

Glossar zu „365 Gründe gegen Atomkraft“

von Dr. Helmut Hirsch, wissenschaftlicher Berater für nukleare Sicherheit und Risikoforschung

Abklingbecken

Mit Wasser gefülltes Becken im oder nahe beim Reaktorgebäude, in dem die aus dem → Reaktor entnommenen Brennelemente gelagert werden. Erst nach dem Abklingen der Radioaktivität (und damit auch der Wärmeentwicklung) über einige Jahre können die Brennelemente in Behältern transportiert und gelagert werden. Das Abklingbecken enthält u.a. mehr langlebige radioaktive Stoffe als der → Reaktorkern. Bei manchen Reaktortypen (z.B. deutsche → Siedewasserreaktoren der Baulinie 69, ein Teil der US-Kernkraftwerke) ist das Becken erheblich schlechter gegen → Einwirkungen von außen geschützt als der Reaktor, und damit besonders verwundbar.

Abraum, Abraumhalde

Abraum ist der nicht verwertbare Anteil im Bergbau. Er wird in Form von Halden, künstlich aufgeworfenen Hügeln, gelagert. Der Abraum beim Uranbergbau enthält Reste von → Uran, das nicht nur radioaktiv, sondern auch ein chemisch giftiges Schwermetall ist, sowie andere radioaktive Stoffe wie Radium. Durch Auswaschen im Regen können diese Stoffe in Grundwasser und Flüsse geraten.

Anreicherung, Anreicherungsanlage

s. Urananreicherung

Aerosole

Schwebstoffe in der Luft, kleine feste oder flüssige Teilchen. Feine Aerosole gelangen durch Einatmen in die Lunge. Radioaktive Stoffe wie → Plutonium wirken auf diese Weise besonders schädlich.

Alpha-Strahler, Alpha-Strahlung

Manche → Radionuklide, meist schwere Kerne, sind Alpha-Strahler. Dabei werden sog. Alpha-Teilchen emittiert; das sind Kerne von Helium-4, einem → Isotop des Edelgases Helium, die aus je zwei Protonen und Neutronen bestehen.

Alpha-Strahlung kann leicht abgeschirmt werden, ist jedoch sehr gefährlich, wenn Alpha-Strahler mit der Nahrung oder durch Einatmen in den Körper gelangen - etwa nach der Freisetzung einer radioaktiven Wolke bei einem Reaktorunfall.

Atom-U-Boot

U-Boot, das durch einen → Reaktor angetrieben wird; dabei handelt es sich um einen besonders kompakt gebauten → Druckwasserreaktor.

Atom-U-Boote können mit Raketen ausgerüstet sein, deren Gefechtskopf → Atomwaffen enthält (strategische Atom-U-Boote). Andere sind für den Einsatz gegen feindliche Schiffe und U-Boote bestimmt (Jagd-U-Boote).

U-Boot-Reaktoren sind besonderen Belastungen ausgesetzt - sie befinden sich in einem beweglichen System, auf engstem Raum. Die Entsorgung ausgedienter Reaktoren ist kompliziert und teuer und hat insbesondere in Russland bereits zu großen Problemen geführt.

Atombombe, Atomsprengkörper, Atomwaffe

Waffe mit großer Zerstörungskraft, die ihre Energie aus der Spaltung von Uran-235 (→ Uran) und Plutonium-239 (→ Plutonium) bezieht. (Theoretisch könnte auch Uran-233 eingesetzt werden, das bisher nicht in größeren Mengen hergestellt wurde.) Bei der Zündung einer A. wird eine unkontrollierte → Kettenreaktion ausgelöst.

Bei Einsatz modernster Waffentechnik kann eine Plutonium-Bombe aus 2 bis 4 Kilogramm Pu-239, eine Uran-Bombe aus weniger als 15 kg U-235 hergestellt werden. Die Sprengkraft einer A. wird zahlenmäßig als jene Menge des chemischen Sprengstoffs TNT angegeben, die die gleiche Sprengwirkung erzielt (TNT-Äquivalent in 1000 Tonnen (Kilotonnen, kt) oder Millionen Tonnen (Megatonnen, Mt). Die Detonation einer Atombombe hat eine dreifache Wirkung, durch Strahlung, Hitze und Druckwelle.

Die erste Atombombe aller Zeiten wurde am 16. Juli 1945 im Rahmen des Tests „Trinity“ in New Mexico gezündet. Es war eine Plutoniumbombe mit 21 kt Sprengkraft. Am 06. August 1945 wurde die japanische Stadt Hiroshima durch eine Uran-Bombe (13 kt) zerstört, am 09. August 1945 die Stadt Nagasaki durch eine Plutonium-Bombe (22 kt). Seither gab es keinen militärischen Einsatz mehr, jedoch zahlreiche → Atombombentests.

Streng genommen lautet die allgemeine Bezeichnung für eine solche Waffe „Atomsprengkörper“; eine Atombombe ist ein Atomsprengkörper, der als Bombe von einem Flugzeug abgeworfen wird. Im allgemeinen Sprachgebrauch werden jedoch die beiden Begriffe als Synonyme verwendet.

Der ebenfalls oft verwendete allgemeinste Begriff „Atomwaffe“ schließt meist sowohl Atomsprengkörper als auch thermonukleare Sprengkörper (→ Wasserstoffbomben) ein.

Atombombentest

Zündung einer → Atombombe (genauer: eines Atomsprengkörpers) zu Testzwecken. Atombombentests werden in erster Linie im Rahmen der Entwicklung neuer Waffentypen, sowie zur Überprüfung der Auswirkungen der getesteten Waffe durchgeführt. Bisher fanden (einschl. der Tests von → Wasserstoffbomben) etwa 2050 solche Tests statt, davon etwa ein Viertel in der Atmosphäre (oberirdische Tests).

Insbesondere die oberirdischen Tests führten zu weltweitem Fallout sowie zu besonders starker → Kontamination der näheren Umgebung der Testgebiete, in der erhöhte Raten an Krebs und anderen Erkrankungen aufgetreten sind. Durch die unterirdische Durchführung von Tests sollte dies vermieden werden. Es kam dabei jedoch manchmal zu einem Durchbruch der Detonation bis zur Erdoberfläche und damit ebenfalls zu Freisetzungen radioaktiver Stoffe in die Atmosphäre (so genanntes „venting“).

Becquerel, Tera-Becquerel

Einheit für die Aktivität radioaktiver Stoffe. 1 Becquerel bedeutet, dass in der vorliegenden Stoffmenge pro Sekunde ein radioaktiver Zerfall stattfindet. 1 Billion Becquerel werden als 1

Tera-Becquerel bezeichnet; diese Einheit ist für die Angabe der Größe radioaktiver Freisetzungen bei Unfällen geeignet.

Abkürzungen: Bq bzw. TBq.

Beta-Strahler, Beta-Strahlung

Manche → Radionuklide sind Beta-Strahler. Dabei werden sog. Beta-Teilchen emittiert; das sind → Elektronen mit negativer oder positiver Ladung.

Beta-Strahlung ist weniger durchdringend als → Gamma-Strahlung, jedoch schwerer abzuschirmen als → Alpha-Strahlung. Werden Beta-Strahler bei einem Reaktorunfall freigesetzt, können sie Menschen sowohl durch Bestrahlung von außen als auch, nach Aufnahme in den Körper, von innen schädigen.

Bor, Borlösung

Das Element B. (chem. Zeichen B) besteht aus zwei stabilen → Isotopen, von denen Bor-10 ein wirksamer Absorber von → Neutronen ist. Es wird in Form einer Lösung eingesetzt, um die → Kettenreaktion im → Reaktor zu regeln oder auch, um den Reaktor unterkritisch zu halten (d.h. die Kettenreaktion zu unterbinden). Die Einhaltung der vorgesehenen Borkonzentration im Wasser, das in den Reaktor eingespeist wird, ist daher von großer Bedeutung.

In diesem Zusammenhang wird auch von Bor-„Vergiftung“ gesprochen.

Brennelement

Der frische Brennstoff von Atomkraftwerken (angereichertes → Uran oder eine Mischung von Uran und → Plutonium) wird in Tabletten gepresst. Diese werden in lange Zylinder (Hüllrohre, meist aus der Legierung Zircalloy) gefüllt. Dadurch entstehen sog. Brennstäbe. Eine größere Zahl von Brennstäben (einige 100 bei → Druckwasserreaktoren) werden in einem Gestell zu einem Brennelement zusammengefasst.

Durch zu hohe Temperaturen, Korrosion oder andere Einflüsse können Brennelemente beschädigt werden; dies bedeutet meist Undichtigkeit der Hüllrohre und damit Austreten radioaktiver Stoffe.

Brennelemente verbleiben typischerweise einige Jahre im Reaktor. Danach sind sie hoch radioaktiv, mit intensiver Strahlung und Wärmeentwicklung. Sie werden dann als bestrahlte oder abgebrannte Brennelemente bezeichnet.

Brennstoff

s. Brennelement

CANDU

CANadian Deuterium-Uranium Reaktor. Kanadischer Reaktortyp (→ Reaktor), der mit Natururan als → Brennstoff und → schwerem Wasser als → Moderator und Kühlmittel betrieben wird. Der CANDU-Reaktor hat keinen kompakten → Reaktorkern, der sich in einem → Reaktordruckbehälter befindet; vielmehr befinden sich die einzelnen → Brennelemente in Druckröhren, die von Schwerwasser durchströmt und einem Schwerwassertank umgeben sind.

Wie ein → Druckwasserreaktor verfügt ein CANDU über zwei durch → Dampferzeuger verbundene Kühlkreisläufe; der → Primärkreislauf steht unter so hohem Druck, dass das darin befindliche schwere Wasser nicht siedet.

Durch die große Zahl an einzelnen Druckröhren ist der Primärkreislauf eines CANDU sehr kompliziert aufgebaut. Die Wände der Druckröhren sind einem stärkeren → Neutronenfluss ausgesetzt als der Reaktordruckbehälter eines Druckwasserreaktors. Dies führt zu erheblichen Werkstoffproblemen.

Cäsiumquelle

s. Strahlenquelle

Chemische Explosion

Chemische Reaktion, die rasch abläuft und zu einer erheblichen Freisetzung von Energie führt. Eine chem. Explosion ist nicht mit einer atomaren Explosion (unkontrollierte Kettenreaktion wie in einer → Atombombe) zu verwechseln; die Wirkung ist geringer, kann jedoch dennoch sehr zerstörerisch sein.

In der Atomtechnologie werden chemisch explosive Stoffe insbesondere in → Wiederaufarbeitungsanlagen in flüssiger Form eingesetzt. Eine chemische Explosion in einer solchen Anlage kann zur Freisetzung radioaktiver Stoffe führen.

Containment

Weitgehend gasdichte Umhüllung um den → Reaktorkern und die unmittelbar dazugehörigen Rohrleitungen und Komponenten. Bei einem → Druckwasserreaktor ist beispielsweise der gesamte → Primärkreislauf im C. eingeschlossen. Das C. wird häufig auch als Sicherheitsbehälter bezeichnet.

Rohrleitungen, die durch das C. führen, sind mit schnell schließenden Ventilen versehen; der Zugang ins Innere des C. erfolgt durch Schleusen. Das C. soll den bei Unfällen austretenden Dampf aufnehmen und einschließen. Damit soll einerseits ein Entweichen an die Umgebung verhindert werden; andererseits wird der innerhalb des C. kondensierende Dampf im sog. Sumpf als Wasser aufgefangen und kann dann wieder als Kühlmittel eingesetzt werden.

Bei schweren Unfällen kann das C. zerstört werden, beispielsweise durch plötzliche Druckspitzen (etwa bei Wasserstoffexplosion oder Durchschmelzen des → Reaktordruckbehälters bei hohem Innendruck), oder auch durch allmählichen Aufbau von Überdruck. Weiterhin wird beim Versagen von Heizrohren eines → Dampferzeugers das C. umgangen. Ebenso unwirksam ist es beim Versagen der Abschlussventile.

Dampferzeuger

Die Dampferzeuger übertragen bei einem → Druckwasserreaktor oder einem → CANDU die vom → Reaktorkern an das Kühlwasser im → Primärkreislauf abgegebene Wärme an einen zweiten Kühlkreislauf, den → Sekundärkreislauf. Sie werden auf der Sekundärseite mit Wasser bespeist (Speisewasser), das im D. verdampft. Dieser Dampf treibt die Turbinen an.

Auf der Sekundärseite eines D. befinden sich also sowohl Wasser als auch Dampf. Dabei muss die Höhe des Wasserstandes genau geregelt werden. Die so genannten Niveaugler sind wichtig für einen sicheren Betrieb der Anlage.

Um eine gute Wärmeübertragung zu gewährleisten, strömt das heiße primäre Kühlwasser im D. durch viele kleine, dünnwandige Röhren (Heizrohre). Diese Heizrohre stellen eine Schwachstelle der → Druckwasserreaktoren dar. Bei einem Versagen (Leck oder Abreißen eines Röhrens) kann es zu einem → Kernschmelzunfall mit besonders hohen Freisetzung kommen, da das → Containment dabei umgangen wird und keine rückhaltende Wirkung hat.

Dampfexplosion

Schlagartiges Verdampfen einer größeren Wassermenge, aufgrund sehr rascher Erhitzung.

Bei einem → Leichtwasserreaktor kann eine Dampfexplosion im Verlaufe eines → Kernschmelzunfalls eintreten und die Auswirkungen des Unfalles vergrößern.

Deuterium

s. Wasserstoff

Dosis

s. Strahlendosis

Druckbegrenzungsventil

Teil eines Sicherheitssystems bei → Siedewasserreaktoren, das bei gestörter Wärmeabfuhr und Ausfall der → Sicherheits- und Entlastungsventile die Begrenzung des Druckes im Reaktor gewährleisten sollen.

Druckentlastungsventil

s. Sicherheits- und Entlastungsventil

Drucktank

Mehrere Drucktanks sind Teil des → Notkühlsystems bei → Reaktoren vom Typ → RBMK. In diesen Tanks steht Wasser unter Druck; bei einem Druckabfall im Kühlkreislauf des Reaktors wird es automatisch eingespeist, ohne dass Pumpen dazu erforderlich sind. Drucktanks entsprechen den Druckspeichern, die zum Notkühlsystem von Druckwasserreaktoren gehören.

Die D.s können nur für kurze Zeit einen Beitrag zur Notkühlung liefern. Versagen andere Teile des Notkühlsystems, ist eine → Kernschmelze trotz funktionierender D.s unvermeidbar.

Druckwasserreaktor

Reaktortyp (→ Reaktor), Untertyp des → Leichtwasserreaktors. Der D. wurde ursprünglich als Antrieb von → Atom-U-Booten entwickelt und ist daher kompakt gebaut, mit hoher Leistungsdichte. Er ist heute weltweit der am häufigsten betriebene Reaktortyp.

Das Wasser, das den Reaktor kühlt, steht beim D. unter so hohem Druck, dass es nicht siedet. Dieses Druckwasser zirkuliert im sog. → Primärkreislauf und gibt seine Wärme über → Dampferzeuger an den → Sekundärkreislauf ab, an den die Turbine angeschlossen ist.

Aufgrund der hohen Leistungsdichte kommt es bei einem D. bei Ausfall der Kühlung rascher als bei anderen Reaktortypen zu einer → Kernschmelze.

Einwirkungen von außen

In der kerntechnischen Fachsprache übliche Bezeichnung für Gefahren, die von außen auf ein Atomkraftwerk einwirken können. E. v. a. umfassen einerseits natürliche Einwirkungen wie z.B. Erdbeben, extreme Wetterereignisse oder biologische Ablagerungen (Muscheln, Fische, Quallen oder Wasserpflanzen in den Einrichtungen zur Kühlwasserentnahme; Blätter oder Insekten in den Lüftungssystemen). Sie umfassen auch Einwirkungen aufgrund menschlicher Aktivitäten, wie z.B. Explosion eines vorbeifahrenden Gastankers oder unfallbedingter Absturz eines Flugzeugs.

Gezielte Angriffe werden nicht zu den E. v. a. gerechnet, sondern als „Einwirkungen Dritter“ (bei Terror und Sabotage) bzw. „Kriegseinwirkungen“ bezeichnet.

Elektron

Elektrisch negatives Elementarteilchen. In einem Atom umkreisen Elektronen mit negativer Ladung den positiv geladenen Atomkern, sie bilden die sog. Elektronenhülle.

Es gibt auch positiv geladene Elektronen, die sog. Positronen.

Entlastungsventil

s. Sicherheits- und Entlastungsventil

Fallout

Radioaktive Schadstoffe, die nach der Freisetzung durch einen atomaren Unfall (oder auch einen → Atombombentest) in die Atmosphäre gelangt sind, sich mit dem Wind ausgebreitet haben und dann auf die Erde zurückfallen.

Der Fallout nach einem → Kernschmelzunfall kann in vielen hundert Kilometern Abstand noch schwerwiegende Kontaminationen hervorrufen, und weltweit verbreitet werden.

Filterharze

Zur Reinigung von Kühlwasser werden in Atomkraftwerken verschieden Arten von Filtern verwendet; u.a. solche, die Harze enthalten. Wenn diese Filter ihre Kapazität erreicht haben, müssen sie als → radioaktive Abfälle behandelt und gelagert werden.

Gamma-Strahler, Gamma-Strahlung

Elektromagnetische Strahlung, die von einem Atomkern beim radioaktiven Zerfall ausgesandt wird. G. ist physikalisch der Licht- oder Mikrowellenstrahlung verwandt, weist jedoch höhere Energie und kürzere Wellenlänge auf. Fast alle radioaktiven Zerfälle und jede Kernspaltung sind mit der Aussendung von Gamma-Strahlung verbunden.

Gamma-Strahlung ist sehr durchdringend und wirkt z.B. nach einem Reaktorunfall vor allem von außen auf Menschen ein, die sich in → kontaminierten Gebieten aufhalten. Sie wird am besten durch Stoffe mit hoher Dichte und großer Zahl von → Protonen im Kern (d.h. großer „Ordnungszahl“) abgeschirmt.

Halbwertszeit

Jene Zeitspanne, in der bei einem → Radionuklid die Hälfte der vorhandenen Atomkerne zerfallen ist. Die Halbwertszeiten bei verschiedenen Nukliden sind sehr unterschiedlich. So weist

z.B. Uran-238 (→ Uran) eine H. von 4,47 Milliarden Jahren auf. Cäsium-137 (→ Strahlenquelle) hat eine Halbwertszeit von 30,25 Jahren, → Tritium eine solche von 13,33 Jahren. Es gibt auch Radionuklide mit Halbwertszeiten von Bruchteilen einer Sekunde.

Haupttransformator

s. Transformator

Hoch angereichertes Uran

s. Uran

Hochdruck-Einspeisesystem

Teil des → Notkühlsystems, z.B. bei → Druckwasserreaktoren und → Siedewasserreaktoren.

Hotspot

“Heißer Fleck“; umgangssprachliche Bezeichnung für eine relativ kleine Fläche, die in auffälligem Gegensatz zu ihrer Umgebung stark radioaktiv → kontaminiert ist. Ein H. kann nach einem Unfall oder Störfall in einem Reaktor, oder auch nach einem Atombombentest, entstehen.

Hüllrohr

s. Brennelement

IAEA

International Atomic Energy Agency (Internationale Atomenergie-Organisation, IAEA). Die IAEA gehört zu den UN-Institutionen, hat ihren Sitz in Wien und wurde 1957 gegründet. Ihr Ziel ist, den Einsatz der Atomenergie weltweit zu fördern. Gleichzeitig soll sie verhindern, dass sich → Atomwaffen weiter ausbreiten.

Gemäß Artikel III Atomwaffensperrvertrages kontrolliert die IAEA die Aktivitäten der Mitgliedstaaten, um sicherzustellen, dass kein ziviles spaltbares Material (→ Uran und → Plutonium) für militärische Zwecke abgezweigt wird. Wichtige Staaten wie Indien und Israel haben diesen Vertrag bisher nicht unterzeichnet. Außerdem ist die IAEA mit dem grundsätzlichen Problem konfrontiert, dass alle zivilen Atomanlagen auch militärisch eingesetzt werden können - besonders sensitiv in dieser Hinsicht sind die → Urananreicherung und die Wiederaufarbeitung (→ Wiederaufarbeitungsanlage). Damit ist ihre Aufgabenstellung letztlich in sich widersprüchlich.

Im zivilen Atombereich führt die IAEA verschiedene Aktivitäten durch, wie die Unterstützung und Beratung von nationalen Behörden, Ausbildung von Personal und die Ausarbeitung von Richtlinien für die Sicherheit von Atomanlagen, die allerdings relativ allgemein gehalten sind und nur internationale Mindestanforderungen darstellen.

Ionisierende Strahlung

Strahlung, die (direkt oder indirekt) zur Ionisation von Materie führt - d.h. zur Abgabe von → Elektronen durch ein Atom, das dadurch positiv elektrisch geladen wird. Die wichtigsten Arten von ionisierender Strahlung sind: → Alpha-Strahlung, → Beta-Strahlung, → Gamma-Strahlung und → Neutronen-Strahlung.

Isotop

Isotopen sind Varianten eines chemischen Elementes, abhängig von der Zahl der → Neutronen im Kern. Ein Element ist durch eine feste Zahl von → Protonen im Atomkern charakterisiert - → Wasserstoff z.B. verfügt über ein Proton im Kern. Von diesem Element sind drei Isotope bekannt: „Leichter“, normaler Wasserstoff, chem. Zeichen H, ohne Neutron; schwerer Wasserstoff, Deuterium (D), mit einem Neutron im Kern; und überschwerer Wasserstoff, Tritium (T) mit zwei Neutronen.

Isotope eines Elementes haben die gleichen chemischen Eigenschaften, jedoch leicht abweichende physikalische Eigenschaften, was z.B. bei der → Urananreicherung ausgenützt wird.

Der Begriff Isotop wird manchmal umgangssprachlich im Sinne von → Radionuklid oder auch einfach von „radioaktiver Stoff“ verwendet.

Isotopengenerator

Ein I. enthält einen radioaktiven Stoff, z.B. → Plutonium, der durch seinen Zerfall Wärme liefert. Diese wird in Elektrizität umgewandelt. Derartige Generatoren werden zur Stromversorgung in der Raumfahrt oder an abgelegenen Orten auf der Erde (z.B. in Leuchttürmen) eingesetzt. Eine Freisetzung des radioaktiven Inventars kann mit einer beträchtlichen Gefährdung für Menschen verbunden sein.

Als I. werden in der Medizin auch Geräte bezeichnet, die einen langlebigen radioaktiven Stoff enthalten, der in einen kurzlebigen zerfällt. Der kurzlebige Stoff kann dem I. entnommen und medizinisch angewandt werden.

Jod-131

→ Isotop von Jod. Jod-131 (J-131) ist relativ kurzlebig (→ Halbwertszeit - 8,07 Tage), jedoch sehr gefährlich, wenn es in den Körper gelangt. Es reichert sich in der Schilddrüse an und kann Schilddrüsenkrebs hervorrufen.

J-131 wird bei → Kernschmelzunfällen in großen Mengen freigesetzt, ebenso bei Atombombentests.

Kerninstabilität

Druck und Temperatur des Kühlmittels (Wasser) im → Reaktorkern beeinflussen die Kettenreaktion. Es kann insb. bei → Siedewasserreaktoren zu Wechselwirkungen kommen, die Schwingungen im Neutronenfluss bewirken, und damit Instabilitäten im Kern. Dies kann dazu führen, dass die → Hüllrohre von Brennelementen zu stark aufgeheizt werden und versagen.

Kern(innen)instrumentierung

Messgeräte, die zwischen oder in den → Brennelementen im → Reaktorkern eingebaut sind. Mit der K. wird der → Neutronenfluss im Reaktorkern über einen weiten Bereich (vom Anfahren bis zur vollen Leistung) gemessen. Besonders viele Messgeräte decken den Leistungsbereich ab, da für diesen die Verteilung des Neutronenflusses über den Reaktorkern bekannt sein muss.

Zuverlässiges Funktionieren der Kerninstrumentierung ist für den sicheren Reaktorbetrieb unbedingt erforderlich.

Kernkonfiguration

Stellung der → Brennelemente im → Reaktor; auch: Vorgang der Positionierung der Brennelemente im → Reaktorkern.

Kernschmelze, Kernschmelzunfall

Das Abschalten eines → Reaktors beendet die Wärmeproduktion nicht völlig. Die → Kettenreaktion kann zwar unterbrochen werden, nicht aber der Zerfall der radioaktiven Stoffe, von denen sich große Mengen in den → Brennelementen befinden. Ohne Kühlung erhitzt sich daher ein abgeschalteter Reaktor aufgrund dieser → Zerfallswärme immer mehr, bis der Brennstoff schmilzt. Dies kann bei bestimmten Unfallabläufen bereits ca. eine Stunde nach Unfalleintritt beginnen.

Aus der heißen Schmelze werden radioaktive Stoffe freigesetzt.

Kernschmelzunfälle in → Leichtwasserreaktoren können, z.B. bei frühem Versagen des → Containments, zu Freisetzungen führen, die jene beim Unfall in Tschernobyl noch übertreffen. Andere Unfallabläufe führen zu geringeren, in der Umgebung aber immer noch äußerst schwerwiegenden Freisetzungen.

Wenn es der Betriebsmannschaft gelingt, eine ausgefallene Kernkühlung innerhalb kurzer Zeit wieder herzustellen, kann es mit Glück möglich sein, eine Schmelze ganz zu verhindern oder die Situation nach teilweisem Schmelzen (Teilschmelze) des Kerns zu stabilisieren. Auch in diesem Falle ist mit radioaktiven Freisetzungen zu rechnen.

Kernspaltung

s. Kettenreaktion

Kettenreaktion

Grundsätzlich jede Reaktion, die sich selbst erhält. Mit dem Begriff ist jedoch meist eine Spaltungskettenreaktion in der Kerntechnik gemeint.

Bei einer solchen K. nimmt ein Kern eines → spaltbaren Stoffes (Kern eines spaltbaren → Isotops von → Uran oder → Plutonium ein → Neutron auf, zerfällt in zwei oder drei Bruchstücke und sendet weitere Neutronen aus. Diese können erneut Spaltungen von spaltbaren Kernen auslösen usw.

Eine Kettenreaktion ist mit intensiver Neutronenstrahlung und Wärmeentwicklung verbunden. In einem → Reaktor läuft während des Betriebes eine kontrollierte Kettenreaktion ab; in einer → Atombombe wird bei der Zündung gezielt eine unkontrolliert zunehmende Kettenreaktion ausgelöst. Bei der Bearbeitung spaltbarer Stoffe kann es weiterhin, insbesondere wenn diese in flüssiger Form (Lösung) vorliegen, zu einer unbeabsichtigten spontanen Kettenreaktion kommen. Diese muss nicht mit einer Explosion verbunden sein, führt in jedem Fall aber zur Erhitzung der Lösung und zu einem intensiven Schauer von → Neutronen in der Umgebung.

Kontamination, kontaminiert

Bei Kontamination (Verstrahlung) handelt es sich um die Verunreinigung von Menschen, Gebäuden, Flächen, Geräten, Räumen, Wasser, Luft durch radioaktive Stoffe.

Kontrollbereich

Strahlenschutzbereich in einer Atomanlage, also ein Bereich, in dem höhere Strahlenbelastungen von Menschen durch äußere Bestrahlung oder Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper möglich sind.

Die deutsche Strahlenschutzverordnung z.B. definiert einen K. wie folgt: Im Kalenderjahr können Personen eine effektive Dosis von mehr als 6 mSv oder eine Augendosis von mehr als 45 mSv oder eine Dosis von mehr als 150 mSv für Haut, Hände, Unterarme, Füße und Knöchel erhalten (→ Dosis). Dabei wird von einer Aufenthaltszeit von 40 Stunden pro Woche für 50 Wochen pro Jahr ausgegangen.

Kontrollbereiche müssen abgegrenzt werden und sind deutlich sichtbar zu kennzeichnen.

Kontrollstab

Wird auch Steuerstab oder Regelstab genannt. Ein K. dient der Regelung und Kontrolle der Kettenreaktion in einem → Reaktor. Er enthält Stoffe, die → Neutronen absorbieren, z.B. → Bor. Je tiefer ein K. in den → Reaktorkern eingefahren wird, desto mehr Neutronen werden absorbiert und desto niedriger ist die Leistung des Reaktors.

Diese Stäbe werden u.a. für die → Reaktorschnellabschaltung benötigt. Verklemmen oder zu langsames Einfahren kann zu schweren Unfällen führen.

Korrosion

K. ist die Schädigung eines Werkstoffes durch chemische Reaktionen mit Stoffen in der Umgebung, z.B. einer Rohrleitung des → Primärkreislaufs durch Reaktion mit dem Kühlmittel. Eine ebenfalls vorhandene mechanische Belastung kann Korrosion begünstigen (z.B. bei Spannungsrisskorrosion).

Es gibt viele verschiedene Korrosionsarten, z.B. Flächenkorrosion, Lochfraß, Spaltkorrosion und interkristalline Korrosion.

Kritikalitätsunfall

Unkontrollierte und unbeabsichtigte → Kettenreaktion. Bei der Handhabung spaltbarer Stoffe sind umfangreiche Vorsichtsmaßnahmen erforderlich, um Kettenreaktionen zu vermeiden. Bei Pannen oder Fehlhandlungen - z.B. überschreiten zulässiger Spaltstoffkonzentrationen in Lösungen, oder irrtümliches Entfernen von → Kontrollstäben aus einem → Reaktor - kann es zur Kritikalität kommen, d.h. eine Kettenreaktion setzt ein. Die Umgebung wird einem Schauer von → Neutronen ausgesetzt.

Leichtwasserreaktor

→ Reaktor, der mit „leichtem Wasser“ (H_2O) → moderiert und gekühlt ist; im Gegensatz zu → „schwerem Wasser“ (D_2O). Bei einem Leichtwasserreaktor ist der → Reaktorkern von einem → Reaktordruckbehälter umschlossen und wird von Wasser durchströmt, das die Wärme der Kettenreaktion aufnimmt.

Der L. wird weltweit häufig als Kraftwerksreaktor eingesetzt. Es gibt zwei unterschiedliche Bauweisen: → Druckwasserreaktoren und → Siedewasserreaktoren.

Leistungsbetrieb

Betrieb eines Kraftwerkes zur Stromerzeugung, schließt An- und Abfahren sowie Laständerungen ein.

Probetrieb mit → Kettenreaktion bei Nullleistung bzw. Prüfungen bei niedriger Leistung werden nicht zum Leistungsbetrieb gerechnet.

Leuchtturmgenerator

s. Isotopengenerator

Moderator, moderieren

Die bei der Kernspaltung entstehenden → Neutronen sind energiereich („schnell“). Bei fast allen zurzeit weltweit kommerziell genutzten Reaktortypen (→ Reaktor) wird die → Kettenreaktion durch „langsame“ → Neutronen aufrechterhalten - d.h. durch Neutronen, die nach ihrem Entstehen abgebremst wurden. Dadurch sind die Reaktoren leichter regelbar.

Der M. dient dabei als Neutronenbremse - die schnellen Neutronen geben in wiederholten Kollisionen mit den Atomkernen des M. ihre Energie ab. Diese Energieabgabe funktioniert am besten, wenn die Kerne des Moderators leicht sind. Daher ist normales („leichtes“) Wasser H_2O als Moderator hervorragend geeignet; → schweres Wasser D_2O etwas weniger, aber immer noch sehr gut. In manchen Reaktortypen wird Kohlenstoff in Form von Graphit als M. eingesetzt.

Natrium

In der Natur häufig vorkommendes, leichtes Metall (gehört zur Gruppe der Alkalimetalle). Aufgrund seines relativ niedrigen Schmelzpunktes ($97,7^\circ C$) und seiner guten Wärmeübertragungseigenschaften wird es in → Schnellen Brutreaktoren als Kühlmittel eingesetzt. Dies führt jedoch zu Sicherheitsproblemen, da Natrium mit Wasser und Luft heftig reagiert (Entstehung von Bränden, u.U. auch Explosionen). Außerdem ist flüssiges Natrium korrosiv (→ Korrosion).

Natururan

s. Uran

Nebenkühlwassersystem, -pumpe

Kühlsystem, bestehend aus Rohrleitungen, Kühlern und Pumpen, das im normalen Reaktorbetrieb benötigt wird, jedoch auch sicherheitstechnisch wichtige Aufgaben hat. Es ist für die Wärmeabfuhr nach bestimmten Störfällen unbedingt erforderlich.

Neutron, Neutronenfluss

Ein N. ist ein elektrisch neutrales Elementarteilchen. Neutronen und → Protonen bilden den Atomkern. Bei einer → Kettenreaktion sind freie Neutronen in Bewegung.

Während des Betriebes im → Reaktorkern ist die Zahl der Neutronen, die durch → Kernspaltung entstanden sind und im Brennstoff und zwischen den → Brennelementen frei herumfliegen, sehr groß. Die Dichte des Neutronenflusses wird in Neutronen pro Quadratzentimeter und Sekunde angegeben; sie ist proportional zur Leistung des Reaktors.

Neutronen entstehen nicht nur während der Kettenreaktion im Reaktor. Es gibt Stoffe, die Neutronen-Strahlung aussenden. Dabei handelt es sich um schwere Radionuklide, die sich spontan, ohne äußeren Anstoß, spalten und dabei Neutronen abgeben (z.B. Curium-244). Auch die kosmische Strahlung enthält einen Neutronen-Anteil. Neutronen-Strahlung ist durch besonders hohe Schadwirkung auf Organismen gekennzeichnet. Das genaue Ausmaß ihrer biologischen Gefährlichkeit war in den letzten Jahren Gegenstand wissenschaftlicher Kontroversen.

Neutronen-Strahlung

s. Neutron

Notabschaltung

s. Reaktorschnellabschaltung

Notkühlsystem (Notkühlung)

Das N. ist das Kühlsystem eines → Reaktors, das bei Ausfall der betrieblichen Wärmeabfuhr nach Abschalten des Reaktors zur Abfuhr der → Zerfallswärme dient. Es besteht im Allgemeinen aus mehreren Teilsystemen; bei einem → Druckwasserreaktor beispielsweise aus einem Hochdruck- und einem Niederdrucksystem (Einspeisung durch Pumpen) sowie den Druckspeichern (Einspeisung durch Überdruck im Behälter).

Die Teile des Notkühlsystems bestehen ihrerseits wieder aus mehreren parallelen Strängen (→ Redundanz), was die Sicherheit erhöht. Mehrfach-Ausfälle durch eine gemeinsame Ursache (z.B. Bildung von Gasblasen in Pumpen) sind jedoch möglich. Weiterhin gibt es Ereignisse, wie etwa das Bersten des → Reaktordruckbehälters, die vom Notkühlsystem nicht beherrscht werden und auch bei dessen Funktionieren zur → Kernschmelze führen.

Notstandssystem, Notstandsstromversorgung

Das Notstandssystem soll bei Störfällen infolge → Einwirkungen von außen die Kühlung des → Reaktors sicherstellen. Es ist bei vielen Atomkraftwerken in einem eigenen Gebäude untergebracht und verfügt über eigene Wasservorräte, über Leitungen zur Einspeisung von Kühlmittel in den Kühlkreislauf des Reaktors sowie (bei → Druckwasserreaktoren) in die → Dampferzeuger sowie über eine eigene Notstandsstromversorgung (Notstandsgenerator).

Bei einer Zerstörung des Reaktorgebäudes mit schwerer Beschädigung des Kühlsystems kann das Notstandssystem keine Wirksamkeit entfalten. Insb. bei Altanlagen ist sein Schutz gegen Einwirkungen von außen mangelhaft - vor allem für den Fall des Absturzes eines großen Verkehrsflugzeugs.

Notstromfall, Notstromsystem, Notstrom-Dieselmotor

Ein Atomkraftwerk benötigt kontinuierliche und zuverlässige Stromversorgung für sicherheitstechnisch wichtige Systeme. Während des Betriebes wird diese vom erzeugten Strom ausgekoppelt. Ist der → Reaktor abgeschaltet, erfolgt eine Versorgung vom Netz her.

Fällt die Verbindung zum Netz bei laufendem Reaktor aus, kann zunächst versucht werden, den Reaktor auf Eigenbedarf hinunter zu fahren. Die Wahrscheinlichkeit, dass dies misslingt, ist relativ hoch.

Wenn bei nicht bestehender Netzverbindung der Reaktor abgeschaltet werden muss, oder bei abgeschaltetem Reaktor die Verbindung zum Netz abreißt, tritt der Notstromfall ein: Die Notstrom-Dieselgeneratoren des Notstromsystems werden eingeschaltet und versorgen die Sicherheitssysteme. Es sind mehr Dieselgeneratoren vorhanden, als erforderlich (→ Redundanz). Andererseits sind Dieselaggregate störanfällig. Bei längeren Anforderungszeiten, etwa im Falle von großräumigen wetterbedingten Katastrophenzuständen, kann überdies das rechtzeitige Heranschaffen von Dieseltreibstoff zum Problem werden.

Versagen in einem Notstromfall die Dieselgeneratoren, bzw. haben sie keinen Treibstoff mehr, dann kommt es zu einem schweren Unfall mit → Kernschmelze.

Plutonium

Künstliches Element, Nr. 94 im Periodensystem. Chem. Zeichen Pu. Plutonium entsteht im Reaktor durch Einfang von → Neutronen aus dem Uran-238 (→ Uran). Dieses „Reaktor-Plutonium“ enthält die → Isotope Plutonium-238 bis Plutonium-242, wobei Pu-239 mit einem Anteil von typischerweise gut 60 Prozent dominiert. Die genannten Pu-Isotope sind → Alpha-Strahler mit Ausnahme von Pu-241, das → Beta-Strahlung aussendet.

Die Isotope Pu-239 und Pu-241 sind durch Neutronenbeschuss spaltbar und können eine Kettenreaktion aufrechterhalten. Insbesondere das langlebige Pu-239 kann als → Brennstoff für → Reaktoren sowie zum Bau von Kernwaffen verwendet werden. Reaktor-Plutonium ist zum Waffenbau geeignet; im Allgemeinen wird dazu jedoch in speziellen Reaktoren hergestelltes Waffen-Plutonium mit über 90 Prozent Pu-239 verwendet.

Plutonium ist hochgiftig, besonders bei Inhalation.

Plutoniumextraktion

In → Wiederaufarbeitungsanlagen wird aus den abgebrannten → Brennelementen u.a. Plutonium abgetrennt. Die Stufe des Wiederaufarbeitungsprozesses, in der dies geschieht, wird als Plutoniumextraktion bezeichnet.

Primärkreislauf, Primärkühlkreislauf, Primärsystem

Bei Atomkraftwerken mit zwei Kühlkreisläufen zwischen → Reaktor und Turbine (z.B. → Druckwasserreaktor oder → CANDU) wird der erste, zwischen Reaktor und → Dampferzeuger, als Primärkreislauf oder Primärkühlkreislauf bezeichnet; auch der Ausdruck Primärsystem ist gebräuchlich. Das Kühlmittel im Primärkreislauf ist radioaktiv.

Der Primärkreis von Druckwasserreaktoren besteht meist aus vier, bei manchen Anlagen auch aus zwei oder drei parallelen Strängen, die an den Reaktordruckbehälter angeschlossen sind. Jeder Strang besteht aus Hauptkühlmittelleitung und Hauptkühlmittelpumpe und ist mit der sog. Primärseite eines → Dampferzeugers verbunden. An einen der Stränge ist weiterhin über die Volumenausgleichsleitung der Druckhalter angeschlossen, ein Behälter, der zur Feinregelung des Druckes im Primärkreislauf dient.

An den Primärkreislauf sind außerdem verschiedene Regelungs-, Reinigungs- und Sicherheitssysteme angeschlossen, z.B. das → Notkühlsystem.

Proton

Ein P. ist ein elektrisch positiv geladenes Elementarteilchen. → Neutronen und Protonen bilden den Atomkern.

Radioaktive Abfälle

Radioaktive Stoffe, die keiner weiteren Nutzung mehr zugeführt werden können und daher als Abfall entsorgt werden müssen.

R. A. fallen in allen Bereichen der Atomenergienutzung (sowie auch bei militärischen Atomprogrammen und der Nutzung radioaktiver Stoffe in Medizin, Forschung und Industrie) an; die größten Mengen entstehen beim Uranbergbau und dem Betrieb von Reaktoren. Der Grossteil der Radioaktivität konzentriert sich in den abgebrannten → Brennelementen aus Atomkraftwerken. Werden diese wiederaufgearbeitet (→ Wiederaufarbeitungsanlage), vervielfältigt sich ihr Volumen.

R. A. weisen die unterschiedlichsten Eigenschaften auf. Sie können in flüssiger oder fester Form entstehen, sind teilweise brennbar und enthalten eine Vielzahl radioaktiver Stoffe mit den verschiedensten → Halbwertszeiten. Auch die Mengen radioaktiver Stoffe, die sie enthalten, schwanken erheblich. Hoch radioaktive Abfälle geben derart intensive Strahlung ab, dass ohne Abschirmung schon eine Aufenthaltszeit von Sekunden in ihrer Nähe tödlich sein kann. Bei geringeren Konzentrationen an radioaktiven Stoffen wird von mittelradioaktiven und schwachradioaktiven Abfällen gesprochen.

R. A. müssen behandelt (d.h. in eine möglichst stabile Form gebracht) werden, um die Gefahr einer radioaktiven Freisetzung möglichst zu verringern. Dies geschieht z.B. durch Einbindung in Glas oder Zement. Weltweit werden erhebliche Mengen von Abfällen flüssig gelagert, weil eine rasche Verfestigung zu kompliziert und gefährlich ist.

Nach der Behandlung werden sie zunächst provisorisch aufbewahrt (in sog. Zwischenlagern). Sie sollen schließlich in ein Endlager verbracht werden, also in eine Einrichtung, in der sie für unbegrenzte Zeit sicher aufbewahrt und eingeschlossen bleiben.

Die Abfälle durchlaufen also verschiedene Stadien; im Allgemeinen befinden sich die verschiedenen Einrichtungen zur Lagerung und Behandlung nicht alle am gleichen Ort, so dass Transporte erforderlich werden, bei denen die Gefahr von Unfällen bzw. Terror-Anschlägen besteht.

Das weltweit für die Endlagerung bevorzugte Konzept ist zurzeit die Lagerung im tiefen geologischen Untergrund, also in einem Bergwerk. Endlager wurden jedoch bisher nur für schwach- und mittelradioaktive Abfälle errichtet, wobei zahlreiche Probleme auftraten (z.B. in den deutschen Endlagern Asse und Morsleben). Die Endlagerung hoch radioaktiver Abfälle (diese schließen abgebrannte Brennelemente, soweit sie nicht wiederaufgearbeitet werden, ein) ist weltweit ungelöst.

Manche Abfallarten, insb. ein Teil der Abfälle aus der medizinischen Anwendung radioaktiver Stoffe, enthalten ausschließlich → Radionuklide mit sehr kurzer → Halbwertszeit. Bei diesen, und nur bei diesen, Abfällen kann eine kontrollierte Lagerung über einige Jahrzehnte ausreichen - danach sind die radioaktiven Stoffe praktisch vollständig zerfallen. Radioaktive Abfälle aus der Atomenergienutzung stellen jedoch für viel längere Zeiträume eine Bedrohung dar. Sie enthalten Radionuklide wie z.B. Plutonium-239 (→ Plutonium) mit einer Halbwertszeit von 24.204 Jahren und Jod-129 (Halbwertszeit 16.000.000 Jahre). Als Faustregel gilt, dass nach zehn Halbwertszeiten die ursprünglich vorhandene Menge auf ein Tausendstel zerfallen ist.

Hoch radioaktive Abfälle mit ihrer hohen Konzentration radioaktiver Schadstoffe stellen eine einzigartige Gefährdung dar, die mit keiner anderen vom Menschen produzierten Abfallart verglichen werden kann - für Zehntausende von Jahren. Nach einigen Hunderttausend Jahren tritt die Strahlengefahr, obwohl immer noch beträchtlich, relativ gesehen allmählich in den Hintergrund. Die Gefährdung aufgrund der chemischen Toxizität der Abfälle gewinnt zunehmend

an Bedeutung. Eine Deponie radioaktiver Abfälle nähert sich dann von der Toxizität her insgesamt einer Schwermetall-Deponie an. Diese chemische Toxizität ist praktisch ohne jede zeitliche Begrenzung gegeben - das Uran-Isotop U-238 (→ Uran), von dem eine relativ geringe Strahlengefahr ausgeht, das aber wie alle Uran-Isotope chemisch giftig ist, hat eine Halbwertszeit von 4,47 Milliarden Jahren. Außerdem befinden sich in einem Endlager auch stabile giftige Schwermetalle wie Blei.

Radionuklid

Ein Nuklid ist ein Stoff, der sowohl durch eine feste Zahl der → Protonen wie von → Neutronen im Kern charakterisiert ist; d.h. ein bestimmtes → Isotop eines Elementes. Ein R. ist ein radioaktives Nuklid.

RBMK

Reaktor Bolshoi Moshnosty Kanalny, d.h. Hochleistungs-Kanalreaktor. Reaktortyp (→ Reaktor), der in der ehem. Sowjetunion als Zwei-Zweck-Reaktor (zur Erzeugung von Strom und Bombenrohstoff) entwickelt wurde. Der RBMK verwendet normales, „leichtes“ Wasser (H₂O) als Kühlmittel und Graphit als → Moderator. Die → Brennelemente befinden sich nicht in kompakter Form in einem → Reaktordruckbehälter, sondern in einzelnen Druckröhren, die von Wasser durchströmt und von Graphitblöcken umgeben sind. Wie bei einem → Siedewasserreaktor wird der Dampf, der die Turbine treibt, direkt im Reaktor erzeugt.

Die Reaktoren des Atomkraftwerks Tschernobyl gehörten zu diesem Reaktortyp, der mit gravierenden Sicherheitsmängeln behaftet ist. Es besteht unter bestimmten Umständen die Gefahr einer explosiven Leistungszunahme; der Graphit-Moderator ist brennbar und der Aufbau des Kühlkreislaufes mit vielen Druckröhren, die einer sehr intensiven Neutronenstrahlung ausgesetzt sind, führt zu schwerwiegenden Werkstoffproblemen.

Reaktor

Vorrichtung, in der eine kontrollierte → Kettenreaktion auf der Basis der Kernspaltung eines → spaltbaren Stoffes durchgeführt werden kann. Zentrales Stück des Reaktors ist der Reaktorkern, in dem die Kettenreaktion stattfindet. Der Reaktorkern umfasst die → Brennelemente und deren Halterung, → Kontrollstäbe, → Kerninstrumentierung, → Kühlmittel sowie bei fast allen Reaktortypen auch den → Moderator zur Abbremsung der Neutronen.

Als Kühlmittel wird meist Wasser eingesetzt; es gibt auch gasgekühlte sowie mit dem Metall → Natrium gekühlte Reaktoren. Das Kühlmittel Wasser fungiert oft auch als Moderator. Ein anderes verbreitetes Moderator material ist Graphit.

Wichtige zurzeit kommerziell eingesetzte Reaktortypen mit Moderator („thermische Reaktoren“) sind → CANDU, → Druckwasserreaktor, → RBMK, → Siedewasserreaktor und Fortschrittener Gasgekühlter Reaktor (AGR). Druck- und Siedewasserreaktoren gehören zu den → Leichtwasserreaktoren, bei denen Moderator und Kühlmittel identisch sind. Der Kern eines modernen Druckwasserreaktors umfasst etwa 200 Brennelemente mit etwa 100 t Brennstoff.

Der wichtigste Reaktortyp ohne Moderator ist der → Schnelle Brutreaktor.

Neben Reaktoren zur Stromerzeugung (Kraftwerksreaktoren) werden Reaktoren zum Schiffsantrieb (→ Atom-U-Boote), zu Forschungszwecken sowie zur Produktion von radioaktiven Stoffen für Medizin, Forschung und Industrie sowie Militär eingesetzt. Kraftwerksreaktoren werden gelegentlich auch zu Bereitstellung von Fernwärme verwendet.

Der Begriff Reaktor wird auch in der Chemie verwendet - für Einrichtungen, in denen chemische Reaktionen ablaufen. Aufgrund des unterschiedlichen Zusammenhanges besteht im Allgemeinen kaum Verwechslungsgefahr.

Reaktordruckbehälter

Zylindrischer Stahlbehälter, der bei → Leichtwasserreaktoren den → Reaktorkern umschließt. Der Stahl ist während des Reaktorbetriebes einer intensiven Neutronenstrahlung (→ Neutronen) ausgesetzt, die versprödet wirkt; er steht unter hohem Druck. Bersten des R. kann von den Sicherheitssystemen nicht beherrscht werden und führt zwangsläufig zu einem schweren Unfall mit → Kernschmelzen.

Reaktorkern

s. Reaktor

Reaktorschnellabschaltung

Auch Notabschaltung. Bei einer Schnellabschaltung werden die → Kontrollstäbe innerhalb weniger Sekunden vollständig in den → Reaktorkern eingebracht. Die → Kettenreaktion kommt damit zum Stillstand. Die R. muss aus jeder Stellung der Kontrollstäbe heraus und bei jedem Betriebsdruck möglich sein. Sein Ausfall kann zu einem schweren Unfall führen.

Bei → Druckwasserreaktoren fallen die → Kontrollstäbe von oben durch Schwerkraft in den Reaktorkern; bei → Siedewasserreaktoren müssen sie von unten hydraulisch eingeschossen werden.

Eine R. ist im Allgemeinen mit einem Schnellschluss der Turbine verbunden und führt zu starken Belastungen im → Primärkreislauf.

Reaktorschutzsystem

System zur Steuerung von Sicherheitsmaßnahmen. Das R. überwacht andauernd mit Hilfe von Messfühlern jene Kenngrößen eines → Reaktors, die für die Sicherheit wichtig sind, z.B. Reaktorleistung, Druck im → Primärkreislauf, Füllstand der → Dampferzeuger. Wenn die überwachten Größen bestimmte Grenzwerte überschreiten, löst es automatische Schutzaktionen aus, wie z.B. eine → Reaktorschnellabschaltung.

Störungen im Reaktorschutzsystem können zu Situation führen, in denen die Betriebsmannschaft den Zustand des Reaktors nicht mehr genau bestimmen kann, und letztlich zu schweren Unfällen.

Redundanz, redundant

Wichtige Sicherheitssysteme werden in Atomkraftwerken mehrfach (redundant) angeordnet, in größerer Zahl, als unbedingt erforderlich. In vielen Ländern sind mindestens zwei Systeme mehr vorhanden, als benötigt werden - also z.B. vier mit jeweils 50 Prozent der erforderlichen Leistung, oder drei mit jeweils 100 Prozent.

Mehrfache Ausfälle mit gemeinsamer Ursache können sämtliche Komponenten eines redundanten Systems betreffen und damit trotz Redundanz einen schweren Unfall hervorrufen - etwa bei einem Fertigungsfehler, der in einer ganzen Serie von Pumpen, Ventilen o.ä. auftritt, oder bei einem Angriff auf das Reaktorgelände, der zu großflächigen Zerstörungen führt.

Revision

Regelmäßiger Stillstand eines Atomkraftwerkes, etwa in Jahresabständen, bei dem meist ein Teil der → Brennelemente gewechselt sowie verschiedene → wiederkehrende Prüfungen, Wartungsarbeiten und Reparaturen durchgeführt werden.

Die Arbeiten bei einer Revision sind für die Sicherheit eines Atomkraftwerkes von großer Bedeutung. Dennoch besteht bereits seit mehreren Jahren der Trend, die Zeiten für Revisionen aus wirtschaftlichen Gründen möglichst zu verkürzen.

Schnellabschaltung

s. Reaktorschnellabschaltung

Schneller Brutreaktor, schneller Brüter

Bei einem schnellen → Reaktor wird die → Kettenreaktion überwiegend durch schnelle → Neutronen aufrechterhalten. Es gibt keinen → Moderator als Neutronenbremse. Damit fallen auch Neutronenverluste im Moderator weg. Andererseits gestaltet sich die Regelung bei einem schnellen Reaktor komplizierter.

Der zurzeit wichtigste Typ des schnellen Reaktors ist der Schnelle Brutreaktor (Schneller Brüter). Die Grundidee bei diesem Reaktortyp ist es, aus dem Uran-Isotop U-238 (→ Uran), das nicht als Kernbrennstoff geeignet ist, spaltbares Plutonium-239 (→ Plutonium) herzustellen. Damit könnten theoretisch die Uran-Reserven der Welt um mehr als das Hundertfache besser ausgenutzt werden.

Der Schnelle Brüter weist jedoch Sicherheitsprobleme auf, die noch über jene der → Leichtwasserreaktoren hinausgehen. Bei diesem Reaktortyp sind nukleare Explosionen möglich, die zur Zerstörung des Reaktorgebäudes und Verteilung großer Mengen radioaktiver Schadstoffe, insb. auch von Plutonium, in der Umgebung führen. Außerdem wird als Kühlmittel → Natrium eingesetzt, das mit Wasser und Luft heftig reagiert.

Ein weiteres Problem des Schnellen Brüters besteht darin, dass das erzeugte Plutonium einen sehr hohen Anteil an dem → Isotop Pu-239 aufweist und daher besonders gut für die Herstellung von → Atombomben geeignet ist. Ein Schneller Brüter ist also für militärischen Missbrauch besonders anfällig.

Vor einigen Jahrzehnten wurden Brutreaktoren von der Nuklearindustrie als Energiequelle der Zukunft dargestellt, für die die Brennstoff-Reserven für Jahrtausende reichen sollten. Vor allem aufgrund der Sicherheitsprobleme sowie der hohen Kosten dieser Technologie konnte sich diese Reaktorlinie jedoch nicht durchsetzen. Zurzeit sind lediglich drei Anlagen dieses Typs in Betrieb. Der Schnelle Brüter in Kalkar (Deutschland) wurde komplett errichtet, aber niemals in Betrieb genommen.

Schwerwasser, schweres Wasser

→ Wasserstoff hat verschiedene → Isotope. Bei dem häufigsten besteht der Atomkern aus einem einzelnen → Proton. Dieses Isotop hat das chemische Zeichen H und bildet mit Sauerstoff normales Wasser („leichtes Wasser“) H₂O. Ein weiteres, ebenfalls in der Natur vorkommendes, nicht radioaktives Isotop ist Deuterium, dessen Kern aus einem Proton plus einem → Neutron besteht. Die Verbindung mit Sauerstoff, D₂O, wird als Schwerwasser oder schweres Wasser bezeichnet.

Schweres Wasser absorbiert weniger Neutronen als leichtes Wasser, schwächt eine → Kettenreaktion also weniger ab. Es gibt Reaktortypen (→ Reaktor), die mit schwerem Wasser gekühlt und → moderiert werden (→ CANDU). Dabei wird das schwere Wasser intensiver Bestrahlung durch → Neutronen ausgesetzt. Durch die Aufnahme eines Neutrons entsteht aus Deuterium das radioaktive Isotop → Tritium, das schwere Wasser wird also radioaktiv.

Sekundärkreislauf

Bei Atomkraftwerken mit zwei Kühlkreisläufen zwischen → Reaktor und Turbine (z.B. → Druckwasserreaktoren oder → CANDU) wird der zweite, zwischen → Dampferzeuger und Turbine, als Sekundärkreislauf bezeichnet.

Der Sekundärkreislauf von Druckwasserreaktoren besteht, entsprechend der Anordnung des Primärkreislaufes, meist aus vier, bei manchen Anlagen auch aus zwei oder drei parallelen Strängen. Jeder Strang besteht aus Frischdampfleitung (vom Dampferzeuger zur Turbine) und Speisewasserleitung (von der Turbine zum Dampferzeuger).

An den Sekundärkreislauf sind verschiedene Sicherheitssysteme angeschlossen, z.B. die Frischdampf-Sicherheitsventile und das Notspeisewassersystem.

Sicherheits- und Entlastungsventil

Die S. u. E. sind in Siedewasserreaktoren die wichtigsten Komponenten zur Druckbegrenzung und Druckentlastung im Kühlkreislauf des Reaktors. Sie blasen Dampf aus dem → Reaktordruckbehälter in ein Wasserbecken (Wasservorlage der sog. Kondensationskammer), wo dieser Dampf kondensiert. Dadurch wird Druck abgebaut.

Die S. u. E. sind mehrfach vorhanden (hohe → Redundanz). Bei Versagen der Druckentlastung (Nicht-Öffnen der Ventile - etwa durch einen gemeinsamen Fertigungsfehler) bei einem Störfall kann aufgrund zu hohem Druckes im Reaktordruckbehälter eine rechtzeitige Einspeisung ausreichender Wassermengen durch die → Notkühlsysteme unmöglich werden. Kommt es andererseits zu einem Fehlöffnen und Offenbleiben von Sicherheits- und Entlastungsventilen, sind störanfällige Handmaßnahmen erforderlich, um die Kühlung zu gewährleisten.

Sicherheitsbehälter

s. Containment

Sicherheitsventil

Ventil zur Druckbegrenzung, das bei einem bestimmten Druck automatisch öffnet. Bei → Druckwasserreaktoren ist z.B. der Druckhalter im → Primärkreislauf mit Sicherheitsventilen ausgestattet, bei → Siedewasserreaktoren der Kühlkreislauf mit Sicherheits- und → Entlastungsventilen.

Siedewasserreaktor

Reaktortyp (→ Reaktor), der aus dem → Druckwasserreaktor entwickelt wurde; Untertyp des → Leichtwasserreaktors. Nach dem Druckwasserreaktor weltweit der am zweithäufigsten betriebene Reaktortyp. Im S. wird im Reaktorkern Dampf erzeugt, der direkt zur Turbine geleitet wird.

Die Regelung eines S. ist komplizierter als die eines Druckwasserreaktors, da sich flüssiges Wasser und Dampf gemischt im Kern befinden. Während des Betriebes eines S. können daher Instabilitäten des \rightarrow Neutronenflusses im \rightarrow Reaktorkern, verbunden mit lokalen Leistungsschwankungen, auftreten.

Sievert

s. Dosis

Spaltbare Stoffe

Stoffe, deren Kerne durch \rightarrow Neutronen spaltbar sind; d.h. die Kerne zerfallen durch Einwirkung des Neutrons in zwei oder mehrere Bruchstücke. Bei bestimmten \rightarrow Isotopen von \rightarrow Uran und \rightarrow Plutonium werden bei der Spaltung wiederum Neutronen frei, so dass es zu einer \rightarrow Kettenreaktion kommen kann.

Speisewasser

s. Dampferzeuger

Strahlendosis

S. ist ein Maß für die aufgenommene Menge an \rightarrow ionisierender Strahlung.

Die Energiedosis gibt die absorbierte Strahlungsenergie an; sie ist eine rein physikalische, also messbare Größe und wird in der Einheit Gray oder Milligray (Gy bzw. mGy) gemessen.

Die biologische wirksame Dosis wird in der Einheit Sievert oder Millisievert (Sv bzw. mSv) angegeben. Sie wird aus der Energiedosis und der biologischen Wirksamkeit der vorliegenden Strahlungsart ermittelt. (Bei gegebener Energiedosis ist z.B. \rightarrow Neutronen-Strahlung sehr viel wirksamer als \rightarrow Gamma-Strahlung.) Die biologisch wirksame Dosis ist somit nicht direkt messbar und eine bloße Rechengröße, die mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist.

Die „effektive Dosis“ ist ein Maß für die Gesamtbelastung des menschlichen Körpers; es kann auch zweckmäßig sein, Dosen für spezielle Organe anzugeben (so belastet etwa das Jod-Isotop \rightarrow Jod-131 besonders die Schilddrüse).

Grenzwerte für die zulässige Dosis sollen die Gefährdung durch Strahlung in einem akzeptablen Rahmen halten. In Deutschland z.B. beträgt der Grenzwert für die jährliche Strahlendosis (effektive Dosis) für beruflich mit Strahlung belastete Personen 20 mSv; der Grenzwert für die allgemeine Bevölkerung für die Strahlenbelastung durch radioaktive Abgaben von Atomanlagen über Abwasser und Abluft beträgt jeweils 0,3 mSv.

Eine hohe Strahlendosis führt zu akuter Strahlenkrankheit. Auswirkungen treten etwa ab 0,2 Sv, bei empfindlichen Menschen schon bei niedrigeren Werten, auf. Ab 2 Sv ist mit Todesfällen zu rechnen, Dosen über 6 Sv führen praktisch immer zum Tode.

Niedrige Strahlendosen führen zu Strahlenschäden anderer Art - Krebserkrankungen, genetische Schäden sowie auch andere Erkrankungen. Diese treten nach statistischen Gesetzen auf - je höher die Dosis, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit einer Erkrankung. Für diese Art von Wirkungen („stochastische Strahlenwirkungen“) gibt es keinen unteren Schwellenwert. Die Einhaltung von Grenzwerten bedeutet also nicht, dass keinerlei Gefahr einer Schädigung besteht.

Die zahlenmäßige Angabe der Erkrankungswahrscheinlichkeit bei einer gegebenen Dosis ist schwierig und mit großen Unsicherheiten behaftet. Diese Unsicherheiten sind z.T. auf Wissenslücken zurückzuführen, z.T. darauf, dass jeder Mensch anders auf Strahlung reagiert. Kinder sind empfindlicher als Erwachsene, Frauen empfindlicher als Männer, darüber hinaus bestehen individuelle Unterschiede. Als Richtwert für die Wahrscheinlichkeit, nach einer Strahlenbelastung von 1 Sv an Krebs zu erkranken, wird von offizieller Seite eine Wahrscheinlichkeit von 26 Prozent für Frauen und von 18 Prozent für Männer angegeben (lt. UNSCEAR - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, bei Annahme einer linearen Beziehung zwischen Dosis und Wirkung).

Im Hinblick auf die Auslösung genetischer Schäden durch Strahlung bestehen noch größere Unsicherheiten; die Angabe von Richtwerten erscheint hier zurzeit nicht möglich.

Strahlenquelle

Eine S. enthält meist einen radioaktiven Stoff wie z.B. Kobalt-60 oder Cäsium-137, der energiereiche → Gamma-Strahlung aussendet. Es gibt auch Strahlenquellen, die Neutronen aussenden (z.B. mit Americium und Beryllium). Derartige Quellen werden z.B. in der Medizin (Strahlentherapie), zur Lebensmittelbestrahlung, zur Prüfung von Schweißnähten, für Messungen der Dichte und Feuchtigkeit oder in der Forschung eingesetzt. Aufgrund der hohen Intensität der Strahlung sind bei mangelhafter Abschirmung Menschen in der Nähe der Quelle gefährdet.

Ausgediente Strahlenquellen werden häufig, aus Unwissenheit oder um Kosten zu sparen, unkontrolliert entsorgt. Dies kann ebenfalls zu hohen Strahlenbelastungen von Menschen führen, besonders wenn eine versiegelte Quelle aufgebrochen wird. Eine S. kann im Altmetall landen und unbemerkt im Rahmen der Metall-Rezyklierung eingeschmolzen werden. Radioaktive Abgaben an die Atmosphäre sowie → Kontamination der aus dem rezyklierten Metall hergestellten Produkte können die Folge sein.

Schlampig entsorgte oder schlecht bewachte Quellen könnten weiterhin von Terroristen zum Bau „schmutziger Bomben“ missbraucht werden - das sind Vorrichtungen mit konventionellem Sprengstoff, die dazu dienen, radioaktive Stoffe weiträumig in der Umwelt zu verteilen.

Stromversorgung

s. Notstromfall

Teilschmelze

s. Kernschmelze

Transformator

Mit Hilfe eines Transformators lässt sich die Spannung von Wechselstrom erhöhen oder verringern (hinauf oder hinunter „transformieren“).

Die am Generator eines großen Kraftwerkes erzeugte Spannung liegt typischerweise bei 10 bis 30 kV (Kilovolt). Für den Transport zum Verbraucher ist eine höhere Spannung günstiger, da dabei bei gleich bleibender Leistung weniger Strom durch die Leitungen fließt. Daher ist jedes Kraftwerk mit einem Transformator ausgerüstet, der den erzeugten Wechselstrom auf die Spannung im Fernleitungsnetz bringt (im Bereich von 110 bis 400 kV).

Umgekehrt erfolgt bei abgeschaltetem Reaktor die Stromversorgung sicherheitstechnisch wichtiger Systeme vom Netz her über den Transformator (→ Notstromfall).

Zu den elektrischen Anlagen eines Kraftwerkes gehören i.A. mehrere Transformatoren. Daher wird der große Leistungstransformator, über den die Anbindung ans Netz erfolgt, auch als Haupttransformator bezeichnet.

Tritium

Radioaktives \rightarrow Isotop von \rightarrow Wasserstoff. Der Tritium-Kern besteht aus einem \rightarrow Proton und zwei \rightarrow Neutronen. T. entsteht im \rightarrow Reaktor bei der Kernspaltung sowie durch Einfang von Neutronen aus normalem Wasserstoff bzw. Deuterium.

Tritium bildet mit Sauerstoff T_2O , das sich chemisch nicht von normalem („leichtem“) Wasser unterscheidet und nur mit sehr großem Aufwand daraus abtrennbar ist. Tritium ist daher in Atomkraftwerken nur schlecht rückhaltbar.

Tritium sendet relativ energiearme („weiche“) Beta-Strahlung aus.

Uran

In der Natur vorkommendes, radioaktives Schwermetall. Nr. 92 im periodischen System der Elemente, chem. Zeichen U. Natururan besteht aus den \rightarrow Isotopen Uran-238 (99,27 Prozent) und Uran-235 (0,72 Prozent), sowie Spuren von Uran-234.

Uran-235 ist durch Beschuss mit \rightarrow Neutronen spaltbar und kann eine Kettenreaktion aufrechterhalten. Es kann daher für Kernbrennstoff und Kernsprengkörper verwendet werden. In manchen Reaktortypen (\rightarrow Reaktor) kann Natururan als Brennstoff eingesetzt werden. \rightarrow Leichtwasserreaktoren benötigen Uran, das einen höheren Anteil an Uran-235 aufweist (typischerweise 3 bis 5 Prozent), das also in U-235 angereichert ist (\rightarrow Urananreicherung).

Uran, das zu mehr als 20 Prozent mit dem \rightarrow Isotop Uran-235 angereichert (\rightarrow Urananreicherung) ist, wird als hochangereichert bezeichnet. Ab diesem Anreicherungsgrad wird davon ausgegangen, dass Uran zum Bau von Atomsprengkörpern geeignet ist. Im Allgemeinen wird für Waffen Uran verwendet, das zu mehr als 85 Prozent angereichert ist.

Das Uranisotop Uran-233 ist ebenfalls spaltbar. Es kommt in der Natur nicht vor, kann jedoch durch Neutronenabsorption aus Thorium-232 hergestellt werden. Alle genannten Uranisotope sind \rightarrow Alpha-Strahler.

Uran, angereichertes

s. Uran, Urananreicherung

Urananreicherung, Uran-Anreicherungsanlage

Bei der Urananreicherung wird der Anteil des spaltbaren \rightarrow Isotops Uran-235 im \rightarrow Uran erhöht. Zu diesem Zweck wird das Uran in eine chemische Verbindung gebracht, die schon bei relativ niedrigen Temperaturen gasförmig ist - \rightarrow Uranhexafluorid, UF_6 . Die Anreicherung erfolgt dann unter Ausnützung der Tatsache, dass Uran-235 etwas leichter ist als Uran-238.

Das zurzeit am weitesten verbreitete Verfahren ist das Gaszentrifugenverfahren, bei dem das UF_6 -Gas in rasch rotierende Zentrifugen eingebracht wird. Durch die Fliehkraft erfolgt eine teilweise Trennung - im äußeren Bereich der Zentrifuge ist der Anteil von Uran-238 höher, in der Mitte jener von Uran-235, das angereicherte Uran kann dort somit abgezogen werden. Der Anreicherungseffekt einer einzelnen Zentrifuge ist relativ gering. Zur Erzielung nennenswerter Anreicherungen muss der Uranstrom daher zahlreiche Zentrifugen in Serie durchlaufen.

Andere Anreicherungsverfahren sind das früher überwiegend eingesetzte Diffusionsverfahren, sowie das Trenndüsenverfahren.

Jede Anreicherungsanlage kann sowohl niedrig angereichertes Uran für → Brennelemente von Reaktoren (typischerweise 3 - 5 Prozent U-235), als auch hochangereichertes Uran für Atomsprengkörper (über 20 Prozent U-235; besonders waffentauglich sind Anreicherungen über 85 Prozent) produzieren; die Herstellung von hochangereichertem Uran erfordert erheblich mehr Aufwand (mehr einzelne Trennschritte).

Uranhexafluorid

Chemische Verbindung von → Uran, die bei der → Urananreicherung eingesetzt wird. Uranhexafluorid (UF_6) ist flüchtig und sublimiert bereits bei $56,5\text{ °C}$ (d.h. es geht bei dieser Temperatur vom festen in den gasförmigen Zustand über). Es ist daher relativ einfach, es in den gasförmigen Zustand zu bringen, der für die Anreicherung benötigt wird.

Bei Kontakt mit Wasser - auch schon mit der Luftfeuchtigkeit - bildet sich durch eine chemische Reaktion Flusssäure (HF), eines der stärksten Atemgifte überhaupt.

Uranlnitrat

Bei der → Wiederaufarbeitung von abgebrannten → Brennelementen wird mit Brennstofflösungen gearbeitet, aus denen das Uran in Form einer Uranylнитrat-Lösung abgetrennt wird. Uranylнитrat kann auch bei Forschungsarbeiten verwendet werden.

Verbrennungsanlage

Brennbare → radioaktive Abfälle, die beim Betrieb eines Atomkraftwerkes anfallen (z.B. Putzmaterial und Schutzkleidung, die verstrahlt wurden), werden in der V. verbrannt, um ihr Volumen zu verringern. Für die weitere Lagerung wird die Asche meist verfestigt, z.B. durch Mischen mit Zement.

Vergiftungssystem

Das V. gehört zu den Sicherheitseinrichtungen in → Siedewasserreaktoren. Es bietet durch die Einspeisung von → Borlösung die Möglichkeit, den → Reaktor unter bestimmten Bedingungen unabhängig von den → Kontrolltöben abzuschalten und unterkritisch zu halten, d.h. die → Kettenreaktion zu unterbinden.

In → Druckwasserreaktoren wird Borlösung u.a. durch das → Notkühlssystem eingespeist, so dass dieses auch als V. bezeichnet werden kann.

Verstrahlt

s. kontaminiert

Volllast (-betrieb)

Volllast bedeutet 100 Prozent der Leistung, die ein Kraftwerk erreichen kann. Volllastbetrieb ist demzufolge Betrieb mit 100-Prozentiger Leistung.

Wasserstoff

W. ist das Element mit der Ordnungszahl 1, d.h. der Wasserstoffkern enthält ein → Proton, das von einem → Elektron umkreist wird. W. ist brennbar und explosiv; eine Mischung von 4 - 75 Prozent W. mit Luft ist entzündbar (Knallgas).

Von Wasserstoff sind drei → Isotope bekannt. Von diesen sind der normale („leichte“) Wasserstoff (Kern besteht aus einem Proton) und der „schwere“ Wasserstoff (Deuterium; Kern besteht aus einem Proton und einem Neutron) stabil, das schwerste, → Tritium (Kern besteht aus einem Proton und zwei Neutronen), jedoch radioaktiv.

In der Kraftwerkstechnik wird Wasserstoff häufig zum Kühlen großer Generatoren eingesetzt. Er kühlt effektiver als Luft und führt zu geringeren Reibungsverlusten; daher werden die Brand- und Explosionsgefahren in Kauf genommen (→ Wasserstoffexplosion).

Wasserstoffbombe, thermonuklearer Sprengkörper

Waffe mit großer Zerstörungskraft, die ihre Energie aus der Verschmelzung der Atomkerne der Wasserstoff-Isotope Deuterium und Tritium (→ Wasserstoff) bezieht. Eine W. hat größere Sprengkraft als eine → Atombombe und kann ein TNT-Äquivalent von bis zu 50 Megatonnen erreichen (stärkster bisher durchgeführter Test), während die Explosionskraft einer Atombombe typischerweise im Kilotonnen-Bereich liegt (zur Erklärung von TNT-Äquivalent → Atombombe).

Eine W. benötigt zur Zündung hohen Druck und hohe Temperatur. Als Zünder wird daher eine Atombombe eingesetzt, die die Kernverschmelzungs-Reaktion auslöst. Manche Wasserstoffbomben verfügen weiterhin über einen Mantel aus Uran, in dem in einer dritten Stufe der Detonation Kernspaltungen ablaufen, die die Wirkung der Bombe - sowie die Menge des entstehenden → Fallout - noch erhöhen (Dreiphasen-Bombe).

Ebenso wie Atombomben, werden auch Wasserstoffbomben getestet (→ Atombombentests).

Streng genommen lautet die allgemeine Bezeichnung für eine solche Waffe „thermonuklearer Sprengkörper“; eine Wasserstoffbombe ist ein solcher Sprengkörper, der als Bombe von einem Flugzeug abgeworfen wird. Im allgemeinen Sprachgebrauch werden jedoch die beiden Begriffe als Synonyme verwendet.

Der allgemeinste Begriff „Atomwaffe“ schließt meist Atomsprengkörper (→ Atombomben) und Wasserstoffbomben ein.

Wasserstoffexplosion

→ Wasserstoff entsteht während des Reaktorbetriebes aufgrund der Zersetzung von Wasser durch Strahlung. Auch in Tanks mit flüssigen → radioaktiven Abfällen kann auf diese Weise Wasserstoff entstehen. Außerdem wird Wasserstoff als Kühlmittel der Turbinen eingesetzt.

Bei Ansammlung von Wasserstoff in Rohrleitungen oder Behältern eines Reaktors oder in einem Abfalltank kann bei Mischung mit Sauerstoff eine explosive Mischung entstehen, die leicht entzündlich ist. Die gleiche Gefahr besteht, wenn Wasserstoff aus dem Turbinen-Kühlsystem austritt.

Wiederaufarbeitungsanlage

In einer W. werden die abgebrannten → Brennelemente mechanisch zerkleinert; der Brennstoff wird in Salpetersäure aufgelöst. In einem komplizierten chemischen Verfahren werden aus dieser Lösung dann → Uran und → Plutonium von den anderen radioaktiven Stoffen, die den

Abfallstrom darstellen, abgetrennt und wieder verfestigt. Diese Wiederaufarbeitung hat mit dem Prinzip des umweltschonenden Recycling praktisch nichts gemein.

Die Trennung gelingt dabei nicht zu 100 Prozent. Die abgetrennten Stoffe Uran und Plutonium sind mit anderen radioaktiven Stoffen verunreinigt; umgekehrt verbleibt ein Teil dieser beiden Metalle im Abfallstrom. Aufgrund des Hantierens mit hoch radioaktiven Stoffen in einem chemischen Prozess mit vielen Einzelstufen, bei Einsatz von brennbaren und explosiven Lösungsmitteln, ist die Wiederaufarbeitung sehr störungsanfällig. Schon im Normalbetrieb werden große Mengen radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser an die Umgebung abgegeben. Die Gefahr unbefugter Abzweigung spaltbarer Stoffe ist bei der Wiederaufarbeitung besonders groß, da bei dem Umgang mit solchen Stoffen in gelöster Form eine erhebliche Bilanzierungsungenauigkeit besteht.

Weiterhin entstehen bei der Wiederaufarbeitung große Volumina → radioaktiver Abfälle. Das abgetrennte Uran wird bisher kaum, das Plutonium nur zum Teil als Kernbrennstoff wieder verwendet.

Die Wiederaufarbeitung ist eine Zwei-Zweck-Technologie. Mit der gleichen Anlage kann Plutonium für → Brennelemente oder → Atombomben abgetrennt werden.

Wiederkehrende Prüfung

W. P.en in Atomkraftwerken werden regelmäßig durchgeführt und dienen der Vorsorge gegen das Eintreten von Schäden im Reaktorbetrieb. Sie werden durch Sonderprüfungen ergänzt. Dabei kommen z.B. folgende Verfahren zum Einsatz: Druckprüfungen, Testen der Ansprechzeit von Ventilen, zerstörungsfreie Prüfmethode zur Erkennung von Fehlern in Werkstoffen wie Röntgen-Durchstrahlung, Ultraschall oder Wirbelstrom-Tests.

W. P. sind für den sicheren Betrieb von Atomkraftwerken von großer Bedeutung. Dennoch besteht seit Jahren in vielen Ländern der Trend zu einer Reduzierung des Umfangs derartiger Prüfungen sowie zur Verlängerung der Intervalle zwischen Prüfungen. Damit sollen Kosteneinsparungen erreicht werden.

Zerfallswärme

Während des Betriebes eines Reaktors wird die Wärme zu 93 Prozent durch die → Kettenreaktion erzeugt, zu 7 Prozent durch den radioaktiven Zerfall der radioaktiven Stoffe im → Reaktorkern. Diese Z. kann nicht abgeschaltet werden und wird weiter produziert, auch wenn die Kettenreaktion durch → Reaktorschnellabschaltung unterbrochen ist. Ihre Abfuhr muss jederzeit gewährleistet sein, ansonsten droht eine Kernschmelze.

Die Z. nimmt nach dem Abschalten rasch ab. Nach einem Tag ist sie von 7 Prozent auf ca. 0,6 Prozent der Reaktorleistung im Betrieb abgesunken, nach einem Monat auf ca. 0,17 Prozent. Bei einem großen Atomkraftwerk entspricht der letztere Prozentsatz aber immer noch einer Leistung von rd. 7.000 Kilowatt - mehr als ausreichend, um den Kern ohne Kühlung zur Schmelze zu bringen.