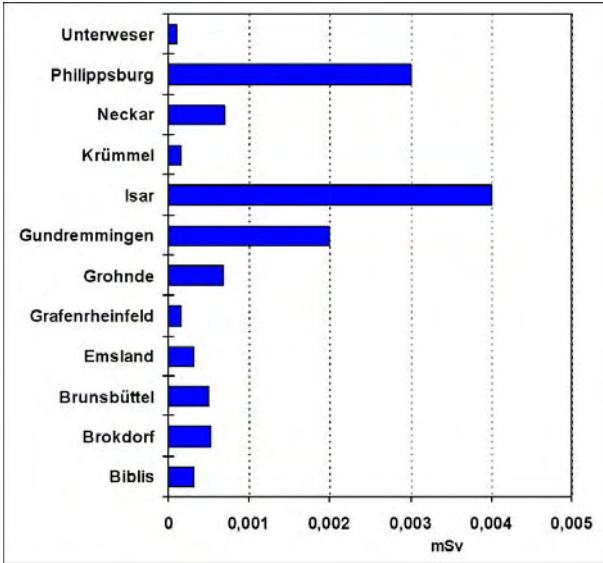
#### Strahlenexposition, Kernkraftwerke

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 im Jahr 2008 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft ergaben als größten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 0,004 mSv für den Standort der Kernkraftwerke Isar 1 + Isar 2; dies ist weniger als 2 % des Grenzwertes nach der Strahlenschutzverordnung. Für Kleinkinder ergab sich für die effektive Dosis ein Wert von 0,006 mS für die Standorte Isar und Philippsburg (jeweils beide Kraftwerksblöcke) ebenfalls beim Kernkraftwerk Philippsburg. Der größte berechnete Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 0,006 mSv (weniger als 1 % des entsprechenden Dosisgrenzwertes) ebenfalls bei den Standorten Isar und Philippsburg.

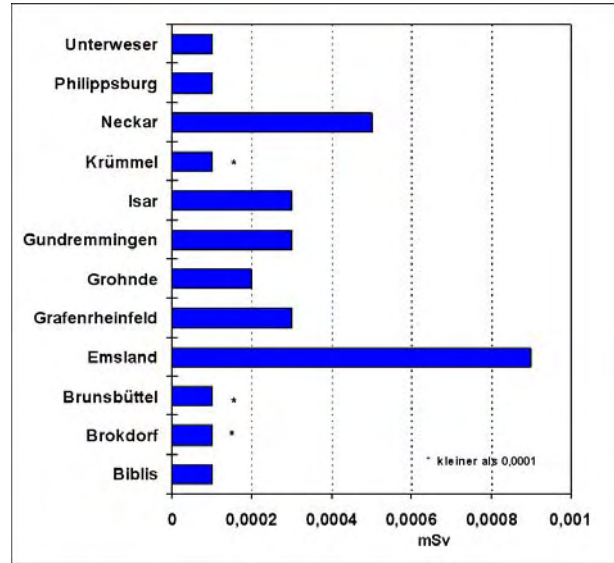
Zur Berechnung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser werden in den Berechnungen ebenfalls ungünstige Verzehr- und Lebensgewohnheiten angenommen, insbesondere für Erwachsene ein hoher Konsum an Flussfisch, der in der Kühlwasserfahne gefangen wurde, und für Erwachsene und Kinder ein Aufenthalt von 1000 Stunden am Flussufer oder auf Wiesen in Flussnähe. Der größte berechnete Wert der effektiven Dosis beträgt für Erwachsene 0,0009 mSv und für Kleinkinder 0,0016 mSv am Standort des Kernkraftwerkes Emsland. Dies entspricht etwa 0,3 bzw. 0,5 % des Dosisgrenzwertes.

Die Strahlenexposition am Unterlauf der Flüsse wurde näher betrachtet, wobei jeweils sämtliche Emittenten berücksichtigt wurden. Für das Mündungsgebiet des Neckars wurde eine effektive Dosis von etwa 0,0008 mSv für Erwachsene und 0,0013 mSv für Kleinkinder ermittelt. Am Unterlauf der Weser und an der Donau wurden für Erwachsene 0,0003 mSv und 0,0005 mSv für Kleinkinder berechnet. Am Rhein liegen die

effektiven Dosen bei 0,0001 mSv. Zu den Werten trägt vor allem die äußere Bestrahlung auf Überschwemmungsgebieten bei, die im Wesentlichen durch Ablagerungen in früheren Jahren bedingt ist.



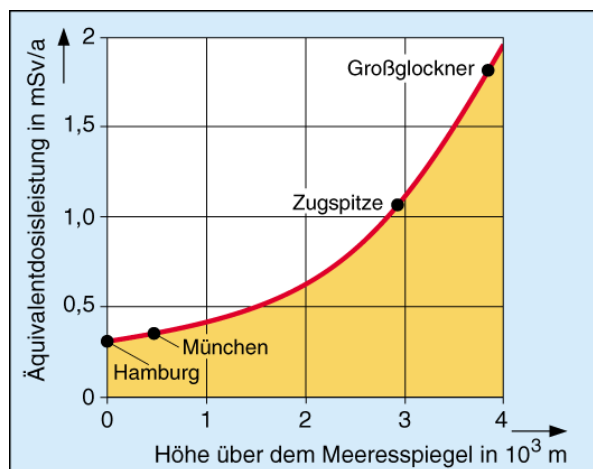
Strahlenexposition für Erwachsene am ungünstigsten Punkt in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Emission radioaktiver Stoffe mit der Abluft, 2008



Strahlenexposition für Erwachsene am ungünstigsten Punkt in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Emission radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser, 2008

### Strahlenexposition, kosmische

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. 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 geomagnetischen 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 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.



Kosmische Strahlenexposition in Abhängigkeit von der Höhe

### Strahlenexposition, Kraftwerke

Nicht nur Kernkraftwerke emittieren radioaktive Stoffe mit der Abluft. Fossile Brennstoffe enthalten in unterschiedlicher Konzentration natürlich radioaktive Stoffe, die bei der Verbrennung freigesetzt werden. Unterschiedliche Feuerungstechniken führen durch die temperaturabhängige Flüchtigkeit zu stark variierenden Anreicherungen in der Flugasche. Für eine erzeugte elektrische Energie von 1 GWh 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	maximale effektive Jahresdosis in der Umgebung, $\mu\text{Sv}$	dosisrelevante Nuklide
Braunkohle	0,5 bis 2	U-238, Th-232 und Folgeprodukte, insbesondere Ra-226, Pb-210, Po-210
Steinkohle	1 bis 4	
Öl	1	
Erdgas	0,2 bis 1	Radon-222 und Folgeprodukte
Kernenergie	0,1 bis 5	Spalt- und Aktivierungsprodukte

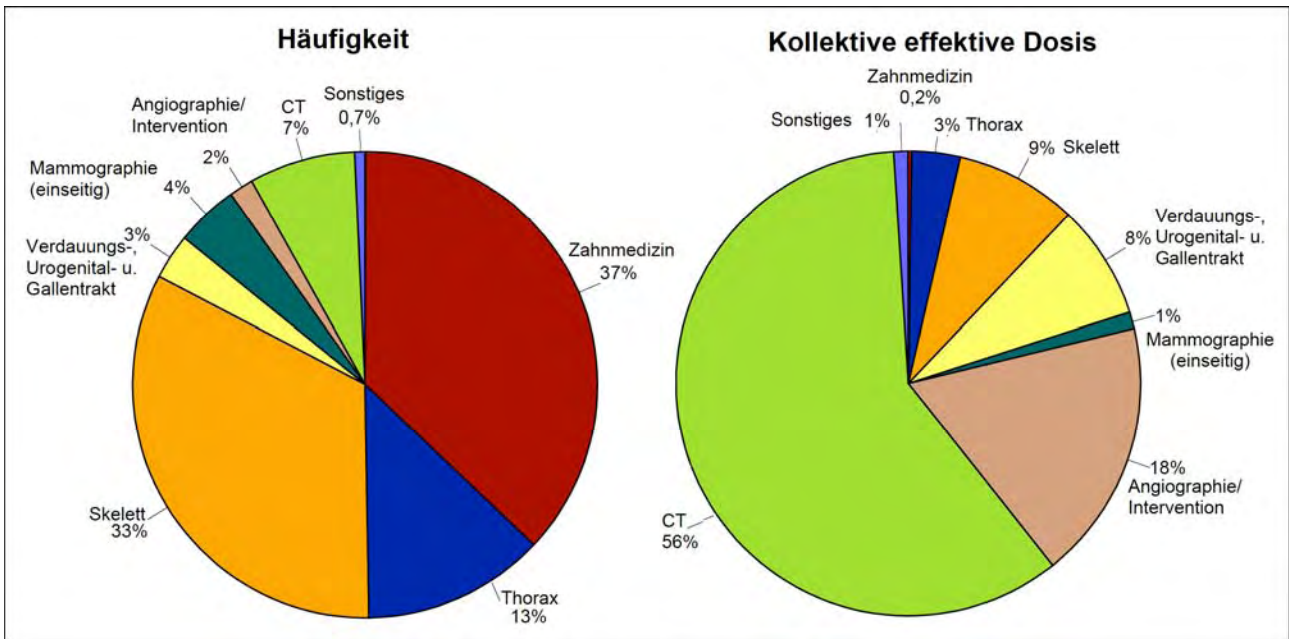
Strahlenexposition durch Kraftwerke mit verschiedenen Primärenergieträgern, normiert auf die Erzeugung einer elektrischen Energie von 1 GWh

#### Strahlenexposition, medizinische

Die mittlere effektive Dosis der Bevölkerung in Deutschland durch die medizinische Anwendung ionisierender Strahlen und radioaktiver Stoffe beträgt im Jahr 1,9 mSv. Die Röntgendiagnostik bedingt den größten Anteil an der zivilisatorischen Strahlenexposition der Bevölkerung. In den Jahren 1996 bis 2006 ist die Anzahl der Röntgenuntersuchungen in Deutschland zwar von jährlich 1,8 Röntgenuntersuchen pro Einwohner auf etwa 1,6 leicht zurückgegangen, von Bedeutung ist aber die Zunahme der besonders dosisintensiven Computer-Tomographie-Untersuchungen um über 50 % in diesem Zeitraum.

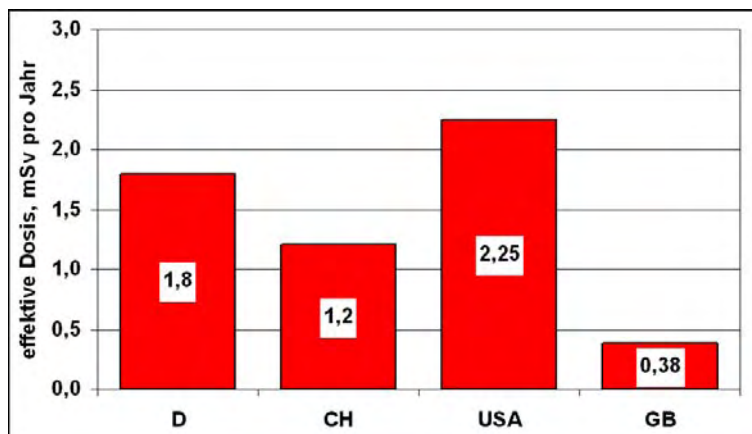
Untersuchungsart	effektive Dosis in mSv
<b>Computertomographie</b>	
Bauchraum	10 - 25
Brustkorb	6 - 10
Wirbelsäule	2 - 11
Kopf	2 - 4
<b>Untersuchung mit Aufnahmen und Durchleuchtung</b>	
Arteriographie	10 - 30
Dünndarm	10 - 18
Magen	6 - 12
Harntrakt	2 - 5
Galle	1 - 8
<b>Untersuchung mit Aufnahme</b>	
Lendenwirbelsäule	0,8 - 1,8
Beckenübersicht	0,5 - 1,0
Mammographie	0,2 - 0,6
Brustkorb	0,02 - 0,08
Halswirbelsäule	0,1 - 0,3
Zahn	$\leq 0,01$

Typische Werte der effektiven Dosis für einige Röntgenuntersuchungen



Häufigkeit der verschiedenen Röntgenuntersuchungen und ihr jeweiliger prozentualer Beitrag zur kollektiven Dosis durch die Röntgendiagnostik, Deutschland 2006

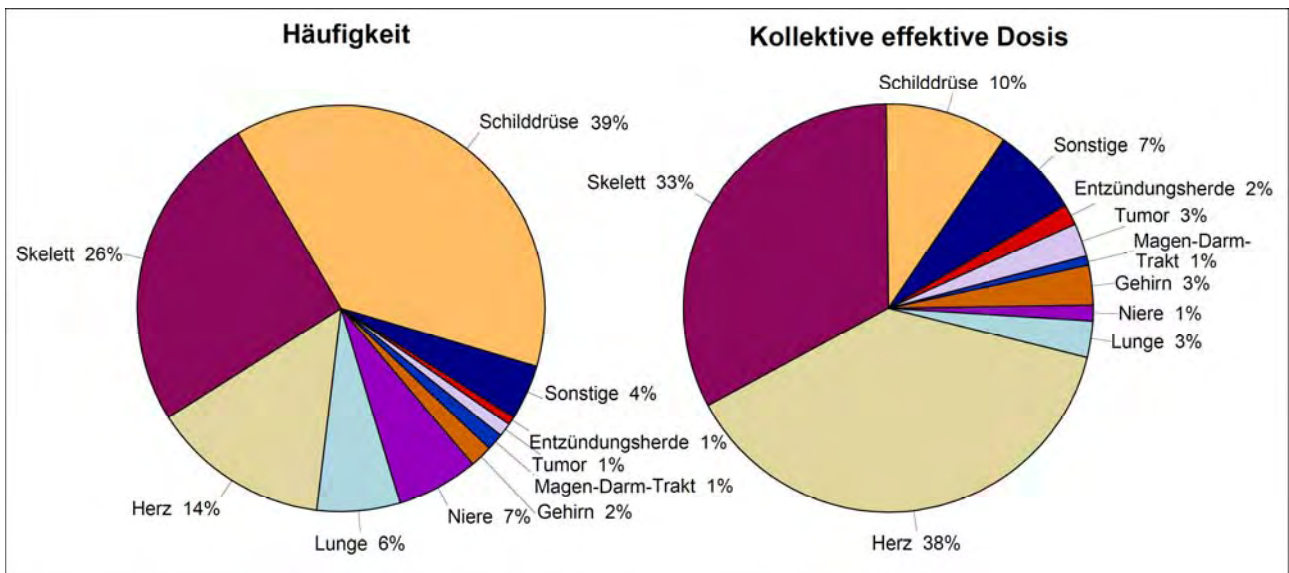
Jährlich werden in Deutschland rund 135 Millionen Röntgenuntersuchungen durchgeführt. Die mittlere effektive Dosis pro Einwohner in Deutschland durch die Röntgendiagnostik errechnet sich zurzeit zu etwa 1,8 mSv pro Jahr.



Mittlere effektive Dosis der Bevölkerung in verschiedenen Ländern durch die Röntgendiagnostik

Der Dosisbeitrag durch die Anwendung radioaktiver Stoffe zur Diagnose ist gegenüber dem durch die Röntgendiagnostik vergleichsweise gering. In der nuklearmedizinischen Diagnostik wurden in Deutschland im Jahr 2006 im Mittel etwa 4,2 Millionen Radionuklidapplikationen jährlich durchgeführt. Das entspricht einer Anwendungshäufigkeit von 50 Untersuchungen pro 1000 Einwohner. Am häufigsten wurden bei den ambulanten Patienten Szintigraphien der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt. Die mittleren effektiven Dosiswerte nuklearmedizinischer Untersuchungen waren bei Entzündungsuntersuchungen mit 8,2 mSv am höchsten, gefolgt von Herzsintigraphien mit 7,4 mSv und Tumorsintigraphien mit 6,5 mSv. Die am häufigsten angewendete Schilddrüsenszintigraphie bewirkt eine effektive Dosis von durchschnittlich 0,7 mSv pro Untersuchung. Im Mittel ergab sich für die Jahre 1996 bis 2006 eine jährliche kollektive effektive Dosis von 11 500 Personen-Sievert. Rechnerisch ergibt sich damit eine mittlere jährliche effektive Dosis pro Einwohner von 0,13 mSv.

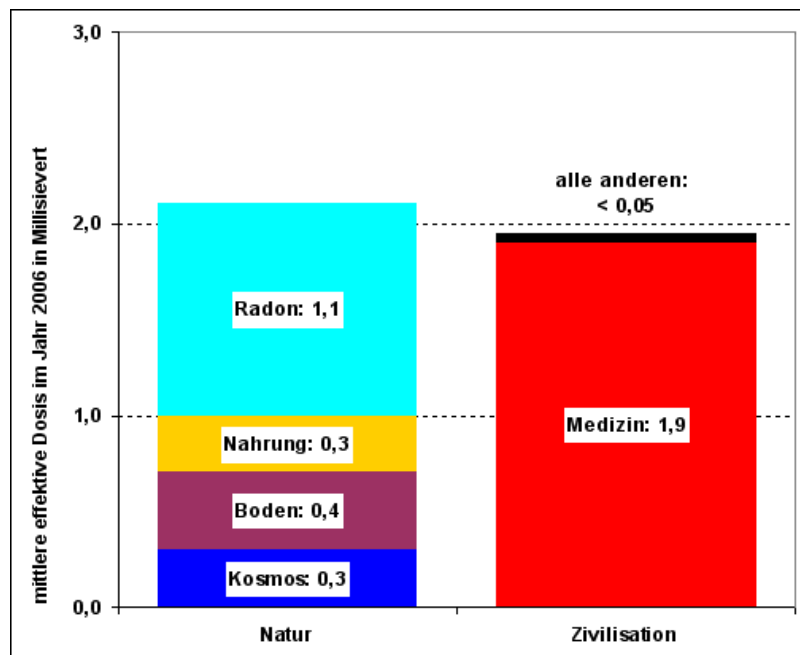
Werte der effektiven Dosis durch die Strahlentherapie sind nicht berechenbar, da das Effektivdosis-konzept auf therapeutische Bestrahlungen nicht anwendbar ist.



Häufigkeit der verschiedenen nuklearmedizinischen Untersuchungen und ihr jeweiliger prozentualer Beitrag zur kollektiven Dosis durch die Nuklearmedizin, Deutschland 1996 - 2006

### Strahlenexposition, mittlere in Deutschland

Die effektive Dosis aus allen natürlichen und künstlichen Strahlenquellen beträgt für einen Einwohner in Deutschland im Mittel 4 Millisievert im Jahr. Diese Dosis stammt etwa jeweils zur Hälfte aus der natürlichen und der medizinischen Strahlenexposition, insbesondere aus der Röntgendiagnostik. 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.



Mittlere Strahlenexposition in Deutschland, 2008

### Strahlenexposition, natürliche

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 tragen 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.

Exposition durch	jährliche effektive Dosis in mSv		
	Bestrahlung von außen	Bestrahlung von innen	gesamt
<b>kosmische Strahlung</b>			
in Meereshöhe			
ionisierende Komponente	0,24		} 0,27
Neutronen	0,03		
<b>kosmogene Radionuklide</b>		0,02	0,02
<b>primordiale Radionuklide</b>			
K-40	0,17	0,17	0,34
U-238-Reihe			
U-238 → Ra-226		0,02	
Rn-222 → Po-214	} 0,12	1,1	} 1,3
Pb-210 → Po-210		0,05	
Th-232-Reihe			
Th-232 → Ra-224	} 0,14	0,01	} 0,2
Rn-220 → TI-208		0,07	
<b>Summe</b>	<b>0,7</b>	<b>1,4</b>	<b>2,1</b>

Beiträge der verschiedenen Quellen zur natürlichen Strahlenexposition in Deutschland

#### Strahlenexposition, terrestrische

Die terrestrische Strahlung stammt aus den natürlich 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 zehnfach so hoch.

Gebiet	mittlere effektive Jahresdosis der Bewohner mSv	Jahres-Ortsdosis im Freien bis zu mSv
Deutschland	0,4	5
Indien: Gebiete in Kerala und Tamil Nadu	4	55
Brasilien: Gebiete in Espirito Santo	6	175
Iran: Gebiete der Stadt Ramsar	6	1200

Strahlendosis durch die terrestrische Strahlung in verschiedenen Gebieten

#### Strahlenexposition, Vergleichbarkeit, natürlich/zivilisatorisch

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.

## Strahlenexposition, zivilisatorische

Den Hauptteil der zivilisatorischen Strahlenexposition bewirkt die medizinische Röntgenstrahlenanwendung zu diagnostischen Zwecken. Die daraus resultierende mittlere effektive Strahlendosis der Bevölkerung beträgt in Deutschland 1,8 mSv im Jahr 2008. Hinzu kommt die Strahlenexposition durch die nuklearmedizinische Diagnostik mit 0,13 mSv im Jahr. Der Flugverkehr trägt für die Bevölkerung in Deutschland mit rund 0,01 mSv zur jährlichen effektiven Dosis bei. Die zusätzliche Strahlendosis auf einem Flug Frankfurt - New York - Frankfurt beträgt etwa 0,15 mSv. 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 etwa 0,005 mSv pro Jahr. Die jährliche effektive Dosis durch den Tschernobyl-Unfall, die 1986 rund 0,1 mSv betrug, liegt zur Zeit bei etwa 0,005 mSv. Die mittlere Bevölkerungsdosis durch die friedliche Nutzung der Kernenergie beträgt für die Einwohner im Umkreis von 3 km um ein Kernkraftwerk infolge Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Abluft weniger als 0,0003 mSv pro Jahr. Der Mittelwert der gesamten zivilisatorischen jährlichen Strahlenexposition in Deutschland ergibt sich zu 1,9 mSv.

Ursache der Strahlendosis	effektive Jahresdosis in mSv	
	Mittelwert für die Bevölkerung	Wertebereich für Einzelpersonen
Medizin	1,9	0,01 bis 30+
Flugreisen	0,01	0,01 bis 5
Tschernobyl-Unfall	0,005	0,002 bis 0,04
Kernwaffentests	0,005	0,002 bis 0,01
fossile Energieträger	0,001	0,001 bis 0,01
Kernkraftwerke	0,001	0,001 bis 0,01
<i>Beruf *</i>	<i>0,35 *</i>	<i>0,1 bis 20 *</i>
gesamt	1,9	0,01 bis 30+

*\* nur auf die beruflich exponierten Personen bezogen*

Zivilisatorische Strahlenexposition in Deutschland, 2008

## Strahlenhygiene

Feststellungen und Maßnahmen zum Erkennen und Beurteilen biologischer Strahlenwirkungen beim Menschen, Maßnahmen zum Strahlenschutz und damit zusammenhängende technische Fragen der medizinischen und nichtmedizinischen Anwendung ionisierender Strahlen sowie 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. Die „Allgemeine Verwaltungsvorschrift 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.

## Strahlenphysik

Teil der Physik, der sich mit den Eigenschaften und physikalischen Wirkungen ionisierender Strahlen befasst.

## Strahlenschaden, biologischer

Nachteilige Änderung in den biologischen Eigenschaften als Folge der Einwirkung ionisierender Strahlung.

## Strahlenschaden, Frühsymptome

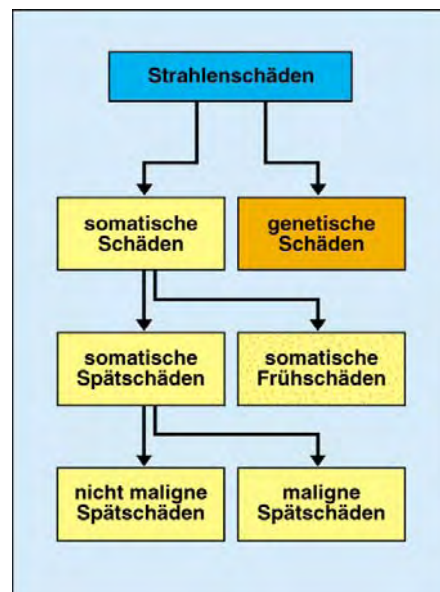
Akute Strahlenschäden des Menschen werden nur nach Bestrahlungen mit sehr hohen Dosen beobachtet. Die zeitliche Abfolge der Krankheitssymptome ist dosisabhängig. → Strahlenwirkung bei hohen Ganzkörperbestrahlungen.

## Strahlenschaden, physikalisch-chemischer

Nachteilige Änderung in den physikalischen und chemischen Eigenschaften eines Materials als Folge der Einwirkung ionisierender Strahlung.

## Strahlenschäden beim Menschen

Als Folge einer Strahlenexposition können somatische und vererbare Effekte auftreten. Die somatischen Effekte treten bei den exponierten Personen selbst auf, die vererbaren Effekte können sich nur bei den Nachkommen manifestieren. Bei den somatischen Strahlenwirkungen unterscheidet man zwischen →stochastischen und →deterministischen Strahlenwirkungen.



Einteilung der Strahlenschäden

## Strahlenschutz

Strahlenschutz befasst sich mit dem Schutz von Einzelpersonen, deren Nachkommen und der Bevölkerung in ihrer Gesamtheit vor den Wirkungen ionisierender Strahlung. Ziel des Strahlenschutzes ist es, deterministische Strahlenwirkungen zu verhindern und die Wahrscheinlichkeit stochastischer Wirkungen auf Werte zu begrenzen, die als annehmbar betrachtet werden. Eine zusätzliche Aufgabe besteht darin, sicherzustellen, dass Tätigkeiten, die eine Strahlenexposition mit sich bringen, gerechtfertigt sind.

## Strahlenschutzbeauftragter

Der Strahlenschutzverantwortliche hat entsprechend den Vorschriften der Strahlenschutz- und der Röntgenverordnung Strahlenschutzbeauftragte zu bestellen, soweit dies für den sicheren Betrieb der Anlage und die

Beaufsichtigung der Tätigkeiten notwendig ist. Strahlenschutzbeauftragte müssen die für den Strahlenschutz erforderliche Fachkunde nachweisen.

### Strahlenschutzbereiche

Bei genehmigungspflichtigen Tätigkeiten nach Strahlenschutzverordnung und 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 Strahlenschutzverordnung 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**  
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.

### Strahlenschutzkommission

Nach der Satzung der Strahlenschutzkommission (SSK) (veröffentlicht im Bundesanzeiger Nr. 14 vom 27.01.2010, S. 289) 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

### 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.

## Strahlenschutzverordnung

Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001, zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 29. August 2008. Zusammen mit der Röntgenverordnung soll die Strahlenschutzverordnung sicherstellen, das Ziel des Atomgesetzes zu erreichen: Leben, Gesundheit und Sachgüter vor den Gefahren der Kernenergie und der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlen zu schützen. Die Strahlenschutzverordnung ist das Regelwerk, um den Grundsatz des Strahlenschutzes zu erreichen:

- jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt zu vermeiden,
- jede 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.

## Strahlenschutzvorsorgegesetz

Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung (Strahlenschutzvorsorgegesetz - StrVG) vom 19. Dezember 1986, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 8. April 2008. 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, der Bewertung der Messdaten und Anordnungen zu Beschränkungen und Verboten beim Verkauf von Lebensmitteln und sonstigen Stoffen.

## Strahlentherapie

Strahlenbehandlung. Im engeren Sinne wird darunter jede Behandlung von Menschen mit ionisierenden Strahlungen verstanden. Viele Strahlenbehandlungen werden bei Krebserkrankungen durchgeführt.

## Strahlenwirkung bei hoher Ganzkörperbestrahlung

Zu erwartende Wirkungen bei einer kurzzeitigen Ganzkörperbestrahlung:

Dosis	Wirkung
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 Übelkeit 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 Übelkeit 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 Übelkeit 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 Übelkeit innerhalb 1 bis 2 Stunden; wahrscheinlich keine Überlebenden
50 Gy	fast augenblicklich einsetzende schwerste Krankheit; Tod aller Exponierten innerhalb einer Woche

## 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, charakteristische

Beim Übergang eines Elektrons der Hülle auf eine weiter innen gelegene Schale von einem Atom emittierte elektromagnetische Strahlung. Die Wellenlänge ist abhängig vom jeweiligen Element und der Übergangsart.

### Strahlungsdetektor

Gerät oder Material, in dem Strahlung Vorgänge auslöst, die zum Nachweis oder zur Messung der Strahlung geeignet sind. → Dosimeter, → Geiger-Müller-Zähler, → Proportionalzähler, → Szintillationszähler.

### Strahlungs-Wichtungsfaktoren

Die Wahrscheinlichkeit stochastischer Strahlenwirkungen ist nicht nur von der Energiedosis abhängig, sondern auch von der Art und Energie der Strahlung, die die Dosis verursacht. Dies wird durch die Wichtung der Energiedosis mit einem Faktor berücksichtigt, der sich auf die Strahlenqualität bezieht. In der Vergangenheit wurde dieser Faktor von der Internationalen Strahlenschutzkommission als Qualitätsfaktor bezeichnet. 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	Strahlungs-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

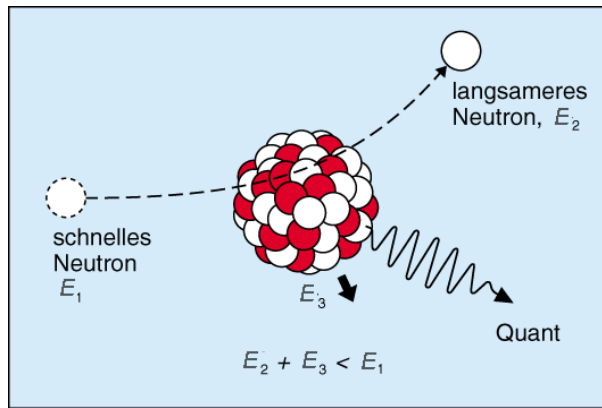
Strahlungs-Wichtungsfaktor  $w_R$  nach Strahlenschutzverordnung

## 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.



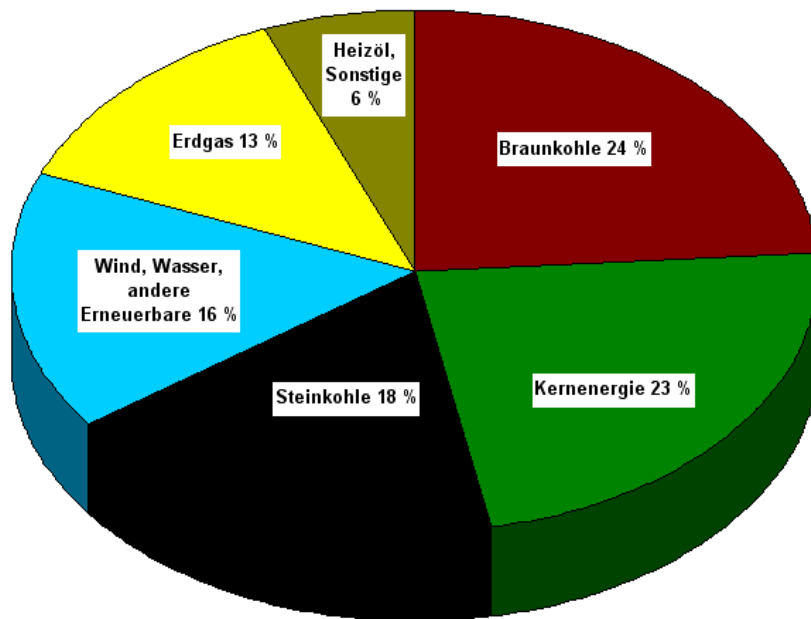
Unelastische Streuung eines Neutrons

StrlSchV

→Strahlenschutzverordnung.

### Stromerzeugung, Deutschland

Die Brutto-Stromerzeugung in Deutschland betrug 2009 insgesamt 596 Mrd. kWh. Weit überwiegend beruht die Stromversorgung auf Braunkohle (24 %), Kernenergie (23 %). Steinkohle (18 %), Erdgas war mit 13 % beteiligt. Die erneuerbaren Energieträger trugen insgesamt mit 16 % bei – Wind (6,4 %), Biomasse (4,2 %), Wasser (3,2 %), Photovoltaik (1 %) und Müll (erneuerbarer Anteil, 0,8 %). (Quelle: BDEW).



Energieträger der Bruttostromerzeugung in Deutschland, 2009

### Stromerzeugung, Kernkraftwerke in Deutschland

In deutschen Kernkraftwerken wurden im Jahr 2010 brutto insgesamt 140,6 Mrd. kWh aus Kernenergie in elektrische Arbeit umgewandelt. Spitzenreiter war das Kernkraftwerk Isar-2 mit 12 Mrd. kWh.

Jahr	Bruttostromerzeugung Mrd. kWh
1961	0,024
1970	6,0

1980	42,6
1990	152,5
2000	169,6
2005	163,0
2008	148,8
2010	140,6

Strom aus Kernenergie in Deutschland

#### Stromerzeugung, Kernkraftwerke in der EU

In der Europäischen Union wurden im Jahr 2009 rund 848 Milliarden kWh Strom aus Kernenergie erzeugt. Litauen und Frankreich hatten im Jahr 2009 mit 76 % bzw. 75 % die höchste Nuklearstromanteil unter den 15 EU-Ländern mit Kernkraftwerken.

Land	Erzeugung aus Kernenergie in Mrd. kWh	Kernenergie-Anteil in Prozent
Belgien	45,0	51,7
Bulgarien	14,2	35,9
Deutschland	127,7	26,1
Finnland	22,6	32,9
Frankreich	391,7	75,2
Großbritannien	62,9	17,9
Litauen	10,0	76,2
Niederlande	4,0	3,7
Rumänien	10,8	20,6
<i>Russland</i>	<i>152,8</i>	<i>17,8</i>
Schweden	50,0	34,7
<i>Schweiz</i>	<i>26,3</i>	<i>39,5</i>
Slowakische Republik	13,1	53,5
Slowenien	5,5	37,9
Spanien	50,6	17,5
Tschechien	25,7	33,8
<i>Ukraine</i>	<i>77,9</i>	<i>48,6</i>
Ungarn	14,3	43,0
Summe	1105,1	
Summe EU-Länder	848,1	

Daten zur Stromerzeugung der Länder in Europa, die Kernenergie nutzen, 2009

#### Stromerzeugung, Kernkraftwerke weltweit

Im Jahr 2009 wurden insgesamt netto rund 2 558 Mrd. kWh Strom aus Kernenergie erzeugt. Seit Beginn der nuklearen Stromerzeugung im Jahr 1951 wurden bis Ende 2009 insgesamt rund 64 610 Mrd. kWh erzeugt. Die kumulierten Betriebserfahrungen bis September 2010 betragen 14 174 Reaktorbetriebsjahre.

#### SUR-100

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.

#### SWR



→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. 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.

### Synchrozyklotron

→Zyklotron, bei dem die Frequenz der Beschleunigungsspannung mit der Zeit so abnimmt, dass sie sich den langsameren 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.

### Szintillationszähler

Nachweisgerät für ionisierende Strahlung durch Registrierung der Lichtblitze (Szintillationen), die durch die Strahlung in bestimmten Materialien, den Szintillatoren, erzeugt werden.

### 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.

## T

### Tail-End

Der letzte Verfahrensabschnitt der Wiederaufarbeitung zur Herstellung der an die Brennelementhersteller abzugebenden Endprodukte. Endprodukte sind Uranylнитratlösung und Plutoniumnitratlösung.

### 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 durch nochmaliges Durchlaufen dergleichen Potentialdifferenz weiter beschleunigt.

### Target

Materiestück, auf das man Strahlung auftreffen lässt, um in dieser Materie Kernumwandlungen hervorzurufen.

### TBP

→Tributylphosphat.

### TEG

Teilerrichtungsgenehmigung im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren.

### Teilchenbeschleuniger

→Beschleuniger.

### Teilkörperdosis

Mittelwert der Äquivalentdosis über das Volumen eines Körperabschnittes oder eines Organs, im Falle der Haut über die kritische Fläche ( $1 \text{ cm}^2$  im Bereich der maximalen Äquivalentdosis in 70 Mikrometer Tiefe).

### 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 sicherheitstechnisch wünschenswert, weil sie dazu beitragen, Leistungsexkursionen zu vermeiden.

### terrestrische Strahlung

Strahlung durch die natürlich radioaktiven Stoffe im Boden. Die terrestrische Strahlung bewirkt eine externe Strahlenexposition des Menschen. →Strahlenexposition, terrestrische.

### thermionische Umwandlung

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 Moderatorsubstanz (häufig Graphit) neben der Spalt-

zone 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.

Thermolumineszenzdosimeter

Radiothermolumineszenz ist die Eigenschaft eines Kristalls, bei Erwärmung Licht auszusenden, wenn dieser vorher ionisierender Strahlung ausgesetzt war. In weiten Bereichen ist die emittierte Lichtmenge der eingestrahelten Dosis proportional. Man nutzt zur Dosisbestimmung z. B. den Radiothermolumineszenzeffekt von Kalzium- oder Lithiumfluorid.

thermonukleare Reaktion

Kernreaktion, bei der die beteiligten Teilchen die für die Reaktion erforderliche Reaktionsenergie aus der thermischen Bewegung beziehen. → Fusion.

THORP

**Thermal Oxide Reprocessing Plant**, 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

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 Sicherheitsbehälters 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/Lippe, Hochtemperaturreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 308 MW, nukleare Inbetriebnahme am 13.09.1983. Im November 1988 endgültig abgeschaltet. Die Anlage befindet sich seit Oktober 1997 im sicheren Einschluss.

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.

Tiefen-Personendosis

→ Äquivalentdosis in 10 mm Tiefe im Körper an der Tragestelle des Personendosimeters, Kurzbezeichnung  $H_p(10)$ . → Dosis.

Tieftemperaturrektifikation

Verfahren zur Entmischung von Gasen durch Verflüssigung des Gasgemisches bei tiefen Temperaturen (ca.

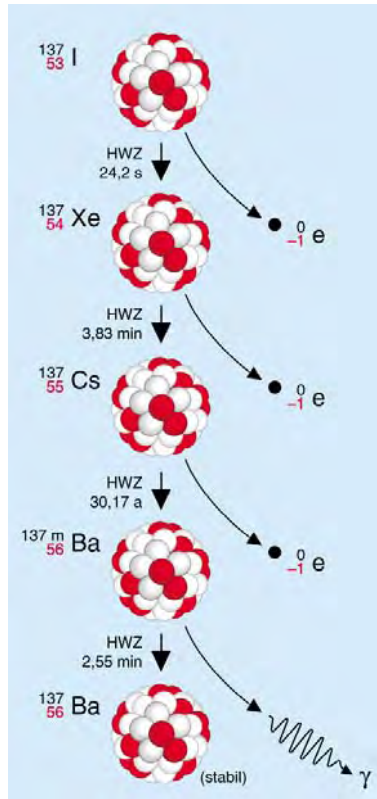
minus 120 bis minus 200 °C) und anschließender Trennung aufgrund unterschiedlicher Siedepunkte (Rektifikation).

TLD

→Thermolumineszenzdosimeter.

Tochter- und Enkelnuklid

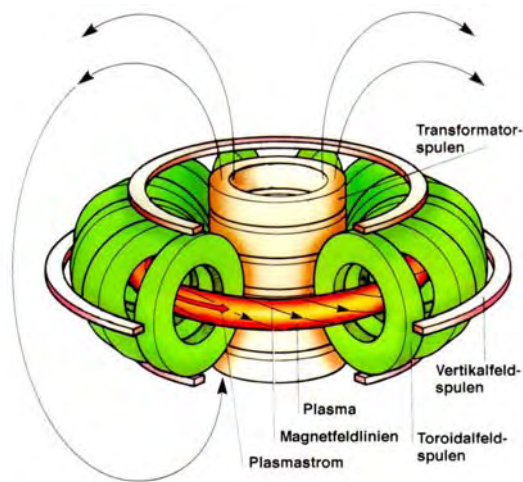
In einer Zerfallsreihe radioaktiver Stoffe entsteht als Zerfallsprodukt eines Ausgangsnuklids (Mutternuklids) zunächst das Tochternuklid und daraus durch Zerfall das Enkelnuklid. Beispiel: Das bei der Spaltung entstehende Iod-137 (Mutternuklid) zerfällt über Xenon-137 (Tochter), Cäsium-137 (Enkel), Barium-137m (Urenkel) in das stabile Barium-137 (Ururenkel). →Zerfallsreihe, natürliche.



Mutter/Tochter/Enkel-Nuklide in der Zerfallsreihe von Iod-137 bis Barium-137

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. Der Strom im Plasma wird vorwiegend benötigt, um das einschließende Magnetfeld zu erzeugen. Zudem sorgt er für eine wirksame Anfangsheizung des Plasmas. 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 nicht gepulst betrieben werden sollte, werden Methoden untersucht, einen kontinuierlichen Strom - zum Beispiel durch Hochfrequenzwellen - zu erzeugen. Die Fusionsforschungsanlage →JET ist nach dem Tokamak-Prinzip gebaut. Auch der Fusionsreaktor →ITER wird nach diesem Prinzip geplant.



Tokamak-Prinzip

### Tracer

Zur Markierung von Substanzen zugesetztes Radionuklid, um Mischungs-, Verteilungs- und Transportvorgänge mittels der vom Tracer emittierten Strahlung untersuchen zu können.

### Transienten

Jede wesentliche Abweichung der Betriebsparameter eines Kernkraftwerkes (u. a. Leistung, Druck, Temperatur, Kühlmitteldurchsatz) von den Sollwerten, die zu einem Ungleichgewicht zwischen Wärmeerzeugung und Wärmeabfuhr im Reaktor führen kann.

### 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 höherer Aktiniden diskutiert. Da durch einen starken Protonenstrahl aus einem Beschleuniger und daraus ausgelöste Spaltungen 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

Der Transport radioaktiver Stoffe auf öffentlichen Verkehrswegen bedarf grundsätzlich der Genehmigung. Je nach Art und Menge der transportierten radioaktiven Stoffe müssen bestimmte Verpackungsvorschriften beachtet werden. 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 unnachgiebiges, mit einer Stahlplatte armiertes Betonfundament,
- freier Fall aus 1 m Höhe auf einen Stahldorn mit einem Durchmesser von 15 cm und einer Höhe von mindestens 20 cm,
- Feuertest bei 800 °C über 30 Minuten im Anschluss an die Fallversuche,
- Untertauchen in Wasser für 15 Stunden und einer Wassertiefe von 15 m oder bei einer Zulassung für eine besonders große Gesamtaktivität für 1 Stunde und einer Wassertiefe von 200 m.

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.

#### Transuranelement

Chemisches Element im Periodensystem, dessen Kernladungszahl größer als 92, der des Urans, ist. Mit Ausnahme der in sehr geringen Mengen entdeckten 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.

Elementname	Symbol	Ordnungszahl	Elementname	Symbol	Ordnungszahl
Neptunium	Np	93	Seaborgium	Sb	106
Plutonium	Pu	94	Bohrium	Bh	107
Americium	Am	95	Hassium	Hs	108
Curium	Cm	96	Meitnerium	Mt	109
Berkelium	Bk	97	Darmstadtium	Ds	110
Californium	Cf	98	Roentgenium	Rg	111
Einsteinium	Es	99	Copernicium	Cn	112
Fermium	Fm	100	noch ohne Namen		113
Mendelevium	Md	101	noch ohne Namen		114
Nobelium	No	102	noch ohne Namen		115
Lawrencium	Lw	103	noch ohne Namen		116
Rutherfordium	Rf	104	noch ohne Namen		117
Dubnium	Db	105	noch ohne Namen		118

#### Transuran-Elemente

#### Trennanlage

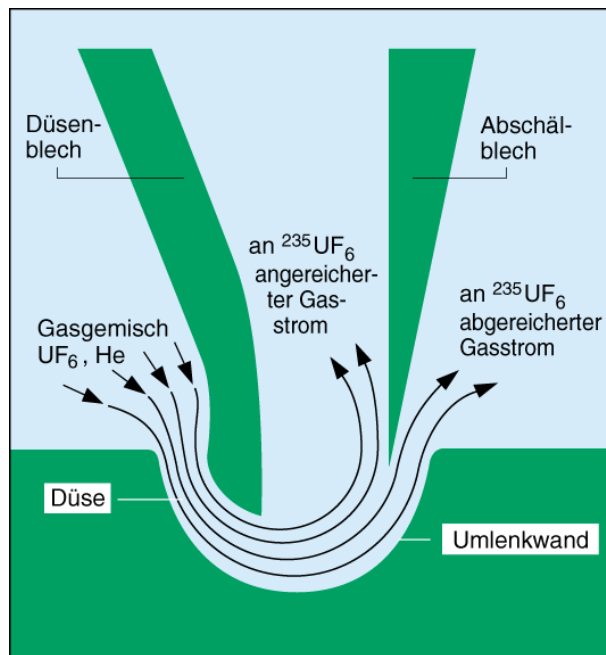
Anlage zur Isotopentrennung. → Diffusionstrennverfahren, → Trenndüsenverfahren, → Gaszentrifugenverfahren.

#### Trennarbeit

Begriff aus der Uranisotopentechnik. Die Trennarbeit ist ein Maß für den zur Erzeugung von angereichertem Uran zu leistenden Aufwand.

#### 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

#### Trennfaktor

Der Trennfaktor ist der Quotient aus dem Verhältnis der Isotopenhäufigkeit eines bestimmten Isotops zu der Summe der Isotopenhäufigkeiten anderer Isotope nach einem Trennungsprozess und diesem Verhältnis vor dem Trennungsprozess.

#### Tributylphosphat

In der Wiederaufarbeitung beim  $\rightarrow$ PUREX-Prozeß als organisches Extraktionsmittel zur U- und Pu-Extraktion aus der Kernbrennstofflösung eingesetzt. Im PUREX-Prozeß wird TBP auf 15 bis 40 % mit Kerosin verdünnt.

#### TRIGA

Abkürzung für: Training, Research and Isotope Production Reactor der General Atomic. 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.

#### Tritium

Radioaktives Isotop des Wasserstoffs mit zwei Neutronen und einem Proton im Kern. Tritium wird z. B. zur Herstellung von Leuchtfarben, als Indikator in Tracer-Versuchen und als Brennstoff in kontrollierten Fusionsversuchen verwendet. Tritium ist ein Betastrahler ( $E_{\beta_{\max}}$ : 18 keV) mit einer Halbwertszeit von 12,323 Jahren.

#### Triton

Atomkern des  $\rightarrow$ Tritiums. Er besteht aus einem Proton und zwei Neutronen.

#### Trockenkühlturm

Kühlturm zur Rückkühlung von Wasser, bei dem kein direkter Kontakt zwischen dem zu kühlenden Wasser und dem Kühlmedium Luft besteht. Das erwärmte Wasser wird, ähnlich wie in einem Kraftfahrzeugkühler, von Luft gekühlt und wieder zum Kondensator geleitet.

#### Trockenlager

Lagerung bestrahlter Brennelemente ohne Verwendung von Wasser als Kühlmittel.

#### 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 26.4.1986 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. 203 Personen mit akutem Strahlensyndrom wurden in Kliniken behandelt. 31 Personen starben infolge Verbrennungen und Strahlenüberexposition. 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 0,1 mSv in Gebieten nördlich der Donau und 0,6 mSv für Bereiche des Voralpengebiets. Berechnet man die entsprechenden Dosiswerte für die gesamte Lebenszeit, so ergibt sich ein Gesamtbetrag zwischen 0,4 mSv bzw. 2,4 mSv für die Personengruppe, die zum Unfallzeitpunkt Kleinkinder waren. Für Einzelpersonen mit extremen Lebens-



und Verzehrgeohnheiten können sich maximale Dosiswerte bis zum Zwei- oder Dreifachen dieser Werte ergeben.

Personengruppe	Zeitraum	effektive Dosis in mSv		
		Norden	Süden	Voralpen
Kleinkinder	1. Jahr	0,12	0,35	0,6
	Lebenszeit	0,4	1,3	2,4
Erwachsene	1. Jahr	0,1	0,3	0,5
	Lebenszeit	0,4	1,1	2,1

Mittlere Strahlenexposition durch den Tschernobyl-Unfall in den verschiedenen Gebieten Deutschlands

In den durch den Unfall betroffenen Gebieten der Ukraine und Belarus zeigte sich in den Folgejahren bei Kindern und Jugendlichen ein deutlicher Anstieg der Schilddrüsenkreberkrankungen, 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. In den betroffenen Ländern sind bis heute mehr als tausend Schilddrüsenkreberkrankungen bei Kindern und Jugendlichen aufgetreten. Auf der Basis von Risikobetrachtungen werden insgesamt bis zu 4 000 Schilddrüsenkrebsfälle erwartet.

Block 2 der insgesamt vier Reaktorblöcke am Standort Tschernobyl wurde im Okt. 1991 endgültig abgeschaltet. Block 1 folgte im Nov. 1996. Am 15.12.2000 wurde mit Block 3 der letzte Reaktor in Tschernobyl endgültig abgeschaltet.

TUSA

Turbinenschnellabschaltung.

# U

## Überhitzung

Die Erhitzung eines →Sattdampfes zu Heißdampf. In Kraftwerken wird dieses Verfahren zur Verbesserung des Wirkungsgrades und zur Verringerung der Kondensation in den Turbinen angewandt.

## überkritische Anordnung

Anordnung von Kernbrennstoff, deren effektiver →Multiplikationsfaktor infolge Brennstoffmenge, geometrischer Anordnung, Moderation und Reflexion über 1 liegt.

## überkritischer Reaktor

Kernreaktor, bei dem der effektive Multiplikationsfaktor größer als 1 ist. Die Reaktorleistung steigt dann ständig an.

## Überschußreaktivität

Größerer Reaktivitätswert, als zur Erreichung der Kritikalität eines Reaktors 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.

## Überwachungsbereich

Ein Überwachungsbereich ist ein Strahlenschutzbereich, für den festgelegte Dosisgrenzwerte gelten, und der einer Überwachung nach festgelegten Vorschriften unterliegt. In Anpassung an die Euratom-Grundnormen ist ein Überwachungsbereich ein nicht zum Kontrollbereich gehörender Strahlenschutzbereich, in dem Personen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 1 Millisievert oder höhere Organ-dosen als 15 Millisievert für die Augenlinse oder 50 Millisievert für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel erhalten können.

## Umgang mit radioaktiven Stoffen

Unter Umgang mit radioaktiven Stoffen fallen: Gewinnung, Erzeugung, Lagerung, Bearbeitung, Verarbeitung, sonstige Verwendung und Beseitigung von radioaktiven Stoffen im Sinne des Atomgesetzes sowie der Betrieb von Bestrahlungsvorrichtungen. Als Umgang gilt auch die Aufsuchung, Gewinnung und Aufbereitung von radioaktiven Bodenschätzen im Sinne des Bundesberggesetzes.

## 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.

## Umgebungsüberwachung

Überwachung der Umgebung einer Anlage auf Schadstoffe, Lärm u. a. 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.

### Umlaufkühlung

Im Kreislauf geführtes Kühlmedium (Wasser) zur Wärmeabfuhr. Die Wärmeabgabe erfolgt dabei über einen Kühlturm.

### 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.

### 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.

### Unfall

Ereignisablauf, der für eine oder mehrere Personen eine effektive Dosis von mehr als 50 Millisievert zur Folge haben kann.

### Unfall, größter anzunehmender

→GAU.

### UNSCEAR

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. 2006 ist der UNSCEAR-Report "*Effects of ionizing radiation*" erschienen. Der UNSCEAR 2008 Report "*Sources of ionizing radiation*" soll im Jahr 2010 veröffentlicht werden.

### 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 eine Kettenreaktion nicht aufrechterhalten kann.

## 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.

## 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 %).

## 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.

## Urangewinnung, weltweit

Land	Urangewinnung in Tonnen
Australien	8.611
Brasilien	299
China	712
Indien	270
Kanada	9.476
Kasachstan	6.637
Namibia	2.879
Niger	3.153
Russland	3.413
Republik Südafrika	539
Tschechien	306
Ukraine	846
USA	1.654
Usbekistan	2.320
andere Länder	164
Summe Welt gerundet	41.279

Urangewinnung 2007 (in t Uran)

## 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.

## Uranreserven

Die derzeit gesicherten Uran-Vorkommen betragen 5,5 Millionen t Uran (OECD/NEA: Uranium 2007: Resources, Production and Demand) bezogen auf die Kostenkategorie < 130 US \$/kg Uran. In den niedrigeren

Kostenkategorien betragen die gesicherten Vorkommen 4,5 Millionen t (< 80 US \$/kg Uran) bzw. 3 Millionen t (< 40 US \$/kg Uran). Bei einem derzeitigen weltweiten Jahresverbrauch von 65 000 t Uran ist auf der Grundlage dieser Vorkommen eine Versorgung für rund 85 Jahre gesichert. Hinzu kommen nicht durch Explorationsarbeiten gesicherte vermutete Natururanvorkommen von rund 8 Millionen t Uran. Neben diesem bergtechnisch gewinnbaren Natururan stehen weltweit etwa 1,8 Millionen t Uran aus Lagerbeständen (Kernbrennstoffkreislauf, militärische Abrüstung) zur Verfügung.

Urantrennarbeit

→Trennarbeit.

Uranylнитрат

Endprodukt der Wiederaufarbeitung,  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ , saure Uransalzlösung; Vorprodukt des durch →Konversion zu gewinnenden  $\text{UF}_6$ , das wiederum nach Anreicherung und Überführung in  $\text{UO}_2$  als Kernbrennstoff in Brennelementen eingesetzt wird.

UTA

Urantrennarbeit; →Trennarbeit.

## V

### VAK

Versuchsatomkraftwerk Kahl/Main, Siedewasserreaktor mit einer elektrischen Bruttoleistung von 16 MW. Die nukleare Inbetriebnahme erfolgte am 13.11.1960. VAK war das erste Kernkraftwerk in der Bundesrepublik Deutschland. Ende November 1985 wurde es endgültig außer Betrieb genommen. Der vollständige Abbau der Anlage soll Mitte 2007 beendet sein. Die kumulierte Stromerzeugung betrug 2,1 TWh.

### Van-de-Graaff-Generator

Maschine zur Erzeugung sehr hoher Gleichspannungen, die zur Beschleunigung geladener Teilchen auf hohe Energien (bis 12 MeV) dient. Durch ein nichtleitendes endloses Band werden elektrische Ladungen auf eine isolierte Hohlkugel transportiert, die sich dadurch auf sehr hohe Spannung auflädt.

### VBA

→Verlorene Betonabschirmung.

### VEK

→Verglasungseinrichtung Karlsruhe.

### Ventilatorkühlturm

Kühlturm mit Ventilator zur Abführung der Kühlluft. Gegenüber dem →Naturzugkühlturm hat der Ventilatorkühlturm den Vorteil der geringeren Bauhöhe und den Nachteil der höheren Betriebskosten.  
→Umlaufkühlung.

### Verdopplungszeit

Die Zeit, in der sich der Spaltstoffeinsatz eines Brutreaktors verdoppelt. Je nach Brutreaktorkonzeption ergeben sich Verdopplungszeiten von 8 bis 20 Jahren.

### 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,
- Strahlenschutzbeständigkeit zur Vermeidung von Radiolyse,
- Wärmeleitfähigkeit zur Abfuhr von Zerfallswärme.

Für schwach- und mittelradioaktiven Abfall sind Zementmörtel und für hochradioaktiven Abfall Borosilikatglas Verfestigungsmaterialien.

### Verfügbarkeit

Maß für die Fähigkeit eines Kraftwerkes, eines Blockes oder eines Anlagenteiles, die betriebliche Funktion zu erfüllen. Es sind Zeit- und Arbeitsverfügbarkeit zu unterscheiden:

- Zeitverfügbarkeit ist das Verhältnis der Verfügbarkeitszeit (Betriebs- und Reservezeit) zur Kalenderzeit. Die Zeitverfügbarkeit kennzeichnet die Zuverlässigkeit einer Anlage.
- Arbeitsverfügbarkeit ist das Verhältnis der verfügbaren Arbeit zur theoretisch möglichen Arbeit in der Berichtsspanne. Kennzeichnet die Zuverlässigkeit der Anlage summarisch unter Berücksichtigung aller Voll- und Teilausfälle.

## 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 in wassermoderierten Reaktoren zur Notabschaltung eingespritzt. Bei Druckwasserreaktoren wird Borsäurelösung zur Kompensation von Überschußreaktivität verwendet.

## Verglasung

Die bei der Wiederaufarbeitung anfallenden hochradioaktiven Spaltproduktlösungen müssen in ein endlagerfähiges Produkt überführt werden. Als geeignete Methode hierfür hat sich die Verglasung erwiesen. Beim französischen AVM-Verfahren wird die flüssige hochradioaktive 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 hochradioaktive 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.

## 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 hochradioaktiven 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 hochradioaktiven Abfalls beträgt zur Zeit 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 1150 °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. Nach umfangreichen Funktionsprüfungen wurde von April bis Juli 2007 der inaktive Probetrieb der VEK durchgeführt. Die Betriebsgenehmigung wurde Ende Februar 2009 erteilt. Am 22.6.2010 wurde die 122. Kokille mit Abfallglas produziert. Die endlagergerechte Konditionierung der aus der Betriebszeit der Wiederaufarbeitungsanlage stammenden hochradioaktiven Abfalllösung ist somit abgeschlossen. Die Kokillen wurden in insgesamt fünf Castor<sup>®</sup>-Behälter der Bauart CASTOR<sup>®</sup> HAW 20/28 CG verpackt, die im Transportbehälterlager des Zwischenlagers Nord (ZLN) in Rubenow gelagert werden.

## Verlorene Betonabschirmung

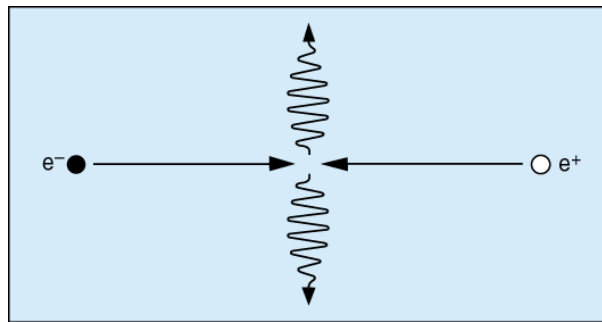
Endabfallgebäude für mittlerradioaktiven Abfall erhalten zur Strahlenabschirmung eine Umkleidung aus einer Zementmörtelschicht. Diese Abschirmung ist mit dem Abfallgebäude praktisch unlöslich verbunden, gelangt daher mit in die Endlagerstätte und gilt damit als „verloren“.

## Verlustenergie

Diejenige Energiemenge, die bei Umwandlung, Transport und Endverbrauch für die Nutzung verloren geht.

## 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

### 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  $\rightarrow$ kritisch. Man benutzt den Begriff, um zu betonen, dass die  $\rightarrow$ verzögerten Neutronen notwendig sind, um den kritischen Zustand zu erreichen.

### VE-Wasser

Abkürzung für vollentsalztes Wasser; durch Destillation oder Ionenaustauschverfahren gewonnenes demineralisiertes (entsalztes) Wasser für medizinische oder technische Zwecke.

### Vielfachzerlegung

$\rightarrow$ Spallation.

### Vielkanalanalysator

Impulshöhenanalysator, der die Impulse energieproportionaler Detektoren entsprechend der Amplitude und damit der Strahlenenergie sortiert und im entsprechenden Kanal registriert. Vielkanalanalysatoren besitzen bis über 8 000 Kanäle.

### Void-Effekt

Das Entstehen von Dampf- oder der Eintrag von Gasblasen in den Moderator und/oder das Kühlmittel eines Reaktors beeinflussend die Kritikalität des Reaktors. Der Void-Effekt kann durch die Auslegung des Reaktorkerns entscheidend beeinflusst werden. Da es z. B. bei einem thermischen Reaktor ein optimales Verhältnis von Moderator- zu Brennstoffvolumen gibt, liegt bei einem übermoderierten Reaktor ein Void-Effekt mit positivem Koeffizienten vor; eine Erhöhung des Dampfblasenanteils vergrößert den Neutronenmultiplikationsfaktor und damit die Reaktorleistung. Umgekehrt liegen die Verhältnisse bei einem infolge der Kernausslegung untermoderierten Reaktor; hier verringert die Erhöhung des Dampfblasenanteils den Neutronenmultiplikationsfaktor und somit die Reaktorleistung. Ein hinsichtlich Dampfblasen- und Gaseintrag inhärent sicherer Reaktor muss daher immer leicht untermoderiert sein; er besitzt einen negativen Void-Koeffizienten.  
 $\rightarrow$ Dampfblasen-Koeffizient.



# W

## WAK

→Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe.

## Warme Werkstatt

Werkstatt zur Instandsetzung von radioaktiv kontaminierten Komponenten aus Kontrollbereichen. Ausstattung konventionell, jedoch nach Strahlenschutzgesichtspunkten abgestufte Arbeitsbereiche entsprechend der Zuordnung zu Strahlenschutzzonen.

## 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 einige Megatonnen Trinitrotoluol, einem chemischen Sprengstoff. Die erste Wasserstoffbombe wurde am 1. März 1954 auf dem Bikini-Atoll gezündet.

## Wechselwirkung

Einfluss eines physikalischen Körpers auf einen anderen Körper oder auch die Kopplung zwischen einem Feld und seiner Quelle. 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

Sie 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 aufeinanderfolgenden Stößen zurückgelegte mittlere Weglänge.

## 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.

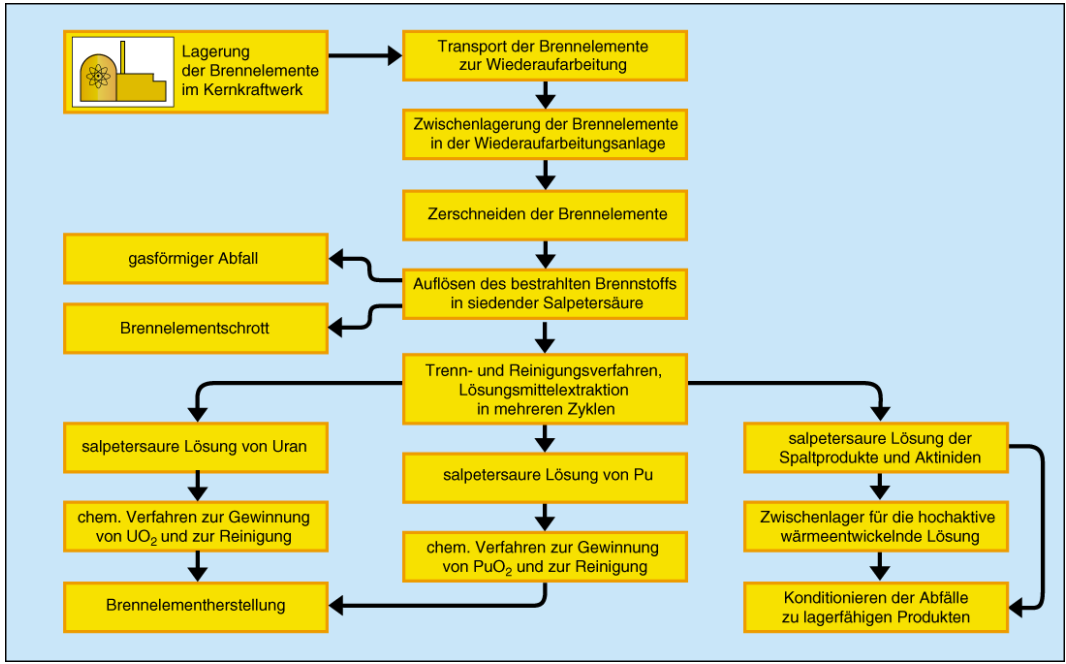
## Wichtungsfaktor

→Gewebe-Wichtungsfaktor.

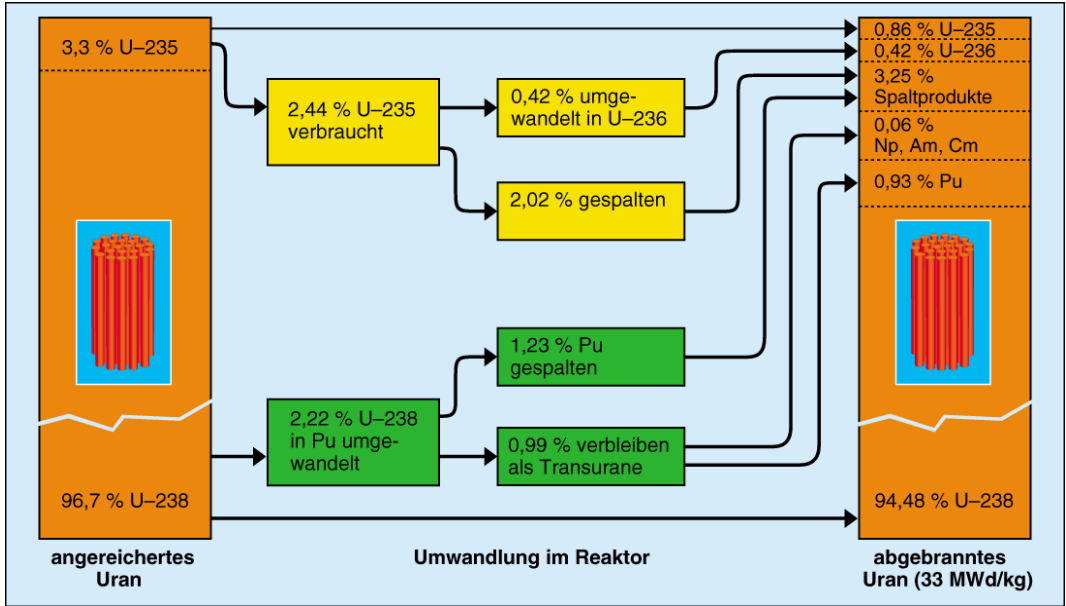
## Wiederaufarbeitung

Anwendung chemischer Verfahren, um aus dem Kernbrennstoff nach seiner Nutzung im Reaktor (abgebrannter Kernbrennstoff) die Wertstoffe - das noch vorhandene Uran und den neu entstandenen Spaltstoff

Plutonium - von den Spaltprodukten, den radioaktiven Abfällen, zu trennen: Großtechnisch mehrjährig erprobt ist zur Wiederaufarbeitung das →PUREX-Verfahren. Ein abgebranntes Brennelement hat - wenn man vom Strukturmaterial absieht – etwa folgende Zusammensetzung: 96 % Uran, 3 % Spaltprodukte (Abfall), 1 % Plutonium und geringe Anteile von →Transuran-Elementen. Das zurückgewonnene Uran und das Plutonium können nach entsprechender chemischer Bearbeitung wieder als Brennstoff in einem Kernkraftwerk eingesetzt werden. Die in einer Wiederaufarbeitungsanlage mit einem Jahresdurchsatz von 350 t jährlich zurückgewinnbaren Kernbrennstoffe entsprechen bei Einsatz in den heute üblichen Leichtwasserreaktoren der Energiemenge von ca. 10 Mio. t Steinkohle. Durch den Wiederaufarbeitungsprozess wird der hochradioaktive Abfall (Spaltprodukte) abgetrennt und durch →Verglasung in eine Form gebracht, die eine sichere Endlagerung gewährleistet.



Schema der Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennelemente



Zusammensetzung des Kernbrennstoffs für Leichtwasserreaktoren vor und nach dem Reaktoreinsatz

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 Auflösungsbetriebs 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 hochradioaktive, flüssige Abfall mit einem Volumen von 60 m<sup>3</sup> wird auf dem WAK-Gelände gelagert. Zu seiner Verfestigung in ein endlagerfähiges Produkt wurde auf dem Gelände der WAK die →Verglasungseinrichtung Karlsruhe errichtet. Die Arbeiten zur Demontage der WAK haben 1996 begonnen.

#### Wiederaufarbeitungsanlagen, weltweit

Land	Standort	Kapazität t U / a	Inbetriebnahme bzw. Betriebsdauer
B	Mol	80	1966-1974
D	Karlsruhe	35	1971-1990
F	Marcoule, UP 1	1200	1958-1997
F	La Hague, UP 2	800	1966-1987
F	La Hague, UP 2-400	400	1976-2003
F	La Hague, UP 2-800	800/1000	1994
F	La Hague, UP 3	800/1000	1990
GB	Windscale	300/750	1951-1964
GB	Sellafield, Magnox	1500	1964
GB	Dounreay	8	1980-1998
GB	Sellafield, THORP	1200	1997
IND	Trombay	60	1965
IND	Tarapur	100	1982
IND	Kalpakkam	100	1998
J	Tokai Mura	210	1977
J	Rokkashomura	800	2006
RUS	Tscheljabinsk	400	1978
RUS	Krasnojarsk	1500	
USA	West Valley	300	1966-1972

#### Wiederaufarbeitungsanlagen, weltweit

#### Wigner-Effekt

Durch Bestrahlung - überwiegend durch schnelle Neutronen - hervorgerufene Veränderung der Gitterstruktur von Graphit.

#### Wigner-Energie

Gespeicherte Energie im bestrahlten Graphit eines Graphitreaktors. 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.

#### Wirkungsgrad

Verhältnis von abgegebener Nutzleistung zur aufgewendeten Leistung einer Maschine. Der Wirkungsgrad bezieht sich auf einen bestimmten Betriebspunkt, z. B. den Vollastbetrieb.

#### 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 Neutronen-Wirkungsquerschnitte in der Einheit Barn - Einheitenkürzeichen: b - angegeben. 1 Barn ist gleich  $10^{-28} \text{ m}^2$ .

#### Wischtest

Zur Feststellung einer auf Festkörperoberflächen vorhandenen radioaktiven Kontamination dient neben der direkten Messung der Wischtest. 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.

## X

### Xenonvergiftung

Verminderung der  $\rightarrow$ 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 - das Maximum der Xe-135-Konzentration wird nach etwa 12 Stunden erreicht - wieder angefahren werden kann.

## 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 Erz wird ungefähr ein Kilogramm Yellow Cake gewonnen. Der Name rührt von der Farbe und Struktur des Produkts aus der früheren Verarbeitungsprozessen her. Das heutige Fertigungsprodukt ist nicht mehr gelb sondern braun bis schwarz.

# Z

## Zählrohr

→Geiger-Müller-Zähler, →Proportionalzähler.

## Zeitverfügbarkeit

Verhältnis der Verfügbarkeitszeit (Betriebs- und Reservezeit) eines Kraftwerks zur Kalenderzeit. Kennzeichnet die Zuverlässigkeit einer Anlage ohne Berücksichtigung von Minderleistungen während der Betriebszeit.  
→Arbeitsverfügbarkeit.

## Zelle, heiße

→Heiße Zelle.

## Zentrifuge

→Gaszentrifugenverfahren.

## Zerfall

Die spontane Umwandlung eines Nuklides in ein anderes Nuklid oder in einen anderen Energiezustand des selben Nuklides. Jeder Zerfallsprozess hat eine bestimmte →Halbwertszeit.

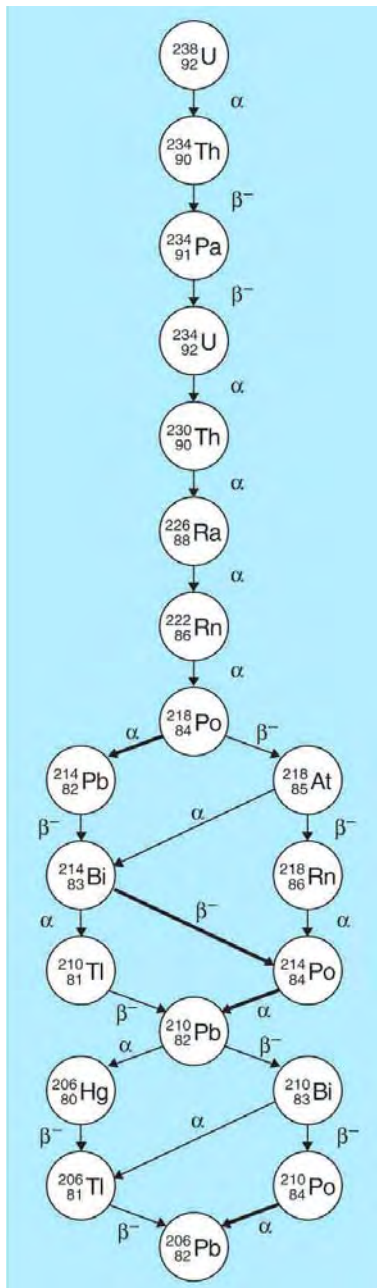
## Zerfallskonstante

Die Zerfallskonstante eines radioaktiven Zerfalls ist gleich dem Reziprokwert der mittleren →Lebensdauer  $\tau$ . Zwischen der Zerfallskonstanten  $\lambda$ , der mittleren Lebensdauer  $\tau$  und der →Halbwertszeit  $T$  bestehen folgende Beziehungen:

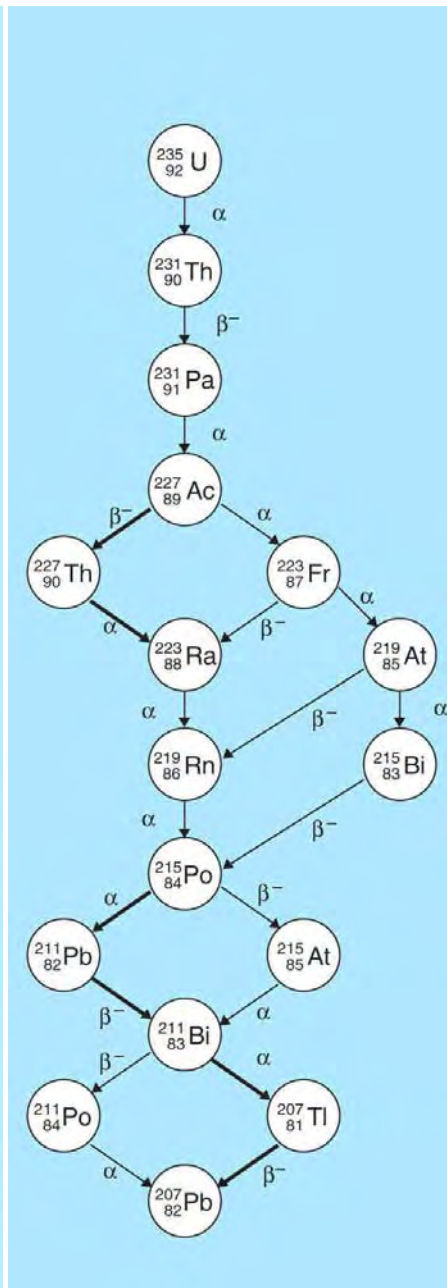
$$\lambda = \tau^{-1} = T^{-1} \cdot \ln 2.$$

## Zerfallsreihen, natürliche

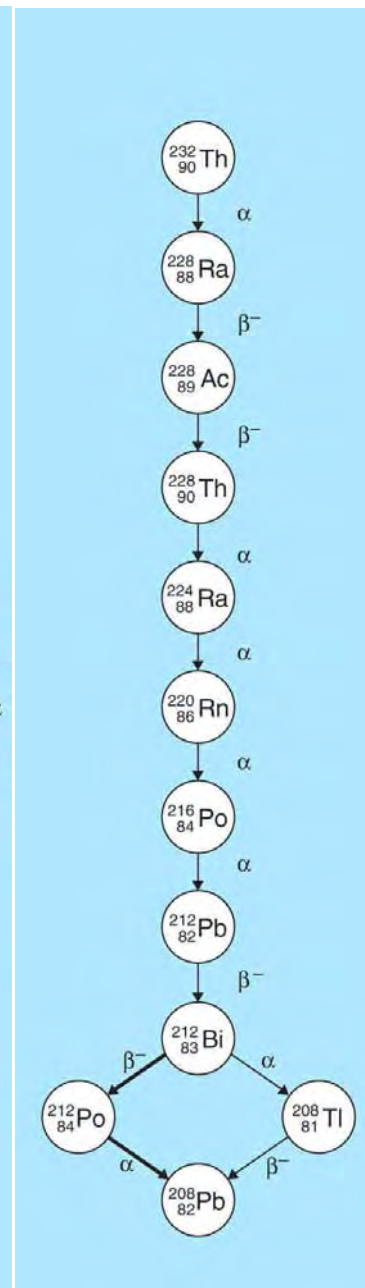
Die beim Zerfall der sehr langlebigen natürlichen Radionuklide U-238 (Halbwertszeit 4,5 Mrd. Jahre), U-235 (Halbwertszeit 0,7 Mrd. Jahre) und Th-232 (Halbwertszeit 14 Mrd. Jahre) entstehenden Nuklide sind wieder radioaktiv, so dass sie ihrerseits wieder zerfallen. So entstehen sogenannte Zerfallsreihen, 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

### zerstörungsfreie Prüfung

Prüfung zum Nachweis verborgener Fehler in Materialien mit Methoden, die die Prüflinge nicht beschädigen oder zerstören. Häufig werden Röntgenstrahlung, Gammastrahlung oder Ultraschall verwendet.

### Zirkaloy

Legierung auf der Basis von Zirkon und Zinn, die als Werkstoff für Brennstabhüllen verwendet wird.

### ZLFR

Schulungsreaktor des Fachbereichs Maschinenwesen der Hochschule Zittau/Görlitz. Der ZLFR war ein leichtwassermoderierter, druckloser thermischer Nulleistungsreaktor vom Tanktyp mit einer Leistung von 10 Watt. Erste Kritikalität am 25.5.1979, auf Grund der Regelungen des Einigungsvertrags am 24.3.2005 endgültig abgeschaltet.

Zustand, angeregter

→angeregter Zustand.

Zufuhr

→Aktivitätszufuhr.

Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente

Nach dem Entsorgungskonzept für Kernkraftwerke sollen Abfälle aus kerntechnischen Anlagen in Endlagern unbefristet und sicher eingeschlossen werden. Diese Endlager stehen heute noch nicht zur Verfügung. Daher sollten abgebrannte Brennelemente aus den Kernkraftwerken entweder in die beiden zentralen Zwischenlager nach Ahaus (Nordrhein-Westfalen) und Gorleben (Niedersachsen) transportiert werden. Um die damit verbundenen Transporte zu minimieren, werden an den Kernkraftwerken Standortzwischenlager errichtet, um die Brennelemente bis zu ihrer Einlagerung im Endlager in 30 bis 40 Jahren aufnehmen können. Für die Zwischenlagerung werden die Brennelemente in spezielle Transport/Lager-Behälter (→Castor<sup>®</sup>-Behälter) verpackt, die sowohl zum Transport vom Kernkraftwerk zum Zwischenlager als auch als Lagerbehälter dienen. Die 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 ein elektrisches Beschleunigungsfeld durchlaufen, 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. Ein Zyklotron ist nicht geeignet zur Beschleunigung von Elektronen. Wegen der relativistischen Massenzunahme mit wachsender Geschwindigkeit ist die mit einem Zyklotron erreichbare Maximalenergie auf etwa 400 MeV für Protonen begrenzt.



Anhang

Umrechnung von Längeneinheiten

	m	km	in	ft	yd	stat. mile	n mile
1 m	1	0,001	39,3701	3,28084	1,09361		
1 km	1000	1	39370,1	3280,84	1093,61	0,621371	0,539957
1 inch (Zoll)	0,0254		1	0,083333	0,02778		
1 foot (Fuß)	0,3048		12	1	0,3333	0,000189	
1 yard	0,9144		36	3	1	0,000568	
1 statute mile (Landmeile)	1609,344	1,609344	63360	5280	1760	1	0,868976
1 international nautical mile	1852	1,852	72960	6076,12	2025,37	1,15078	1
1 fathom (Faden)	= 6 ft = 1,8288 m; 1 mil = 0,001 in						

## Anhang

### Umrechnung von Flächeneinheiten

	m <sup>2</sup>	a	ha	km <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	in <sup>2</sup>	ft <sup>2</sup>	yd <sup>2</sup>	sq mile	acre
1 m <sup>2</sup>	1	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>4</sup>	1550	10,7639	1,198		
1 a (Ar)	10 <sup>2</sup>	1	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>6</sup>		1076,39			
1 ha (Hektar)	10 <sup>4</sup>	10 <sup>2</sup>	1	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>8</sup>					2,47105
1 km <sup>2</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>2</sup>	1	10 <sup>10</sup>				0,3861	247,105
1 cm <sup>2</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-10</sup>	1	0,155				
1 square inch (Quadratzoll)					6,4516	1				
1 square foot (Quadratfuß)	0,092903				929,03	144	1	0,111		
1 square yard (Quadratyard)	0,836127				8361,27	1296	9	1		
1 square mile (Quadratmeile)			258,999	2,5899				3097600	1	640
1 acre	4046,86	40,4686	0,404686				43560	4840	0,00156	1

## Anhang

### Umrechnung von Volumeneinheiten

	m <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	in <sup>3</sup>	ft <sup>3</sup>	yd <sup>3</sup>	US fl oz	UK fl oz	US gal	UK gal	UK pint
1 m <sup>3</sup>	1	10 <sup>6</sup>	61024	35	1,3	33814	35195	264,2	219,9	1759,8
1 cm <sup>3</sup>	10 <sup>-6</sup>	1	0,061024			0,033814	0,035195			
1 cubic inch (Kubikzoll)		16,3872	1			0,5541	0,5768			0,0288
1 cubic foot (Kubikfuß)	0,0283168	28316,8	1728	1	0,03704	957,5	996,6	7,4805	6,2288	49,831
1 cubic yard (Kubikyard)	0,76456		46656	27	1			201,97	168,18	1345,43
1 US fluid ounce (Flüssigkeits-Unze)		29,574	1,805			1	1,041			
1 UK fluid ounce (Flüssigkeits-Unze)		28,413	1,7339			0,96075	1			0,05
1 US gallon		3785,4	231	0,1337		128	133,23	1	0,8327	6,662
1 UK gallon		4546,09	277,42	0,1605		153,72	160	1,201	1	8
1 UK pint		568,261	34,68	0,02		19,215	20	0,1501	0,125	1

## Anhang

### Umrechnung von Masseinheiten

	kg	g	t	oz	lb	sh cwt	cwt	sh tn	ton
1 kg	1	1000	0,001	35,274	2,20462				
1 g	0,001	1							
1 t	1000		1	35274	2204,62	22,0462	19,685	1,10231	0,98421
1 oz (ounce avoirdupois)		28,35		1	0,0625				
1 lb (pound avoirdupois)	0,45359	453,5924		16	1	0,01	0,0089	0,0005	
1 sh cwt (short hundredweight, US-Einheit)	45,3592				100	1	0,8929	0,05	0,0446
1 cwt (hundredweight, brit. Einheit)	50,8023				112	1,12	1	0,056	0,05
1 sh tn (short ton, US-Einheit)	907,185				2000	20	17,857	1	0,8929
1 ton (brit. Einheit)	1016,05		1,01605		2240	22,4	20	1,12	1
1 ounce (avoirdupois) = 16 drams = 437,5 troy grains; 1 troy ounce = 480 troy grains = 31,103 g									
1 stone (avoirdupois) = 14 lb									

## Anhang

### Umrechnung von Druckeinheiten

	Pa	bar	kp/m <sup>2</sup>	at	atm	Torr	lbf/in <sup>2</sup>
1 Pa	1	10 <sup>-5</sup>	1,019716 · 10 <sup>-1</sup>	1,019716 · 10 <sup>-5</sup>	0,986923 · 10 <sup>-5</sup>	0,750062 · 10 <sup>-2</sup>	145,038 · 10 <sup>-6</sup>
1 bar	10 <sup>5</sup>	1	10,19716 · 10 <sup>3</sup>	1,019716	0,986923	750,062	14,5038
1 kp/m <sup>2</sup> = 1 mm WS	9,80665	0,980665 · 10 <sup>-4</sup>	1	10 <sup>-4</sup>	0,967841 · 10 <sup>-4</sup>	0,735559 · 10 <sup>-1</sup>	1,42244 · 10 <sup>-3</sup>
1 at	0,980665 · 10 <sup>5</sup>	0,980665	10 <sup>4</sup>	1	0,967841	735,559	14,2233
1 atm	101325	1,01325	1,033227 · 10 <sup>4</sup>	1,033227	1	760	14,69595
1 Torr	133,3224	1,333224 · 10 <sup>-3</sup>	13,59510	1,359510 · 10 <sup>-3</sup>	1,315789 · 10 <sup>-3</sup>	1	193368 · 10 <sup>-3</sup>
1 lbf/in <sup>2</sup> = 1 psi (pound-force-per sq. inch)	6,89476 · 10 <sup>3</sup>	68,9476 · 10 <sup>-3</sup>	703,070	70,3070 · 10 <sup>-3</sup>	68,0460 · 10 <sup>-3</sup>	51,7128	1

## Anhang

### Umrechnung von Leistungseinheiten

	kW	PS	hp	kpm/s	kcal/s	Btu/s	ft-lbf/s
1 kW	1	1,35962	1,34102	101,9716	0,238846	0,94781	737,562
1 PS (Pferdestärke)	0,735499	1	0,986320	75	0,1757	0,69712	542,476
1 hp (horsepower)	0,745700	1,01387	1	76,042	0,17811	0,70679	550
1 kpm/s (Kilopondmeter je Sekunde)	$9,807 \cdot 10^{-3}$	0,0133333	0,0131509	1	$2,342 \cdot 10^{-3}$	$9,295 \cdot 10^{-3}$	7,23301
1 kcal/s (Kilokalorie je Sekunde)	4,1868	5,692	5,614	426,939	1	3,96832	3088,05
1 Btu/s (British thermal unit/sec)	1,05505	1,4345	1,4149	107,586	0,251993	1	778,17
1 ft-lbf/s (foot-pound-force/sec)	$1,356 \cdot 10^{-3}$	$1,843 \cdot 10^{-3}$	$1,818 \cdot 10^{-3}$	0,138255	$3,238 \cdot 10^{-4}$	$1,285 \cdot 10^{-3}$	1

## Umrechnung von Energieeinheiten

	J	kWh	PSh	hph	kpm	kcal	Btu	MeV
1 J	1	$2,778 \cdot 10^{-7}$	$3,777 \cdot 10^{-7}$	$3,725 \cdot 10^{-7}$	0,10019716	$2,388 \cdot 10^{-4}$	$9,478 \cdot 10^{-4}$	$6,242 \cdot 10^{12}$
1 kWh (Kilowattstunde)	$3,6 \cdot 10^6$	1	1,35962	1,34102	$3,671 \cdot 10^5$	859,845	3412,14	$2,247 \cdot 10^{19}$
1 PSh (PS-Stunde)	$2,648 \cdot 10^6$	0,735499	1	0,986320	$2,7 \cdot 10^5$	623,41	2509,62	$1,653 \cdot 10^{19}$
1 hph (horse-power hour)	$2,685 \cdot 10^6$	0,745700	1,013870	1	$273,7 \cdot 10^3$	641,186	2544,43	$1,676 \cdot 10^{19}$
1 kpm (Kilopondmeter)	9,80665	$2,724 \cdot 10^{-6}$	$3,70 \cdot 10^{-6}$	$3,653 \cdot 10^{-6}$	1	$2,342 \cdot 10^{-3}$	$9,295 \cdot 10^{-3}$	$6,122 \cdot 10^{13}$
1 kcal (Kilocalorie)	4186,8	$1,163 \cdot 10^{-3}$	$1,581 \cdot 10^{-3}$	$1,560 \cdot 10^{-3}$	426,935	1	3,96832	$2,614 \cdot 10^{16}$
1 Btu (British thermal unit)	1055,06	$2,931 \cdot 10^{-4}$	$3,985 \cdot 10^{-4}$	$3,930 \cdot 10^{-4}$	107,586	0,251996	1	$6,586 \cdot 10^{15}$
1 MeV (Mega-Elektronvolt)	$1,602 \cdot 10^{-13}$	$4,45 \cdot 10^{-20}$	$6,050 \cdot 10^{-20}$	$5,968 \cdot 10^{-20}$	$1,63 \cdot 10^{-14}$	$3,82 \cdot 10^{-17}$	$1,519 \cdot 10^{-15}$	1

## Anhang

# Anhang

## Umrechnung von Krafteinheiten

	N	dyn	kp	lbf
1 N (Newton)	1	$10^5$	0,1019716	0,224809
1 dyn	$10^{-5}$	1	$1,019716 \cdot 10^{-6}$	$2,24809 \cdot 10^{-6}$
1 kp (Kilopond)	9,80665	$9,80665 \cdot 10^5$	1	2,20462
1 lbf (pound-force)	4,44822	$4,44822 \cdot 10^5$	0,453592	1

## Einheiten der Aktivität und Dosis

Physikalische Größe	SI-Einheit	alte Einheit	Beziehung
Aktivität	Becquerel (Bq) 1 Bq = 1/s	Curie (Ci)	1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq 1 Bq $\approx 2,7 \cdot 10^{-11}$ Ci
Energiedosis	Gray (Gy) 1 Gy = 1 J/kg	Rad (rd)	1 rd = 0,01 Gy 1 Gy = 100 rd
Äquivalentdosis	Sievert (Sv) 1 Sv = 1 J/kg	Rem (rem)	1 rem = 0,01 Sv 1 Sv = 100 rem
Ionendosis	Coulomb durch Kilogramm (C/kg)	Röntgen (R)	1 R = $2,58 \cdot 10^{-4}$ C/kg 1 C/kg $\approx 3876$ R

## Präfixe für dezimale Vielfache und Teile von Einheiten

Präfix	Kurzbezeichnung	Faktor
Yotta	Y	$10^{24}$
Zetta	Z	$10^{21}$
Exa	E	$10^{18}$
Peta	P	$10^{15}$
Tera	T	$10^{12}$
Giga	G	$10^9$
Mega	M	$10^6$
Kilo	k	$10^3$
Hekto	h	$10^2$
Deka	da	$10^1$
Dezi	d	$10^{-1}$
Zenti	c	$10^{-2}$
Milli	m	$10^{-3}$
Mikro	$\mu$	$10^{-6}$
Nano	n	$10^{-9}$
Pico	p	$10^{-12}$
Femto	f	$10^{-15}$
Atto	a	$10^{-18}$
Zepto	z	$10^{-21}$
Yocto	y	$10^{-24}$



# Anhang

## Konstanten der Physik

Größe	Symbol	Zahlenwert	Einheit
Vakuumlichtgeschwindigkeit	$c$	299 792 458	$\text{m s}^{-1}$
magnetische Feldkonstante	$\mu_0$	$4 \pi \cdot 10^{-7}$ = 12,566 370 614...	$\text{NA}^{-2}$ $10^{-7} \text{NA}^{-2}$
elektrische Feldkonstante	$\epsilon_0$	$1/\mu_0 c^2$ = 8,854 187 817...	$\text{F m}^{-1}$ $10^{-12} \text{F m}^{-1}$
Gravitationskonstante	$G$	6,6742	$10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$
Elementarladung	$e$	1,602 176 53	$10^{-19} \text{C}$
Atomare Masseneinheit	$u$	1,660 538 86	$10^{-27} \text{kg}$
Planck-Konstante	$h$	6,626 0693	$10^{-34} \text{J s}$
	$\hbar$	1,054 571 68	$10^{-34} \text{J s}$
Avogadro-Konstante	$N_A$	6,022 141 5	$10^{23} \text{mol}^{-1}$
Faraday-Konstante	$F$	9,648 533 83	$10^4 \text{C mol}^{-1}$
Rydberg-Konstante	$R_\infty$	1,097 373 156 8525	$10^7 \text{m}^{-1}$
Feinstrukturkonstante	$\alpha$	7,297 352 568	$10^{-3}$
	$\alpha^{-1}$	137,035 999 11	
Molare Gaskonstante	$R$	8,314 472	$\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$
Molares Normvolumen idealer Gase	$V_m$	22,413 996	$10^{-3} \text{m}^3 \text{mol}^{-1}$
Boltzmann-Konstante	$k$	1,380 650 5	$10^{-23} \text{J K}^{-1}$
Stefan-Boltzmann-Konstante	$\sigma$	5,670 400	$10^{-8} \text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$
Erste Strahlungskonstante	$c_1$	3,741 771 38	$10^{-16} \text{W m}^2$
Zweite Strahlungskonstante	$c_2$	1,438 775 2	$10^{-2} \text{K m}$
von Klitzing-Konstante	$R_K$	2,581 280 7449	$10^4 \Omega$
Bohr-Magneton	$\mu_B$	9,274 009 49	$10^{-24} \text{J T}^{-1}$
Kern-Magneton	$\mu_N$	5,050 783 43	$10^{-27} \text{J T}^{-1}$
Elektron			
Ruhemasse	$m_e$	9,109 382 6	$10^{-31} \text{kg}$
		5,485 799 094 5	$10^{-4} \text{u}$
		0,510 998 918	$\text{MeV}$
spez. Elektronenladung	$e/m_e$	-1,758 820 12	$10^{11} \text{C kg}^{-1}$
Compton-Wellenlänge	$\lambda_{C, e}$	2,426 310 238	$10^{-12} \text{m}$
klassischer Elektronenradius	$r_e$	2,817 940 325	$10^{-15} \text{m}$
magnetisches Moment	$\mu_e$	-9,284 764 12	$10^{-24} \text{J T}^{-1}$
Proton			
Ruhemasse	$m_p$	1,672 621 71	$10^{-27} \text{kg}$
		1,007 276 466 88	$\text{u}$
		938,272 029	$\text{MeV}$
Proton-/Elektronmasse	$m_p/m_e$	1836,152 672 61	
Compton-Wellenlänge	$\lambda_{C, p}$	1,321 409 855 5	$10^{-15} \text{m}$
magnetisches Moment	$\mu_p$	1,410 606 71	$10^{-26} \text{J T}^{-1}$
Neutron			
Ruhemasse	$m_n$	1,674 927 28	$10^{-27} \text{kg}$
		1,008 664 915 60	$\text{u}$
		939,565 360	$\text{MeV}$
Compton-Wellenlänge	$\lambda_{C, n}$	1,319 590 906 7	$10^{-15} \text{m}$
magnetisches Moment	$\mu_n$	-9,662 364 5	$10^{-27} \text{J T}^{-1}$

CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants, 2002