



NÖ Zivilschutzverband

Radioaktivität
Kernspaltung
Fachausdrücke



NÖ Zivilschutzverband

Eine Service-Organisation im Dienste Ihrer Sicherheit

Inhaltsverzeichnis

RADIOAKTIVITÄT	4
Das Atom – Das unteilbare Teilchen	4
Definition Radioaktivität.....	5
Energie durch Atomkernspaltung	6
Uranspaltung	6
Kettenreaktion.....	6
Energie.....	6
Strahlung	7
Alpha-Strahlen	7
Beta-Strahlen	7
Gamma-Strahlen.....	8
Drei wichtige physikalische Grundsätze	9
Halbwertszeit (HWZ).....	9
Physikalische Halbwertszeit	9
Biologische Halbwertszeit	9
Effektive Halbwertszeit	9
Entfernung von der Strahlungsquelle.....	10
Abschirmung der Strahlung	10
Teilchenstrahlung.....	10
Röntgen- und Gammastrahlung	11
Praxisbeispiel.....	11
Radioaktivität messen und Bewerten	12
Maßeinheit für die Radioaktivität.....	12
Strahlendosis	12
Ionendosis	13
Energiedosis	13
Qualitätsfaktor	13
Äquivalentdosis	13
Wirkung radioaktiver Strahlen auf den Menschen	15
Akute Strahlenschäden.....	15
Spätschäden.....	15
Reparaturprozesse.....	16
Mit der Strahlung leben.....	16
Die natürliche Strahlenbelastung	17
Kosmische Strahlung.....	17
Terrestrische Strahlung.....	17
Zivilisatorische Strahlenbelastung	17
Aufnahme von Radioaktivität durch den Körper	18

KERNSPALTUNG	19
Kernspaltung für die Energiegewinnung.....	19
Brennstoff	19
Moderator	20
Regelung der Kettenreaktion durch Absorption von Neutronen	21
Regelstäbe nicht eingefahren.....	21
Regelstäbe eingefahren.....	22
Sicherheit bei der Kernspaltung (für die Energiegewinnung)	24
Reaktorsicherheit.....	24
Ziel der Sicherheitstechnik.....	24
Sicherheitsanalysen	25
Redundanz	25
Notkühlsystem.....	25
Technisch unterschiedliche Einrichtungen	25
Kernkraftwerk und Sicherheit	27
Sicherheitsbarrieren von Leichtwasser - Reaktoren	27
Schäden an Brennelementen	28
Unkontrollierte, schnelle Betriebsänderungen	28
Unzureichende Abfuhr der sogenannten Nachwärme.....	28
Nicht alle Atomkraftwerke sind gleich.....	28
Hermetische Zone	28
Barbotaschsystem	28
Containment.....	29
Unfall ist nicht gleich Unfall	29
FACHAUSDRÜCKE	31

Radioaktivität

Das Atom – Das unteilbare Teilchen

Bereits im 5. Jahrhundert vor Chr. war der griechische Philosoph Demokrit der festen Überzeugung, dass sich alle Stoffe der Natur - auch der Mensch - aus winzigen Einheiten zusammensetzen. Diese Teilchen seien sehr klein und daher unsichtbar. Sie dürften keine innere Struktur besitzen, und müssten unteilbar sein ("atomos" - unteilbar), denn nur so könnten sie die kleinsten Bausteine sein.

Diese Modellvorstellung stieß bereits in der Antike auf heftige Kritik.

Aristoteles meinte, die Atome kranken an einem inneren Widerspruch. Wenn Teilchen ausgedehnt seien, könnten sie niemals unteilbar sein. Demokrits Ansichten konnten sich nicht durchsetzen und blieben 2000 Jahre unbeachtet.

Erst um 1800 gelang es John DALTON, in chemischen Verbindungen die ersten Hinweise auf die Existenz der Atome zu finden.

Besonders die Erkenntnisse aus Experimenten der Chemie verstärkten die damalige Theorie über die Stabilität und Unzerstörbarkeit der Atome. Eine Reihe wichtiger, um das Jahr 1900 gemachter Entdeckungen zog aber diese Grundeigenschaft der Atome in Zweifel. Die Entdeckung bisher unbekannter Strahlungen sowie der Radioaktivität führte zur Einsicht, dass auch die Atome komplizierte und zerlegbare Gebilde sind. Sie erweisen sich aus noch viel kleineren Bestandteilen, den Elementarteilchen, zusammengesetzt und lassen vor allem zwei deutlich voneinander getrennte Zonen unterscheiden: Atomhülle und Atomkern.

Während die ausschließlich aus Elektronen bestehende Atomhülle die Trägerin aller chemischen, elektrischen und optischen Eigenschaften ist, findet sich die Hauptmasse des Atoms in Gestalt von Protonen und Neutronen im Kern konzentriert. Diese Teilchen werden als Nukleonen bezeichnet. Gleichzeitig entpuppt sich dieser als der Sitz gewaltiger Kräfte und Energien, deren Entfesselung im großtechnischen Maßstab in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts gelang.

Man hat die Atome anfangs für die letzten unteilbaren Bausteine der Materie gehalten. Das Atom ist der kleinste Baustein eines chemischen Elementes, der noch die Eigenschaften dieses Elements besitzt.

Wir wissen demgegenüber heute, dass auch die Atome teilbar sind, wenn auch nicht chemisch, so doch mit physikalischen Mitteln, und mit der Erkenntnis von der Teilbarkeit der Atome beginnt eigentlich erst die Atomphysik.

Atome sind nicht als massive Kugeln aufzufassen, sondern in ihnen ist viel freier Raum vorhanden. Der äußerst kleine massive Kern wird aus Protonen die eine positive Ladung besitzen und aus Neutronen ohne Ladung gebildet. Die Neutronen werden benötigt, um mit ihrer starken Bindungsenergie den Atomkern zusammen zu halten. Untersucht man diese Bindungsenergie, so findet man, dass die Festigkeit der Kernbindung bei leichten Kernen zuerst stark zunimmt, bis ein breites und sehr flaches Maximum (etwa bei der Massenzahl des Eisens $A=56$) erreicht wird. Weitere eingebaute Kernteilchen

NÖ Zivilschutzverband, Langenlebarner Str. 106, 3430 Tulln/Donau, 02272/61820, www.noezsv.at | Seite 4 von 38

tragen praktisch zur Stärke der Bindung im Kern fast nichts mehr bei. Im Gegenteil, bei weiterem Einbau von Kernteilchen nimmt die Bindungsenergie je Nukleon wieder ab. Aus der Bindungsenergiekurve ist auch erkennbar, mit welchen Nuklearvorgängen Energie, entweder durch Kernverschmelzung oder durch Kernspaltung, erzeugt werden kann.

Um diesen Kern kreisen fast masselose negative Ladungen (Elektronen) mit solcher Geschwindigkeit, dass sich Zentripetalkraft (Anziehungskraft) und Zentrifugalkraft (Fliehkraft) das Gleichgewicht halten. Diesen Zustand des Atoms nennt man auch dynamische Stabilität. In einem neutralen Atom deckt sich die Zahl der Elektronen mit der Kernladungszahl (Anzahl der Protonen).

Definition Radioaktivität

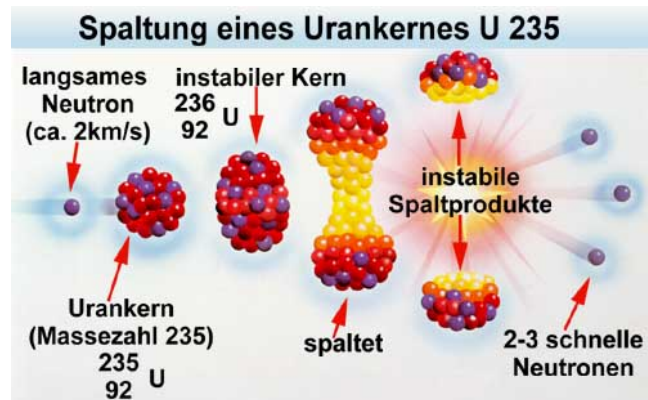
Die Eigenschaft bestimmter Atomkerne, sich ohne äußere Einwirkung von selbst in andere Kerne umzuwandeln und dabei ionisierende Strahlung auszusenden, ist als Radioaktivität bekannt. Die radioaktiven Atome werden Radionuklide genannt. Von den 115 chemischen Elementen sind heute insgesamt etwa 2.500 verschiedene Arten von Atomen - die Isotope - bekannt. Nur 249 Isotope sind stabil, während alle anderen spontan zerfallen. Die Erde wird seit Anbeginn durch den natürlichen Zerfall bestimmter Atome belastet. Diese Belastung wird als natürliche Strahlung bezeichnet und ist regional unterschiedlich. Der forschende Mensch entdeckte, dass sich manche Atomkerne künstlich spalten lassen (künstliche Strahlung). Bei jedem Zerfall eines Atoms wird Energie freigesetzt. Sie kann zum Wohle aber auch zum Schaden des Menschen eingesetzt werden.

Energie durch Atomkernspaltung

Die erste künstliche Kernumwandlung gelang im Jahre 1919. Erst die Entdeckung des Neutrons im Jahr 1930 eröffnete die Möglichkeit schwere Atomkerne (z.B. Uran 235) zu spalten. Bei der Spaltung von Urankernen konnte man zwei bis drei freiwerdende Neutronen nachweisen (bei U-235 sind es im Mittel 2,43 Neutronen). Weiters stellte sich heraus, dass nicht das Hauptisotop Uran 238, sondern nur das viel seltenere Uran 235 mit langsamen Neutronen reagiert.

Uranspaltung

In der Uranspaltung hatte man zum ersten mal eine Reaktion gefunden, die durch ein Neutron ausgelöst wird und die selbst wieder ein oder mehrere Neutronen frei macht. Damit liefert der Prozess neue Geschosse und es besteht die Möglichkeit, dass er ohne äußere Zufuhr von Neutronen aufrechterhalten bleibt bzw. sich in Form einer Kettenreaktion beschleunigt.



Kettenreaktion

Eine Kettenreaktion ist ein immer weiter um sich greifender Spaltprozess, bei dem die Zahl der Neutronen ohne äußeren Eingriff schnell zunimmt oder künstlich konstant gehalten wird.

Die Kettenreaktion kann bei ausreichender Größe der reaktionsfähigen Masse (kritische Masse) infolge stets vorhandener Neutronen von selbst ausgelöst werden.

Energie

Bei der Spaltung eines Urankerns wird annähernd die Energie von 200 MeV frei. Bei der Spaltung aller Kerne in 1 kg Uran wird die Energie $4,7 \times 10^{26}$ MeV = $7,5 \times 10^{13}$ Joule frei.

Von der Größe dieser Energie kann man sich eine Vorstellung machen, wenn man die Menge Steinkohle angibt, aus deren Verbrennung man die gleiche Energie gewinnt. Es wären hierzu 3 Millionen kg Steinkohle nötig. Uran ist ein "Brennstoff", der 3.000.000 mal so wirkungsvoll ist wie Steinkohle. Daraus wird verständlich, dass man sich nach der Entdeckung der Kernspaltung intensiv um eine technische Nutzbarmachung dieser Energiequelle bemühte. Diese Bemühungen liefen in zwei Richtungen: Die Nutzung der Kernenergie für kriegerische Auseinandersetzungen einerseits und die friedliche Nutzung im Kernreaktor andererseits.

Strahlung

Strahlen können Leben spendende oder todbringende Wirkung haben. Nur wenige kann man sehen, hören oder unmittelbar fühlen.

Fachleute verstehen unter Strahlen einen Energie- oder Teilchenstrom, der von einer Quelle ausgesandt wird. Die bekannteste und bedeutendste dieser Quellen ist die Sonne: Ihre Strahlung macht Leben auf der Erde überhaupt erst möglich; sie kann andererseits aber auch die Gesundheit des Menschen gefährden.

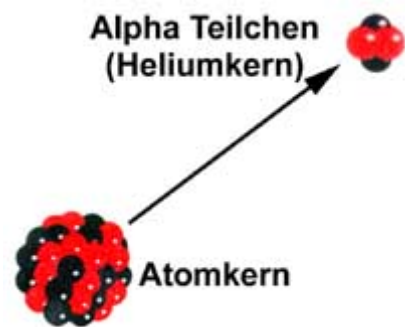
Darüber hinaus gibt es Strahlen, die von radioaktiven Stoffen ausgehen. Das heißt, sie entstehen beim spontanen oder künstlich herbeigeführten Zerfall von Atomkernen. Wegen ihrer Eigenschaft, Materie in einen elektrisch geladenen Zustand zu versetzen - d.h. zu ionisieren - werden sie "ionisierende" Strahlen genannt. Auch diese Strahlung ist sowohl Teil der Natur, aber auch das Resultat menschlichen Tuns. Auch sie kann, beispielsweise in der Medizin, zum Wohle des Menschen eingesetzt werden; sie kann uns aber auch schaden.

Die pauschale Behauptung, "Strahlung ist gefährlich", ist richtig und falsch zugleich ebenso wie die Feststellung, "Kochsalz ist tödlich". In beiden Fällen kommt es darauf an, welche Menge in welcher Zeitspanne konsumiert wird. Bei Strahlung sowie bei Kochsalz sind Mengen bekannt, die tödlich wirken, aber auch Mengen, die langfristig keine oder kaum nachweisbare Schäden verursachen.

Bei der Strahlung radioaktiver Stoffe haben wir es im Wesentlichen mit drei Arten zu tun:

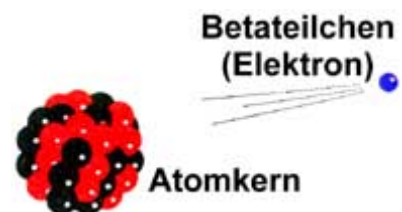
Alpha-Strahlen

sind Atomkerne des Elements Helium, die beim radioaktiven Zerfall anderer Atomkerne mit einer Geschwindigkeit von rund 15.000 Kilometern pro Sekunde ausgesandt werden. Sie werden bereits durch wenige Zentimeter Luft absorbiert und können weder ein Blatt Papier noch die Haut des Menschen durchdringen. Sie sind für den Menschen aber dann gefährlich, wenn sie durch Atmung und Nahrung ins Körperinnere gelangen.



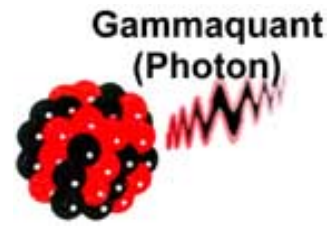
Beta-Strahlen

sind negativ geladene Elektronen, die fast mit Lichtgeschwindigkeit aus zerfallenden Atomkernen austreten. Ihr Durchdringungsvermögen beträgt in Luft einige Meter, bei Kunststoffen, Aluminium und im menschlichen Gewebe einige Millimeter. Sie führen zu einer Hautdosis und sind bei Aufnahme in den Körper gefährlich.



Gamma-Strahlen

sind elektromagnetische Strahlen und damit von gleicher Natur wie das sichtbare Licht und die Radiowellen. Sie sind extrem kurzwellig und energiereich, bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit und haben ein sehr hohes Durchdringungsvermögen. Abgesehen von der Art ihrer Entstehung sind sie mit den Röntgenstrahlen vergleichbar. Sie können je nach Energie und Material nur durch zentimeterdicke Bleiwände oder dicke Betonmauern wirksam abgeschwächt werden.



Drei wichtige physikalische Grundsätze

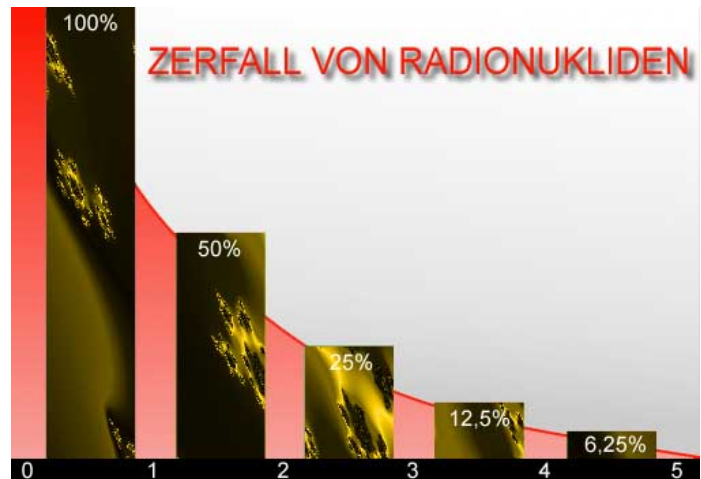
Da in der heutigen Zeit jeder Mensch mit radioaktiven Stoffen in Berührung kommen kann (z.B. Unfälle beim Transport von radioaktivem Material oder Störfall in einem Kernkraftwerk) ist es wichtig, um Schutzmaßnahmen zu verstehen, einige physikalische Grundsätze zu kennen.

Halbwertszeit (HWZ)

Jeder radioaktive Stoff hat eine charakteristische Aktivität (Zerfallsrate), die durch nichts beeinflussbar ist. Die radioaktive Strahlung wird zwar immer schwächer, hört aber erst dann auf, wenn alle instabilen Kerne in stabile Kerne zerfallen sind.

Physikalische Halbwertszeit

ist jene Zeit, in der jeweils die Hälfte der ursprünglichen Menge eines radioaktiven Stoffes zerfallen ist. Je nach Radionuklid schwankt die physikalische Halbwertszeit zwischen Bruchteilen von Sekunden und Milliarden von Jahren.



Biologische Halbwertszeit

ist jene Zeit, in der jeweils die Hälfte der ursprünglichen Menge eines in den Körper aufgenommenen radioaktiven Stoffes vom Organismus ausgeschieden oder abgebaut wird.

Effektive Halbwertszeit

ist die Zeit, die sich aus physikalischer und biologischer Halbwertszeit ergibt. Diese Zeit ist bei Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper für die tatsächliche Gefährdung des Menschen von Bedeutung.

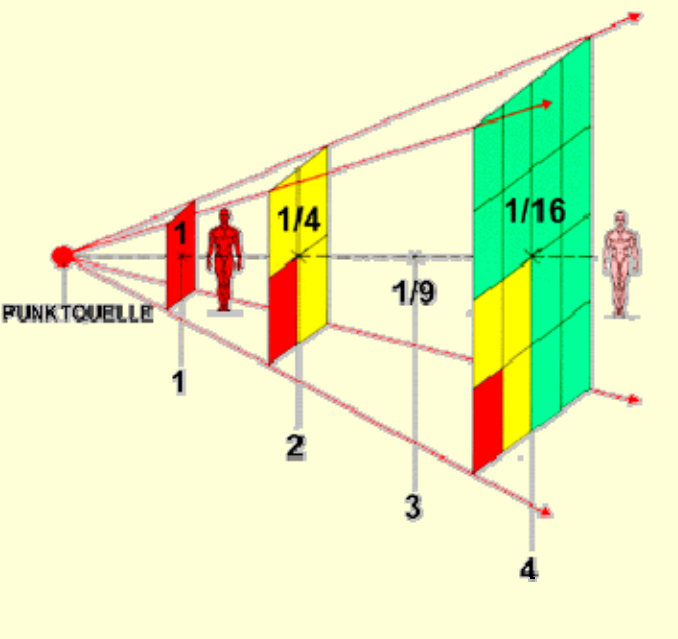
Einige wichtige Halbwertszeiten biologisch bedeutsamer Spaltprodukte:

<u>Radioaktiver Stoff</u>	<u>Physikalische HWZ</u>	<u>Biologische HWZ</u>	<u>Effektive HWZ</u>
Strontium 90 (Sr-90)	28 Jahre	50 Jahre	18 Jahre
Jod 131 (J-131)	8 Tage	138 Tage	7,5 Tage
Cäsium 137 (Cs-137)	30 Jahre	140 Tage	134 Tage

Entfernung von der Strahlungsquelle

Bei einer punktförmigen Strahlenquelle nimmt die Strahlungsintensität mit dem Quadrat der Entfernung ab. Das bedeutet, dass in doppelter Entfernung von der Strahlenquelle nur noch ein Viertel, in dreifacher Entfernung nur noch ein Neuntel jener Strahlungsintensität wirksam ist, die in einfacher Entfernung nachgewiesen wird. Mathematisch ausgedrückt bedeutet dies, dass die Strahlungsintensität indirekt proportional zum Quadrat des Abstandes von der Strahlenquelle ist. Man spricht daher auch vom "Abstandsgesetz", das letztlich eine wesentliche Grundregel bei der Arbeit mit Strahlenquellen beinhaltet.

Halten Sie einen möglichst großen Abstand zur Strahlenquellen ein!

<u>Entfernung zu einer Strahlenquelle</u>	<u>Wert der Belastung</u>	
1 Meter	1	
2 Meter	1/4	
3 Meter	1/9	
4 Meter	1/16	
100 Meter	1/1000	

Abschirmung der Strahlung

Teilchenstrahlung

Alpha- und Betastrahlung kann durch bestimmte Materieschichten praktisch vollständig abgeschirmt werden. Die dazu notwendige Schichtdicke hängt ab

- von der Strahlungsenergie,
- vom Abschirmmaterial (Dichte, Ordnungszahl).

Alphastrahlung wird schon von sehr dünnen Schichten Materials abgeschirmt. Sie hat in Luft eine sehr geringe Reichweite von wenigen Zentimetern.

Die für Betastrahlung erforderliche Abschirmstärke wird durch die Energie der Betastrahlung beziehungsweise durch die Art des Abschirmmaterials bestimmt. Man kommt aber im allgemeinen mit Schichtdicken von unter 3 cm (Material geringer Dichte) aus; die von den üblicherweise verwendeten Betastrahlern abgegebene Strahlung kann meist durch einige mm Aluminium abgeschirmt werden.

Röntgen- und Gammastrahlung

Röntgen- und Gammastrahlung kann durch Abschirmungen nur geschwächt werden. Bei Verwendung geeigneter Materialien und Schichtdicken ist eine so große Schwächung möglich, dass die Strahlung praktisch nicht mehr nachgewiesen werden kann.

Um die Wirkung einer Abschirmung auf eine bestimmte Strahlung auszudrücken, wird die Halbwertsschicht (Schwächung der Dosis auf die Hälfte) angewendet.

Durch Aneinanderreihen von Halbwertsschichten ergibt sich eine wesentliche Reduktion der Belastung:

<u>Anzahl der Halbwertsschichten</u>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<u>Reduktion um den angegebenen Wert</u>	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	1/64	1/128	1/256	1/512	1/1024

Der Schwächungseffekt wird umso größer, je höher die Dichte und die Stärke des Abschirmmaterials sind. Strahlung höherer Energie wird durch die gleiche Abschirmung weniger geschwächt als Strahlung niedrigerer Energie.

Die Abschirmwirkung ist von der Energie der Gammastrahlung abhängig:

<u>Material</u>	<u>Eine Halbwertsschicht</u> für Anfangsstrahlung (4,5 MeV) (z.B. bei Atomwaffeneinsatz)	<u>Eine Halbwertsschicht</u> für Rückstandsstrahlung (0,7 MeV) (z.B. bei einem AKW-Unfall)
Holz	60 cm	30 cm
Erde	20 cm	10 cm
Wasser	30 cm	15 cm
Beton	12 cm	6 cm
Aluminium	8 cm	4 cm
Stahl	4 cm	2 cm
Blei	1,5 cm	1 cm

Praxisbeispiel

Bei einem AKW-Unfall, würde in einem Raum (ohne Wandöffnungen) der durch ein 48 cm starkes Betonmauerwerk umgeben ist (8 x eine Halbwertsschicht von 6 cm) eine Reduktion auf den 256. Teil der Belastung im Freien erreicht.

Radioaktivität messen und Bewerten

Wir Menschen haben kein Sinnesorgan, um ionisierende Strahlung wahrnehmen zu können. Doch läßt sich die Radioaktivität sehr gut messen, leichter als beispielsweise chemische Schadstoffe, die wir ebenfalls mit unseren Sinnesorganen zumeist nicht erfassen können. Schon mit einem einfachen Meßgerät ist es bei günstigen Bedingungen möglich, einen zerfallenden Atomkern unter 1 Trillion anderer nicht radioaktiver Atome festzustellen.

Maßeinheit für die Radioaktivität

Becquerel (Bq) ist die Maßeinheit für die Radioaktivität.

1 Bq liegt vor, wenn in einer Sekunde 1 Atomkern zerfällt. Die natürliche Radioaktivität in unseren Lebensmitteln beträgt durchschnittlich 40 Becquerel pro Kilogramm. Das heißt, in 1 Kilogramm Nahrung zerfallen durchschnittlich 40 Atomkerne pro Sekunde.

Eine Umrechnung zwischen Radioaktivität und Dosis ist generell nicht möglich, da es auf die Einwirkung (z.B. auf die Entfernung des radioaktiven Stoffes vom Körper, auf die Strahlungsart und Strahlungsenergie) ankommt. Bei Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den Körper, etwa durch das Essen kontaminierter Nahrungsmittel, kann jedoch eine Beziehung zwischen Aktivität und Dosis hergestellt werden.

Dosis durch Aufnahme von 1000 Bq eines radioaktiven Stoffes mit der Nahrung oder Trinkwasser:

Strontium 90 (Sr 90)	0,035 mSv
Jod 131 (J 131)	0,013 mSv
Cäsium 134 (Cs 134)	0,020 mSv
Cäsium 137 (Cs 137)	0,014 mSv
Radium 226 (Ra 226)	0,360 mSv
Natururan (U _{nat})	0,007 mSv
Plutonium 239 (Pu 239)	0,016 mSv

Strahlendosis

Als Dosis im allgemeinen Sinn bezeichnet man die Wirkung einer bestimmten Strahlenmenge. Sie kann physikalischer, chemischer oder physiologisch - biologischer Natur sein.

In der Strahlenschutzpraxis zieht man

- das Ionisationsvermögen
- die Energieübertragung
- und die biologische Wirksamkeit einer Strahlung in Betracht.

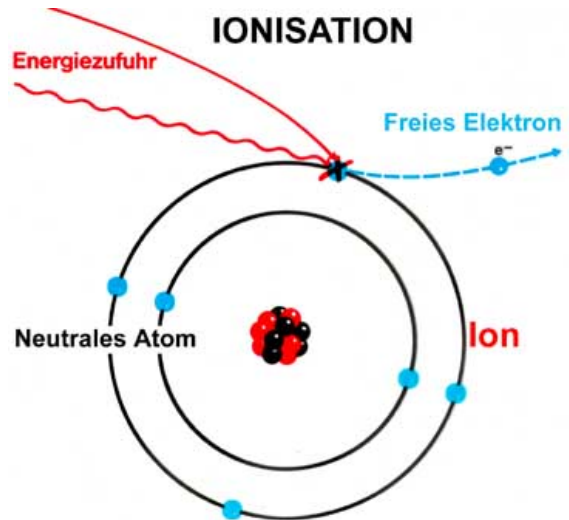
Die entsprechenden Begriffe lauten Ionendosis, Energiedosis, Qualitätsfaktor und Äquivalentdosis.

Ionendosis

Die Strahlenwirkung wird aufgrund der Bildung von Ionen in einer bestrahlten Luft- bzw. Gasmenge definiert.

Atome und Moleküle sind aus positiven und negativen Ladungsträgern aufgebaut. Im Normalfall ist die Zahl der positiven Ladungen gleich jener der negativen Ladungen, damit ist das Atom oder das Molekül elektrisch neutral.

Jeder Vorgang, der ein neutrales Teilchen in einen positiv oder negativ geladenen Zustand überführt, heißt Ionisation. Da bei der Ionisation die Kräfte überwunden werden müssen, die zwischen den entgegengesetzt geladenen Teilchen wirken, ist zur Ionisation eine bestimmte Energie, die sogenannte Ionisierungsenergie, notwendig. Diese kann auf verschiedene Weise, z. B. durch Wärme, durch elektrischen Strom oder durch Strahlung, zugeführt werden. Zurück bleibt dann ein positives Ion und ein freies Elektron.



Energiedosis

Als Strahlenwirkung wird die je Masseneinheit des bestrahlten Materials deponierte (absorbierte) Energie betrachtet.

Qualitätsfaktor

Durch Tierexperimente stellte man fest, dass bei gleicher Energiedosis im Gewebe das Ausmaß der erzeugten biologischen Reaktion von der Strahlenart und der Energie abhängt. Dementsprechend musste ein neuer Begriff, der sogenannte Qualitätsfaktor (Q) eingeführt werden. Man bezieht sich dabei auf die biologische Wirksamkeit einer Röntgenstrahlung mit 250 keV Energie, für die Q gleich eins gesetzt wird.

Der Qualitätsfaktor sagt aus, um wie viel mal eine bestimmte Strahlenart bei gleicher Energiedosis wirksamer ist als die Bezugsstrahlung (Rö 250 keV).

Äquivalentdosis

Dosisbegriff, der die biologische Wirkung einer Strahlenmenge ausdrückt - unabhängig davon, dass - je nach Strahlenart (und "Qualität") - die gleiche Wirkung von verschiedenen Energiedosen hervorgerufen wird.

Äquivalentdosis = Energiedosis x Q (Qualitätsfaktor) oder

Äquivalentdosis (der betrachteten Strahlung) = Energiedosis an Photonenstrahlung von 250 keV mit gleicher biologischer Wirkung (wie die betrachtete Strahlung, also biologisch äquivalent).

Maßeinheit wie bei Energiedosis Joule je kg Materie, jedoch mit der Bezeichnung Sievert.

1 Joule/kg entspricht 1 Sievert

Sievert (Sv) ist die Maßeinheit für die Strahlendosis (Äquivalentdosis). Sie charakterisiert die Wirkung ionisierender Strahlung auf den Menschen. Der tausendste Teil des Sievert ist das Millisievert (mSv). Die Dosis berücksichtigt die unterschiedliche Wirkung der Strahlenarten und die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit der Organe. Sie ist daher für die Beurteilung von Gefährdungen die bedeutendste Größe.

Wirkung radioaktiver Strahlen auf den Menschen

Seit Beginn der Welt hat sich alles Leben auf der Erde unter dem Einfluss von ionisierenden Strahlen entwickelt. Obwohl es die Theorie gibt, dass ein bestimmtes Maß an ionisierender Strahlung Lebensvorgänge auch positiv beeinflussen kann, gehen alle Schutzkonzepte grundsätzlich von einer schädlichen Wirkung dieser Strahlen aus.

Dabei wird kein Unterschied zwischen natürlicher und künstlicher Radioaktivität als Quelle dieser Strahlen gemacht. Auf die Zelle als kleinste biologische Einheit wirken beide Arten gleich.

Die schädliche Wirkung ionisierender Strahlen beruht darauf, dass sie lebende Zellen verändern oder zerstören können. Im Wesentlichen unterscheidet man zwei Gruppen von Strahlenschäden: Akute Strahlenschäden und Spätschäden.

Akute Strahlenschäden

Strahlenschäden treten sofort oder innerhalb weniger Wochen auf und setzen hohe Strahlendosen von einigen tausend Millisievert (mSv) voraus. Sie machen sich erst bemerkbar, wenn ein bestimmtes Maß geschädigter Zellen überschritten wird. Daher tritt diese Art von Schäden auch erst ab einer bestimmten Strahlendosis innerhalb eines vergleichsweise kurzen Zeitraumes, dem Schwellenwert, auf. Dieser liegt beim Menschen bei einmaliger Bestrahlung des ganzen Körpers zwischen 200 und 300 mSv. Es zeigen sich kurzzeitige, nur vom Arzt feststellbare Veränderungen des Blutbildes. Je höher die Strahlendosis ist, desto schwerer ist der Schaden, beginnend beim sogenannten Strahlenkater mit Übelkeit und Erbrechen über Schleimhautentzündungen und Fieber bis hin zum Tod.

Wirkung ionisierender Strahlen bei Kurzeiteinwirkung (einige Stunden):

mehr als 7000 mSv	absolut tödliche Dosis
4500 mSv	50% Todesfälle (auch bei Behandlung)
1000-2000 mSv	schwere Blutbildveränderung, vereinzelt Todesfälle
500-1000 mSv	merkbare Änderungen im Blutbild, Erholung nach einigen Monaten

Spätschäden

Spätschäden treten erst Jahre bis Jahrzehnte nach der Bestrahlung auf. Sie werden akut, wenn die Strahlen den im Kern der Zelle gespeicherten Informationsgehalt verändert haben, die Zelle als solche aber weiterlebt. Je nachdem, ob es sich um eine Keimzelle oder eine Körperzelle handelt, kann es sich um eine Veränderung der Erbanlagen oder um bösartige Neubildungen wie Krebs, z.B. Leukämie, handeln.

Die Schwere des Schadens hängt nicht von der Höhe der Dosis ab, jedoch die Wahrscheinlichkeit, einen Schaden zu erleiden. Bei einer Strahlendosis von 100 mSv ergibt sich ein Strahlenrisiko von

etwa 0,5 %, an Krebs zu erkranken. Zum Vergleich, das "natürliche" Risiko, an Krebs zu erkranken, liegt bei etwa 20 %.

Reparaturprozesse

Die vollzogene Schädigung einer Zelle oder eines Zellkomplexes bedeutet noch nicht, dass der Schaden auch wirksam wird. Mit Hilfe von Reparaturmechanismen können Schäden an der Erbinformation der Zelle (DNA) ausgemerzt werden. Diese Schäden können nicht nur durch ionisierende Strahlung, sondern auch durch UV-Strahlung, schädliche Substanzen wie Alkohol usw. ausgelöst werden.

Auch bei unbestrahlten Individuen sind intakte Reparaturmechanismen von eminenter Bedeutung, denn die DNS-Stabilität ist für die Gesundheit des Menschen entscheidend. Viele Fehler können schon bei der normalen, für das Leben notwendigen Neusynthese der DNS entstehen. Mit Hilfe der Reparaturvorgänge wird die Fehlerrate äußerst gering gehalten (etwa 1: 1 Milliarde).

Ziel des Strahlenschutzes ist es daher, die Strahlendosis nach Möglichkeit zu reduzieren!

Mit der Strahlung leben

Wir Menschen sind immer und überall ionisierender Strahlung ausgesetzt. Sie ist nicht nur Bestandteil unseres täglichen Lebens, sondern sogar Teil von uns selbst: der von Wissenschaftlern definierte "Standardmensch", 70 kg schwer und zwischen 20 und 30 Jahre alt, hat eine innere Radioaktivität von ca. 9.000 Becquerel (Bq) - das bedeutet, dass in seinem Körper jede Sekunde 9.000 Kernzerfälle stattfinden, fast 800 Millionen pro Tag.

Hauptsächlich Anteil an der natürlichen Radioaktivität des Menschen hat mit 4.500 Bq das radioaktive Kaliumisotop K40. Kalium und damit auch sein unvermeidbarer radioaktiver Anteil von 0,012 Prozent ist ein sehr häufig in unserer Umwelt vorkommendes Element und zugleich ein unverzichtbarer, lebenswichtiger Baustein des menschlichen Körpers. Durch unsere zivilisatorischen Gewohnheiten und Gebräuche erhöhen wir zum Teil diese natürliche Strahlenbelastung. Das gilt beispielsweise für die Konzentration des natürlichen radioaktiven Gases Radon in Wohnungen, aber auch für Mineraldünger, früher für die Leuchtziffernblätter von Armbanduhren oder für Kacheln und Fliesen, die gern mit uranhaltigen Farbstoffen hergestellt wurden. Auch Heilwässer und Mineralquellen enthalten oft erstaunliche Mengen an strahlenden Stoffen. Dies galt sogar als werbewirksames Qualitätsmerkmal, das heute allerdings nur noch von wenigen als solches angesehen wird, seit Radioaktivität als gefährlich erkannt worden ist. Natürliche radioaktive Substanzen finden sich auch unter den schädlichen Bestandteilen des Tabakrauches.

Die natürliche Strahlenbelastung

Die natürliche Strahlenbelastung von Herrn und Frau Österreicher beträgt im Durchschnitt 3,8 Millisievert (mSv) jährlich. Sie schwankt je nach Region zwischen 2 und 6 mSv im Jahr und stammt aus folgenden Quellen:

Kosmische Strahlung

Die kosmische Strahlung besteht aus energiereichen Teilchen und Röntgenstrahlen, die aus der Sonne und den Tiefen des Weltalls zu uns kommen. Kosmische Strahlung macht in Österreich im Durchschnitt etwa 0,3 mSv pro Jahr aus. Sie ist von der Höhe des Ortes abhängig.

Auf dem Großglockner beträgt die kosmische Strahlung das Zehnfache des Bundesdurchschnitts. Auf einem Flug in 7.000 bis 12.000 m Höhe, beispielsweise auf der Route Wien - New York, beträgt die Strahlenbelastung etwa 0,03 mSv. Vielflieger sind also höheren Strahlenbelastungen ausgesetzt als andere Menschen.

Terrestrische Strahlung

Die terrestrische Strahlung stammt von den natürlichen radioaktiven Bestandteilen des Bodens und der Gesteine. Die wichtigsten sind die Elemente Kalium, Uran und Thorium sowie deren Zerfallsprodukte. Die Belastung hierdurch macht im Durchschnitt 0,5 mSv im Jahr aus. Fasst man beide Belastungen zur sogenannten "Hintergrundstrahlung" zusammen, so sieht man, dass es alleine auf österreichischem Gebiet große Unterschiede gibt.

Beispiele für die Hintergrundstrahlung in Österreich (Jahresdosen durch terrestrische und kosmische Strahlung):

Apetlon	0,32 mSv
Wien (Mittelwert)	0,81 mSv
Semmering	0,77 mSv
Heidenreichstein	1,71 mSv
Salzburg	0,46 mSv
Badgastein-Stolleneingang	1,29 mSv
Krumpendorf	0,61 mSv
Innsbruck	0,79 mSv
Bludenz	0,93 mSv

Zivilisatorische Strahlenbelastung

Zur natürlichen Strahlenbelastung von rund 3,8 Millisievert (mSv) pro Jahr kommt in Österreich eine zivilisatorisch bedingte Belastung von etwa 1,5 mSv dazu. Sie wird fast vollständig durch die Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in der medizinischen Diagnostik und hier fast zu 100% durch Röntgenuntersuchungen verursacht.

Die Nuklearwaffentests Ende der fünfziger und Anfang der sechziger Jahre haben auch unsere Gegend belastet. Sie haben in den Jahren von 1960 bis etwa 1980 zu einer mittleren effektiven Folgedosis von insgesamt 4,5 mSv geführt, Diese Belastung ist aber heute fast zur Gänze abgeklungen.

Der Reaktorunfall von Tschernobyl hat jedoch im Jahr 1986 zu einer neuerlichen Belastung beigetragen. Sie betrug im ersten Jahr etwa 0,5 mSv, in den Folgejahren weniger als 0,05 mSv. Heute ist sie auf weniger als 0,01 mSv pro Jahr gefallen.

Aufnahme von Radioaktivität durch den Körper

Durch Einatmen des natürlich radioaktiven Edelgases Radon, das im Laufe des Zerfalls von Uran- und Thorium-Atomen im Boden entsteht und beispielsweise auch aus den Baumaterialien unserer Häuser entweicht, entsteht eine Belastung von rund 2,5 mSv pro Jahr. Die Verringerung der Radonbelastung in der Zimmerluft ist daher eine wichtige Maßnahme zur Reduzierung der täglichen Strahlenbelastung!

Gut 50 Prozent der natürlichen Strahlenbelastung wird von dem Edelgas Radon und seinen Zerfallsprodukten verursacht. In der Raumluft von Gebäuden ist im Durchschnitt etwa fünf- bis achtmal soviel Radon enthalten wie in der Außenluft. Es gelangt auf zwei Wegen dorthin: sowohl aus dem Erdboden durch die Fundamente der Gebäude, als auch zu einem geringeren Teil aus den Baustoffen, die je nach Material und Herkunft unterschiedliche Mengen an Radium 226 enthalten, aus dem das Gas entsteht.

Stark beeinflusst wird der Radongehalt in Häusern, abgesehen vom Untergrund und den verwendeten Baustoffen, vor allem durch die Lüftungsgewohnheiten der Bewohner und die Dichtheit der Fenster und Türen. Bei gut dichtenden Wärmeschutzfenstern ist regelmäßiges Lüften auch im Sinne des Strahlenschutzes von großer Bedeutung.

Auch durch natürliche radioaktive Stoffe in Trinkwasser und Nahrung werden wir mit 0,3 mSv pro Jahr belastet. Alle diese Werte sind Mittelwerte und können je nach Ort und Lebensgewohnheiten erheblich schwanken.

Kernspaltung

Kernspaltung für die Energiegewinnung

Die Möglichkeit mit wenig Brennmaterial (z.B. Uran 235) riesige Mengen Wasser hoch zu erhitzen, damit Dampfturbinen zu betreiben und Elektrischen Strom zu erzeugen wird weltweit genützt. Dadurch haben viele Staaten die Möglichkeit, ihren Strombedarf zu einem hohen Prozentsatz abzudecken. Es wird diesen Staaten auch zum Teil ermöglicht, Strom in andere Länder zu verkaufen.

Die Umwandlung von Uran in thermische Energie erfolgt im Reaktorkern. Dieser Reaktorkern besteht aus einer regelmäßigen Anordnung von Brennstoff und Moderator.

Brennstoff

Als Brennstoff wird fast durchwegs ein keramisches Material (Urandioxid) eingesetzt, das sich durch einen hohen Schmelzpunkt (ca. 2800°C), durch geringe Volumenzunahme im gesamten Temperaturbereich und durch hohe Strahlenbeständigkeit auszeichnet.

Der Brennstoff ist in Hüllrohre gasdicht eingeschweißt. Bei Leichtwasserreaktoren (Druck- und Siedewasserreaktoren) ist das Hüllrohrmaterial eine Zirkonlegierung (Zirkaloy), bei mit CO₂ gasgekühlten Reaktoren und bei Brutreaktoren wird rostfreier Stahl verwendet. Das System Brennstoff und Hüllrohr nennt man im allgemeinen Brennstab. Je nach Reaktortype sind mehrere Brennstäbe (30 bis 230) zu Brennelementbündeln zusammengefasst, die vom Kühlmittel, das bei Leichtwasserreaktoren gleichzeitig der Moderator ist, umspült werden.

Für die Energiegewinnung durch Kernspaltung stehen heute die Isotope Uran-235 und Plutonium-239 zur Verfügung. Eine Herstellung der Isotope in reiner Form ist technisch und finanziell sehr aufwendig, so dass man heute in der Regel Uran verwendet, bei dem z. B. der natürliche Anteil des Uran-235 von 0,7 % auf 2-3,5% angereichert worden ist. Die im folgenden gegebenen Erläuterungen beziehen sich auf den zuletzt genannten Kernbrennstoff.

Neutronen mit hoher Geschwindigkeit (etwa 20 000 km/s) spalten gelegentlich einen Kern von Uran-238. Die größte Zahl der Neutronen wird an den Kernen des Urans oder des Moderators gestreut, d. h. aus ihrer Bahn abgelenkt, wobei ein mehr oder weniger großer Energiebetrag an den Kern abgegeben wird. Als mittelschnelle Neutronen werden sie dann von Kernen des Uran-238 begierig eingefangen. Dabei wandeln sie diese in das Isotop Uran-239 um.

Über eine Umwandlungskette entsteht letztlich Plutonium. Die noch stärker abgebremsten Neutronen (z. B. 2 km/s) führen zu weiteren Spaltungen von Uran-235 bzw. Plutonium-239.

Langsame (thermische) Neutronen werden von Uran-238 nur in geringem Maße aufgenommen. Sie führen praktisch zu keiner Kernspaltung; es kommen nur elastische Zusammenstöße vor. Im Uran-238 kann es deshalb keine Kettenreaktion geben.

Durch die Art der Anordnung von Uranstäben und Moderator kann die Kettenreaktion so gelenkt werden, dass entweder mehr Neutronen von Uran-238 eingefangen werden oder dass sie zur

Spaltung weiterer Kerne des Uran-235 führen. In dem ersten Fall wird vornehmlich Plutonium erzeugt, in dem zweiten Wärmeenergie gewonnen.

Moderator

Für die Entwicklung einer Kettenreaktion ist Voraussetzung, dass genügend spaltbare Urankerne zur Verfügung stehen. Wenn die Uranmenge zu gering und die Geometrie zu ungünstig ist, gehen zu viele Neutronen durch die im Verhältnis zum Volumen relativ große Oberfläche verloren. Die für die Einleitung einer Kettenreaktion erforderliche Mindestmasse heißt "kritische Masse" und beträgt für reines Uran-235 etwa 50 kg (unreflektierte und unmoderierte Anordnung), Das entspricht einer Kugel mit dem Radius 8,4 cm.

Die kritische Masse lässt sich verkleinern, wenn der spaltbare Stoff von einem Reflektor umgeben wird, der einen Teil der austretenden Neutronen wieder in das Uran zurücklenkt. Zur Auslösung der Kettenreaktion braucht ein Neutron nicht künstlich erzeugt zu werden, da durch die kosmische Strahlung in der Atmosphäre freie Neutronen erzeugt werden oder die Kernspaltung von selbst durch spontanen Zerfall eines Urankerns einsetzt. In der Praxis werden jedoch in Kernreaktoren Neutronenquellen verwendet, um messtechnisch einen Ausgangs- bzw. Grundwert zu haben.

Bei Verwendung von Uran-235 als spaltbares Material müssen die Neutronen auf thermische Geschwindigkeit (etwa 2 km/s) abgebremst werden, soll nicht ein großer Teil durch Kerne des Uran-238, im Strukturmaterial oder auf andere Weise absorbiert werden. Die Geschwindigkeit der Neutronen muss sehr schnell auf einen Betrag gebracht werden, bei dem die Absorptionsverluste gering sind.

Materialien, mit denen die Neutronengeschwindigkeit durch möglichst wenige elastische Zusammenstöße abgebremst werden kann, heißen Moderatoren (Bremsmittel). Der Moderator soll Neutronen nicht absorbieren, aber Energie und Impuls des Neutrons möglichst maximal übernehmen. Ein Abbremsen durch wenige Stöße ist dann möglich, wenn die Massen der sich stoßenden Teilchen etwa gleich sind. Das stoßende Teilchen verliert dann einen großen Teil seiner Energie. Als Moderatoren eignen sich z. B. Graphit, Beryllium, schweres Wasser und leichtes Wasser.

Die Tabelle zeigt, wie viele Zusammenstöße zwischen Neutronen und Atomkernen im Mittel erfolgen müssen, um schnelle Neutronen auf langsame Geschwindigkeiten abzubremesen.

Moderatoratome	Anzahl der Stöße
Wasserstoff	18
Deuterium	25
Beryllium	86
Graphit	114
Uran	2172

Der beste Moderator ist schweres Wasser, da die Absorptionsneigung des Wasserstoffisotops Deuterium gegenüber Neutronen außerordentlich gering ist. Schweres Wasser ist aber sehr teuer. Leichtes Wasser hingegen ist zwar sehr viel billiger, hat aber gegenüber thermischen Neutronen eine

erhebliche Neigung zur Absorption. Um dennoch für die Kettenreaktion genügend Spaltneutronen zur Verfügung zu haben, muss im natürlichen Uran der Anteil an Uran-235 auf 2 - 3,5 % angereichert werden.

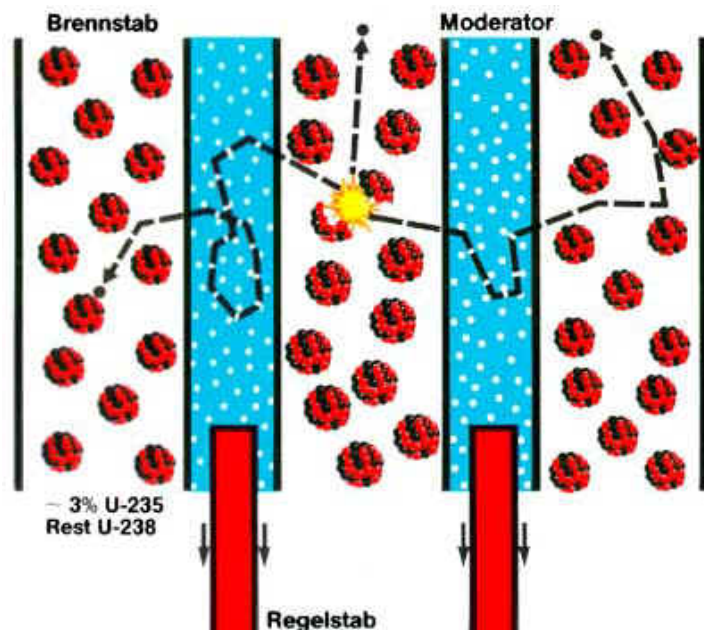
Regelung der Kettenreaktion durch Absorption von Neutronen

Soll die Kettenreaktion aufrechterhalten bleiben, muss für jedes spaltende Neutron mindestens ein neues Neutron entstehen, das eine weitere Spaltung herbeiführt. Damit wäre gewährleistet, dass die Zahl der Kernspaltungen von einer Neutronengeneration zur nächsten konstant bleibt. Man sagt, der Multiplikationsfaktor ist eins ($k = 1$).

Da bei jeder Spaltung aber 2 - 3 Neutronen frei werden, muss sichergestellt sein, dass jeweils nur 1 Neutron eine weitere Spaltung herbeiführt, während die anderen absorbiert werden müssen. Einige mittelschnelle Neutronen werden von Kernen des Uran-238 oder von Kernen der Spaltprodukte absorbiert (aufgenommen) bzw. sie entweichen in den Betonmantel, der den Reaktor zur Abschirmung umgibt. Zur zusätzlichen Absorptionsregelung werden Materialien mit hoher Neigung zur Neutronenabsorption verwendet, z. B. Legierungen, die Bor, Indium, Silber oder Cadmium enthalten. Zur Langzeitregelung dienen auch sogenannte Reaktorgifte, z. B. die Elemente Gadolinium und Dysprosium.

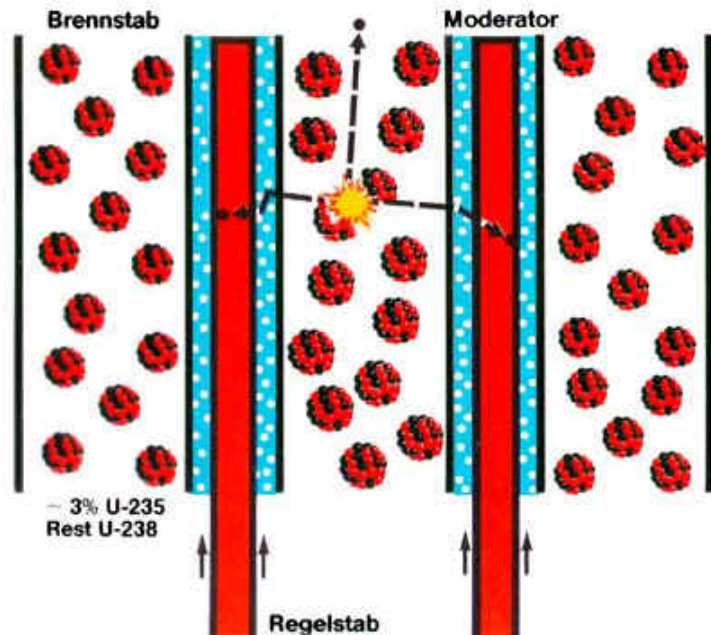
Regelstäbe nicht eingefahren

Bei jeder Kernspaltung werden 2 - 3 Neutronen frei. Es ist sichergestellt dass jeweils nur 1 Neutron eine weitere Spaltung herbeiführt. Das wird durch den geringen Gehalt an U-235 und die Abhängigkeit der Kettenreaktion von einer Neutronenmoderation (abbremsen der Neutronen) durch Wasser erreicht



Regelstäbe eingefahren

Beim Abschalten eines Reaktors werden die Regelstäbe zur Absorption der Neutronen zwischen die Uranstäbe eingefahren. Die Kettenreaktion nimmt ab und erlischt



Beim Anfahren eines Reaktors muss der Multiplikationsfaktor größer als 1 sein ($k > 1$), damit die Kettenreaktion zunächst einmal in Gang kommt. Ist ein bestimmtes Leistungsniveau erreicht, wird k wieder 1 ($k = 1$).

Bei einer Kettenreaktion tritt die Neutronenvermehrung in Hundertmillionstel Sekunden auf. Bei Störungen wäre also keine Regelung mit mechanischen Vorrichtungen möglich, wenn nicht der Ablauf des Spaltungsvorganges selbst dem Menschen zu Hilfe käme. Etwa 0,75 % der bei der Spaltung frei werdenden Neutronen werden erst mit einer Verzögerung bis zu 20 Sekunden durch die Spaltprodukte abgegeben. Stellt man den Reaktor so ein, dass die Neutronen sich von Generation zu Generation nicht mehr als um 0,75 % vermehren, wird also der Zuwachs nur durch diese verzögerten Neutronen gestellt. Diese Zeit reicht aus, um die Regelstäbe zwischen die Uranstäbe einzuführen.

Als Absorptionsmaterial für Neutronen eignen sich Cadmium und Bor. So kann z. B. eine 6,5 mm starke Schicht aus sogenannten Boral (Legierung aus Aluminium und max. 50 Volumenprozent Borcarbid) den Fluss thermischer Neutronen um den Faktor 10^{10} reduzieren.

Bor-10 hat eine große Neigung, langsame Neutronen einzufangen. Die Neutronenabsorption erfolgt aufgrund einer Kernreaktion, bei der das Neutron vom Borkern aufgenommen und ein Alphateilchen abgegeben wird.

Das entstehende Lithium gelangt zum Teil in das Kühlmittel und wird - neben anderen Produkten - bei der Kühlmittelreinigung entfernt. Die Alphateilchen wandeln sich durch Aufnahme von Elektronen in Helium um, das in den Röhrcchen der Steuerstäbe einen beachtlichen Gasdruck erzeugt. Die Abnahme der Borkonzentration und der Druckaufbau begrenzen die Lebensdauer der Steuerstäbe. Der Austauschrhythmus beträgt ca. 6 Jahre.

Eine **nukleare** Explosion in einem Kernkraftwerk ist physikalisch und technisch unmöglich. Durch die genau festgelegte Uranmenge, den geringen Gehalt an U-235 und die Abhängigkeit der Kettenreaktion von einer Neutronenmoderation durch Wasser, wird bei Leistungs- bzw.

Temperaturerhöhungen im Reaktorkern die Kettenreaktion von selbst beendet. Es stehen dann nicht mehr genügend langsame Neutronen für Spaltungen zur Verfügung. Außerdem werden bei höheren Temperaturen mehr Neutronen vom Uran-238 absorbiert

Sicherheit bei der Kernspaltung (für die Energiegewinnung)

Reaktorsicherheit

Die wichtigste Aufgabe der Reaktorsicherheit liegt darin, bei normalem Betrieb und im Störfall sicherzustellen, dass die Radionuklide nicht den Reaktor verlassen. Wenn diese radioaktiven Stoffe in erheblichem Maße in die Umgebung gelangen, hat dies katastrophale Folgen für jedes organische Leben sowie für materielle Werte in der Umgebung des Kernkraftwerkes.

In Kernkraftwerken gibt es drei Quellen für die Entstehung ionisierender Strahlung.

- Bei der Kernspaltung selbst tritt eine Neutronen- und Gammastrahlung auf. Beide Strahlenarten haben ein großes Durchdringungsvermögen. Sie müssen deshalb durch eine Reihe von Barrieren abgeschirmt werden.
- Sogenannte Aktivierungsprodukte. Zunächst inaktive Elemente können sich z.B. durch Aufnahme eines freien Neutrons in Radionuklide umwandeln. Materialien im Bereich der Neutronenstrahlung, wie z.B. Kühlmittel, Beton, Metallteile und Korrosionsprodukte können auf diese Weise radioaktiv werden.
- Die bei der Kernspaltung entstehenden Spaltprodukte sind aufgrund ihres Neutronenüberschusses häufig radioaktiv. Die Spaltprodukte bilden unter Umständen lange Zerfallsreihen. Die Halbwertszeiten können dabei Bruchteile von Sekunden bis Millionen von Jahren betragen.

Ziel der Sicherheitstechnik

Es ist das Ziel der Sicherheitstechnik, die Direktstrahlung abzuschirmen und die radioaktiven Stoffe sicher einzuschließen.

An die für die Sicherheit eines Kernkraftwerkes wichtigen Bauwerke, Komponenten und Systeme werden deshalb außergewöhnlich hohe Qualitätsanforderungen gestellt. Brennelemente, Reaktordruckbehälter, Sicherheitsbehälter, Steuerungs- und Regelsysteme usw. unterliegen bei der Herstellung und beim Einbau in das Kernkraftwerk mehrfachen Prüfungen sowie beim späteren Betrieb einer dauernden Überwachung.

Nach der Fertigstellung des Kernkraftwerkes beginnen die Funktionsprüfungen. Dabei werden alle Sicherheitsfunktionen ohne Betrieb des Reaktors möglichst wirklichkeitsgetreu in Bezug auf Temperaturen und Drücke überprüft (Nullleistungsversuche).

Sind die Uran-Brennelemente eingesetzt, wiederholen sich die Überprüfungen der Sicherheitseinrichtungen bei langsam steigender Leistung. Gleichzeitig simuliert man mögliche Störfälle und kontrolliert, wie sich die Reaktoranlage dabei verhält. Nachdem das Kernkraftwerk in Betrieb genommen worden ist, werden nach vorgegebenen Testprogrammen in unterschiedlichen Zeitabständen genau festgelegte Prüfungen vorgenommen, deren Durchführung von den zuständigen Sicherheitsbehörden überwacht wird.

Sicherheitsanalysen

Trotz dieser sicherheitstechnischen Vorkehrungen werden zusätzlich Sicherheitsanalysen durchgeführt. Dabei unterstellt man, dass trotz aller Vorkehrungen Störfälle eintreten, deren Auswirkungen dann immer noch technisch beherrscht werden müssen.

Die meisten Werkstoffe, Komponenten und Systeme in einem Kernkraftwerk sind die gleichen wie in einem konventionellen Kraftwerk. Es ist deshalb auch bei einem Kernkraftwerk nicht auszuschließen, dass trotz mehrfacher Überprüfungen, ausführlicher Sicherheitsanalysen und fortlaufender Überwachungen, Teile der Reaktoranlage ausfallen und dadurch einen Störfall herbeiführen, bei dem ein Austritt von Radionukliden nicht mehr verhindert werden kann.

Für Leichtwasserreaktoren wird als einer der Auslegungsstörfälle der Bruch der größten Kühlmittel führenden Leitung angesehen. Da sich bei fehlendem Kühlmittel die Brennelemente auch bei abgeschaltetem Reaktor durch die Nachzerfallswärme (Zerfall der Spaltprodukte) sehr stark erwärmen und schmelzen können, muss selbst bei diesem Bruch der Kühlmittelleitung eine ausreichende Versorgung des Reaktors mit Kühlmittel sichergestellt werden. Es muss unter allen Umständen verhindert werden, dass der Reaktorkern die vorhandenen Barrieren zerstört und große Radioaktivitätsmengen in die Umgebung freigesetzt werden.

Redundanz

In den Einzelanlagen eines Reaktors sind deshalb stets mehrere voneinander unabhängige Systeme vorhanden, die eine spezifische Aufgabe sicher erfüllen sollen. Diese Mehrfachanordnung wird Redundanz genannt.

Um die Auswirkungen eines solchen Bruches einer Kühlmittelleitung sicher einzuengen, werden alle Dampfleitungen durch Schnellschlussventile automatisch abgesperrt und der Reaktorkern abgeschaltet. Für diesen Zweck müssen mehrere Ventile in Reihe angeordnet sein, damit beim Versagen eines oder zweier Ventile das dritte Absperrventil die Leitung sicher schließt.

Notkühlsystem

Damit die heißen Brennelemente auch nach dem Abschalten des Reaktors und dem Absperrern der Dampfleitungen gekühlt werden können, müssen dem Reaktor über längere Zeit größere Wassermengen zugeführt werden. Dies geschieht durch das Notkühlsystem. Mehrere parallel verlaufende Rohrleitungen und Ventile sollen sicherstellen, dass auch beim Versagen einzelner Komponenten das Kühlmittel mindestens durch ein geöffnetes Ventil in den Reaktor strömen kann. Dazu müssen Leitungen und Ventile parallel angeordnet sein.

Technisch unterschiedliche Einrichtungen

Da grundsätzlich die Gefahr besteht, dass technisch gleichartige Teile auch zur gleichen Zeit versagen können (z.B. gleicher Konstruktionsfehler), werden für den gleichen Zweck technisch unterschiedliche Einrichtungen vorgesehen. So können Ventile z. B. elektrisch, hydraulisch oder pneumatisch (von Dampf getrieben) betrieben werden. Die Wahrscheinlichkeit, dass diese unterschiedlichen Einrichtungen zur selben Zeit versagen, ist dann außerordentlich gering.

Nach dem heutigen Stand der Sicherheitsforschung kann ein großer Reaktorunfall, bei dem eine hohe Strahlenbelastung zu verzeichnen wäre, nur mit außerordentlich geringer Wahrscheinlichkeit eintreten. Er ist aber nicht grundsätzlich auszuschließen. Denn absolute Sicherheit ist technisch nicht erreichbar, weder bei der Kernenergie noch bei anderen technischen Anlagen und Konstruktionen.

Kernkraftwerk und Sicherheit

Mehr als 99,9 % der Radioaktivität eines Kernkraftwerksreaktors ist in den Brennelementen gespeichert. Wenn es zu keiner Beeinträchtigung der Hülle dieser Brennelemente kommt, kann auch keine nennenswerte

Radioaktivitätsmenge nach außen gelangen und die Umwelt belasten. Nur wenn diese Brennelemente zu einem erheblichen Teil beschädigt werden und die dabei freigesetzte Aktivität nach außen dringt, also nicht durch weitere Barrieren

zurückgehalten wird, kommt es zu einer schwerwiegenden radioaktiven Belastung der Umwelt.



Kleinste radioaktive Teilchen werden in die Atmosphäre freigesetzt und lagern sich an den in der Luft vorhandenen Staubpartikeln (Aerosolen) an. Die so entstandene "radioaktive Wolke" kann, wie uns Tschernobyl deutlich vor Augen geführt hat, vom Wind über Tausende von Kilometern vertragen werden. Aufgrund der Schwerkraft sinken diese radioaktiven Staubteilchen entlang des Ausbreitungsgebietes dieser Wolke zu Boden. Ein solcher radioaktiver Niederschlag wird auch als Fallout bezeichnet.

Sicherheitsbarrieren von Leichtwasser - Reaktoren

Um ein Austreten von Radioaktivität zu verhindern, besitzen wassergekühlten Kernkraftwerke eine Reihe von Barrieren, die zwei Funktionen erfüllen. Sie schirmen die Direktstrahlung ab und sie verhindern das radioaktive Stoffe in die Umwelt gelangen.

Alpha- und Betastrahlen werden bei wassergekühlten Reaktoren durch das Kühlwasser vollständig abgeschirmt. Das Reaktordruckgefäß verringert die Gammastrahlung auf den 100.000sten Teil der Strahlung im Reaktorkern. Eine fast vollständige Abschirmung der verbleibenden Gammastrahlung und der Neutronenstrahlung geschieht durch einen zwei Meter dicken Schild aus Stahlbeton, der das Reaktordruckgefäß umgibt. Sicherheitsbehälter und Reaktorgebäude bilden weitere Barrieren, so dass außerhalb des Reaktorgebäudes kaum direkte Strahlung auftritt.

Einige der Barrieren zur Strahlenabschirmung sind gleichzeitig Sicherheitsbarrieren gegen das Austreten radioaktiver Stoffe. Es sind im einzelnen

- das Kristallgitter des Brennstoffes selbst,
- die Brennstabhülle,
- das Reaktordruckgefäß mit dem angeschlossenen Rohrsystem des Primärkühlkreises
- der Sicherheitsbehälter mit Dichthaut (Containment),
- Rückhalteeinrichtungen für flüssige und gasförmige radioaktive Stoffe.

Schäden an Brennelementen

Im Wesentlichen kann es durch zwei Vorgänge zu schweren Schäden an den Brennelementen kommen:

Unkontrollierte, schnelle Betriebsänderungen

Dies führte beim Unfall von Tschernobyl nicht nur zur Zerstörung eines Großteils der Brennelemente, sondern auch des sie umgebenden Druckgefäßes sowie zu einer schweren Beschädigung des Reaktorgebäudes und damit zu einer Freilegung des Reaktorkerns. Wegen des gutmütigen reaktorphysikalischen Verhaltens sind bei Leichtwasserreaktoren solche unkontrollierten Betriebsänderungen praktisch nicht möglich.

Sämtliche der Österreich umgebenden Kernkraftwerksreaktoren bis zu einer Entfernung von mehr als 800 km sind Leichtwasserreaktoren, also keine Tschernobyltypen

Unzureichende Abfuhr der sogenannten Nachwärme

Zum Unterschied von herkömmlichen thermischen Kraftwerken wird bei Kernkraftwerken auch nach dem Abschalten des Reaktors Wärme produziert, die sich aus dem Spaltproduktzerfall ergibt. Diese Nachwärme muss abgeführt werden, damit es nicht zu einem Schmelzen der Brennelemente und dadurch möglicherweise zu einem Austritt von Radioaktivität kommt. Diese Gefahr besteht prinzipiell auch bei Leichtwasserreaktoren.

Nicht alle Atomkraftwerke sind gleich

Leistungsreaktoren besitzen ein oder mehrere Rückhaltesysteme, um im Falle eines schweren Reaktorunfalls die Freisetzung von Radioaktivität großteils zu verhindern. Sie bestehen aus Filter- und Sprinklersystemen, die die in die Gebäudeluft freigesetzten Radionuklide auswaschen und im Washwasser binden.

Hermetische Zone

Die erste Generation dieser sowjetisch gebauten Reaktoren (WWER440 Typ 230) besitzt in Jaslovske Bohunice Block 1 und 2 lediglich eine "Hermetische Zone" mit einem Sprinklersystem, das aber keinesfalls die Sicherheit eines Containments bietet.

Barbotaschsystem

Die zweite Generation dieses Reaktortyps, der WWER440 Typ 213 (Bohunice Block 3 und 4, Dukovany alle 4 Blöcke, Paks alle 4 Blöcke sowie Mochovce) besitzt anstelle eines Containments ein sogenanntes "Barbotaschsystem". Dieses besteht aus einem etwa 30 m hohen Turm mit einem automatisch arbeitenden "Wäschersystem", das bei Kernschmelzen den freiwerdenden Dampf kondensiert, die freigesetzte Radioaktivität auswäscht und so eine Freisetzung in die Umgebung verhindern soll.

Bei allen anderen Kraftwerksreaktoren in der Umgebung Österreichs handelt es sich um Leichtwasserreaktoren mit vollwertigem Containment.

Containment

Um eine noch höhere Rückhaltung von Radioaktivität bei schwersten Unfällen zu erreichen, werden westliche Leistungsreaktoren seit mehr als 40 Jahren mit sogenannten Containments ausgestattet.

Diese Beton- oder Stahlkonstruktionen sollen im Falle einer Kernzerstörung das Entweichen der radioaktiven Substanzen in die Atmosphäre verhindern. Dies zeigte sich auch beim Unfall in Three-Mile-Island, bei dem ähnlich große Anteile des Reaktorkerns wie in Tschernobyl geschmolzen sind, aber die Belastung der Umgebung nur etwa ein Zehntausendstel jener von Tschernobyl ausmachte.

Außer in Temelin besitzt in der Umgebung Österreichs keiner der sowjetisch gebauten Kernkraftwerksreaktoren ein solches Containment!

Allerdings kann auch das Containment versagen. Bei Untersuchungen in der BRD sowie in den USA wurde festgestellt, dass ein solcher Defekt nicht sofort, sondern erst nach Stunden oder Tagen auftreten würde. Dadurch ergeben sich Vorwarnzeiten, welche die Behörden zur rechtzeitigen Warnung der Bevölkerung nützen. Auch können, je nach Gefährdung, die notwendigen Anordnungen getroffen werden.

Bei einem Unfall in Bohunice 1 oder 2, wo kein Containment und kein Barbotaschsystem existieren, würden die Vorwarnzeiten allerdings nur einige Stunden betragen.

Aufgrund bestehender Meldesysteme mit den Nachbarstaaten würde Österreich aber auch in diesen Fällen unverzüglich informiert werden. Zusätzlich gibt es von unserem Nachbarland Slowakei eine direkte Übertragung der Anzeigen des slowakischen Strahlenfrühwarnsystems. Bei einem Unfall würden wir daher nicht - wie beim Reaktorunfall von Tschernobyl - erst durch die Meldungen unseres Strahlenfrühwarnsystems alarmiert werden.

Unfall ist nicht gleich Unfall

Es kann in einem Atomkraftwerk aufgrund von technischen und physikalischen Gegebenheiten zu keiner nuklearen Explosion kommen. Jedoch ist unter bestimmten Umständen bei einigen Reaktortypen (z.B. Tschernobyl als graphitmoderierter Reaktor) eine explosionsartige Zerstörung des Reaktorgebäudes, unter anderem durch Berührung des geschmolzenen Reaktorkerns mit Wasser, möglich.

Die Auswirkungen eines schweren Kraftwerksreaktorunfalls auf die Umgebung hängen nicht nur von der Bauart des Reaktors, sondern auch im hohen Maße von einer Reihe anderer Umstände ab:

Vom Zeitpunkt des Versagens des Containments	Wird das Containment 24 Stunden nach der Kernschmelze beschädigt, so ist nur mehr mit etwa einem Tausendstel der in Tschernobyl freigesetzten Aktivität zu rechnen.
Von der Wirksamkeit des Sprinklersystems, von der Auswaschung durch das "Barbotaschsystem" und der Wirksamkeit von Filteranlagen.	Bei verzögerter Freisetzung kommt es durch Auswaschung und eingebaute Filteranlagen zu einer beträchtlichen Abscheidung der Radioaktivität innerhalb des Gebäudes.

Von der Windrichtung	Bei ungünstiger Windrichtung kommt es zu einer erheblichen Strahlenbelastung. 30o außerhalb der dominanten Windrichtung kann die Dosis bereits nur mehr 1/10 betragen. Bei Windrichtungen, die von Österreich zum Unfallort verlaufen, ist kaum mit radioaktiver Belastung zu rechnen, da der Fallout von Österreich weggeblasen wird.
Von der Entfernung des Kernkraftwerksunfalls	Je größer die Entfernung, um so geringer die Dosis (Belastung der Bevölkerung). Als Faustregel kann gelten, dass die Dosis bei einer Entfernung von 40 km vom Kernkraftwerk auf etwa 5 %, in 100 km Entfernung auf etwa 0,3 % zurückgeht.
Vom Niederschlag	Niederschlagsmengen (starker Regen oder Schneefall) während des Wolkendurchzugs können die Strahlendosis um ein Vielfaches erhöhen. Die Belastung in Regengebieten kann aufgrund des Auswaschens der radioaktiv verunreinigten Luftmassen, und der damit verstärkten Ablagerung auf dem Boden, um das 100-fache höher sein als in Gebieten, wo es während des Wolkendurchzuges keine Niederschläge gegeben hat.
Vom Alter der Person	Kinder und Embryos sind strahlenempfindlicher als Erwachsene. Sie bedürfen daher eines höheren Schutzes. Es kann daher durchaus sein, dass von den Behörden bestimmte Maßnahmen nur für Kinder und Schwangere empfohlen werden, die für den Erwachsenen nicht gelten. Dies gilt für die verschiedensten Bereiche, auch für das Verbleiben in Häusern und Wohnungen oder für die Aufnahme bestimmter Lebensmittel.
Von der Jahreszeit	Ein Unfall im Frühsommer verursacht eine viel höhere Belastung durch die Nahrungsaufnahme. Der gleiche Unfall mit den gleichen Freisetzungswerten im Winter würde zu einer viel geringeren Belastung führen.

Aufgrund dieser unterschiedlichen Belastungsmöglichkeiten ergeben sich auch sehr unterschiedliche Schutzmaßnahmen, die von den Behörden im Anlassfall rechtzeitig bekanntgegeben werden.

Fachausdrücke

Abklingen	Allmähliche Abnahme (Verschwinden) einer Eigenschaft oder eines Vorganges, z. B. der Strahlungsaktivität eines radioaktiven Stoffes.
Abklingzeit	Zeitspanne, innerhalb welcher sich die Strahlungsaktivität radioaktiver Stoffe weitgehend verringert hat.
Abschirmung	Schwächung der Strahlungsintensität beim Durchgang durch die Materie. Eine Abschirmung findet sowohl bei elektromagnetischen Wellen als auch bei Teilchenstrahlung (Korpuskularstrahlen) statt.
Abstandsgesetz	Die Strahlenbelastung verringert sich bei zunehmender Entfernung. Die Abnahme verhält sich proportional dem Quadrat der Entfernung. D. h., eine bestimmte Strahlendosis, die in einfacher Entfernung auf die Fläche von einem cm^2 auftrifft, verringert sich bei doppelter Entfernung auf $1/4$ der Dosis, bei vierfacher Entfernung auf $1/16$ der zuerst gemessenen Dosis pro gleicher Fläche usw.
Aktivität	Die Stärke der Aktivität eines bestimmten radioaktiven Präparates wird durch die Anzahl der pro Sekunde zerfallenden Kerne gemessen. Die Maßeinheit 1 Becquerel (Bq) entspricht dem Zerfall von einem Atomkern in einer Sekunde.
Alphastrahlung	Korpuskularstrahlung. Sie besteht aus Alphateilchen (Heliumkerne)
Alphazerfall	Elementumwandlung infolge der Alphastrahlung. Bei dem Vorgang vermindert ein instabiles Atom sein Gewicht um vier Kernbauteilchen (2 Protonen und 2 Neutronen).
Anfangsstrahlung	Kernstrahlung, die bei einer Kernwaffendetonation während der ersten Minute aus dem Feuerball ausgestrahlt wird (willkürliche Zeitfestsetzung). Sie besteht aus Alpha, Beta-, Gamma- und Neutronenstrahlung. Gefährlich sind jedoch nur die Gamma- und Neutronenstrahlung.
Atom	Kleinstes Teilchen eines Elements, das mit chemischen Mitteln nicht weiter zerlegbar ist.
Atomgewicht	Gewicht eines Atoms entsprechend der Zahl seiner Protonen und Neutronen und bezogen auf das Atomgewicht 16 von Sauerstoff (vereinfacht definiert).
Atomhülle	Elektrisch negativ geladene Elektronen, die sich mit hoher Geschwindigkeit auf bis zu 7 Kugelschalen um den positiv geladenen Atomkern bewegen. Ihre Verteilung auf die Schalen bestimmt die chemischen Eigenschaften der Atome.
Atomkern	Zentraler, positiv geladener Teil eines Atoms, der im wesentlichen seine Masse bildet.
Atomkernenergie	Energie, die durch Kernreaktion erzeugt wird.
Atomordnungszahl	Auch Atomnummer, die angibt, an welcher Stelle ein Element im periodischen System der Elemente steht. Identisch mit der Zahl der Protonen im Kern.

Atomsprengekörper	Sprengkörper, dessen Energiefreisetzung auf einer Kernreaktion beruht.
Äquivalentdosis	Die Äquivalentdosis ist das Produkt aus Energiedosis in menschlichem Gewebe und einem dimensionslosen Bewertungsfaktor (Q = Qualitätsfaktor, Wertungsfaktor). Maßeinheit der Äquivalentdosis ist das Sievert.
Betastrahlung (Beta-minus)	Elektronen. = Betateilchen hoher Geschwindigkeit, die bei der Umwandlung eines Neutrons in ein Proton im Atomkern entstehen und das Atom verlassen.
Betazerfall	Elementumwandlung infolge der Betastrahlung (Umwandlung eines Neutrons in ein Proton).
Bezugsdosisleistung	siehe Dosisleistung.
Comptoneffekt	Eine der drei Möglichkeiten der Ionisation (Wechselwirkung) der Gammastrahlung mit Materie. Dabei überträgt ein Gammaquant einen Teil seiner Energie auf ein Elektron eines Atoms (das damit abgetrennt wird). Die restliche Energie wird vom Atom als Gammaquant kleinerer Frequenz (größerer Wellenlänge) meist in anderer Richtung wieder abgestrahlt.
Chromosomen	In den Zellkernen befindliche Kernfäden, die Träger von Erbeigenschaften sind. Der Mensch besitzt 46 Chromosomen (vgl. Strahlungsschäden).
Curie	Alte Maßeinheit für Strahlungsaktivität eines radioaktiven Stoffes. Ein "Ci" entspricht der Aktivität von 1 g Radium (1 Millicurie = 1/1000 Curie) oder 37 Milliarden Kernumwandlungen pro Sekunde.
Deuterium	Schwerer Wasserstoff-Isotop des Wasserstoffs. Gegenüber dem gewöhnlichen Wasserstoff besitzt er im Atomkern außer einem Proton noch ein Neutron. Deuterium kommt in Spuren auch im gewöhnlichen Wasserstoff vor.
Dosis	Dosis ist die Gesamtmenge der absorbierten Strahlung ohne Berücksichtigung der Zeit in der die Bestrahlung erfolgte.
Dosisleistung	Bezeichnung einer auf eine Zeiteinheit bezogenen Dosis; z.B. die Dosis die in einer Stunde absorbiert wurde.
Dosisleistungsmesser	Gerät zur Messung der Dosisleistung. Beruht auf der Funktion des Geiger-Müller-Zählrohrs.
Dosismesser / Dosimeter	Gerät zur Feststellung der persönlichen Strahlungsbelastung durch Röntgen- und Gammastrahlung bis zum Augenblick der Messung. Beruht auf der Funktion des Elektrometers.
Elektromagnetische Wellen	Umfassender Begriff für Elektrizität, Magnetismus, Wärme, Licht und harte Strahlung. Elektromagnetische Wellen sind ihrem Wesen nach sämtlich gleichartig. Sie unterscheiden sich im Einzelnen nur durch ihre Wellenlänge und Schwingungszahl. Sie wirken auf unsere Sinnesorgane entweder gar nicht oder sehr unterschiedlich.

Elektron	Bezeichnung für ein elektrisch negativ geladenes Elementarteilchen, das fast masselos ist und in allen Atomen vorhanden ist. Ein positiv geladenes Elektron wird "Positron" genannt.
Elektronenvolt (eV)	In der Kernphysik gebräuchliche Energieeinheit. Ein Elektronenvolt (eV) ist diejenige Energie, die ein Elektron beim Durchlaufen der Beschleunigungsspannung von 1 Volt aufnimmt. KeV: Abk. für Kiloelektronenvolt, MeV: Abk. für Millionenelektronenvolt.
Element - chemisches	Stoff, der aus einer einheitlichen Atomart aufgebaut ist und durch seine Ordnungszahl charakterisiert wird. Es gibt 92 natürliche Elemente und eine kleine Anzahl künstlich herstellbare Elemente.
Elektrometer	Elektrostatistisches Gerät zur Messung von Strahlungen oder Ladungen. Beruht auf der Kraftwirkung, die zwei Ladungen aufeinander ausüben.
Energiedosis	Ionen- und Energiedosis beschreiben physikalische Wirkungen der Strahlung. Die Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Dosis und biologischer Wirkung (Strahlenschaden) beruht auf der Erfahrung aus Strahlenunfällen beziehungsweise von Tierversuchen. Es hat sich dabei gezeigt, dass die Höhe des Strahlenschadens neben der Dosis auch von der Art der dabei wirksamen Strahlung wesentlich beeinflusst wird. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurde der Begriff der Äquivalentdosis geschaffen.
Entstrahlung (radioaktive Dekontamination)	Reinigung von Oberflächen an denen sich radioaktive Stoffe abgelagert haben.(z.B. Ablagerung durch radioaktiven Niederschlag)
Erbfaktoren	Siehe Gene
Erbschäden	Schädigung der Keimzellen (Samen- und Eizellen) durch Umwelteinflüsse, die häufig erst in späteren Generationen auftreten.
Fallout	Radioaktive Teilchen die aufgrund der Schwerkraft zu Boden sinken und sich dort ablagern (radioaktiver Niederschlag). Betroffener Bereich abhängig von der Wetterlage und der freigesetzten Menge an radioaktiven Teilchen.
Filmdosimeter	Lichtgeschützter Film, der sich nach Gammabestahlung bei der Entwicklung färbt. Der Grad der Schwärzung ist ein Maß für die empfangene Dosis.
Gammastrahlung	Elektromagnetische Strahlung (Quanten oder Photonenstrahlung) von sehr kurzer Wellenlänge mit großer Durchdringungsfähigkeit. Wird von Atomkernen ausgestrahlt, die sich in angeregtem Zustand befinden. Die Gammastrahlung besteht aus Quanten (Photonen), die man mit kleinen "Energiepaketen" vergleichen kann.
Ganzkörper-Bestrahlung	Bestrahlung des gesamten Organismus durch ionisierende Strahlen. Der Umfang des Strahlungsschadens ergibt sich aus der Intensität der Strahlung und der Zeitdauer ihrer Einwirkung auf den Organismus.
Geiger-Müller-Zählrohr	Siehe Zählrohr

Gene	Erbfaktoren, die in den Chromosomen in kettenartiger Anordnung gelagert sind und von beiden Elternteilen vererbte Anlagen auf die Nachkommen übertragen.
Gonaden	Keimzellen (Eierstöcke, Hoden).
Gray	Maßeinheit der Energiedosis. Ein Gray ist die Energiedosis, die einem Körper mit der Masse von 1 kg durch ionisierende Strahlung die Energie von einem Joule zuführt.
Grenzdosis	Dosis, bis zu der im Allgemeinen nach einer Ganzkörperbestrahlung beim Betroffenen keine klinisch erkennbaren Schäden auftreten, bzw. in der Regel noch nicht zu erwarten sind.
Grundzustand	Stabiler Zustand eines Atoms oder auch Atomkerns, von dem keine Energie mehr abgegeben (ausgestrahlt) wird.
Halbwertsdicke	Schichtdicke eines Materials, die eine ionisierende Strahlung auf die Hälfte ihrer Intensität abschwächt.
Halbwertszeit - physikalisch	Zeitspanne, in der 50% der Atome eines bestimmten radioaktiven Stoffes zerfallen sind, d. h. die Zeit, nach der dieser radioaktive Stoff nur noch die Hälfte seiner ursprünglichen Aktivität besitzt.
Halbwertszeit - Biologisch	Zeit, in der der Organismus die Hälfte eines aufgenommenen Stoffes auf natürlichem Wege wieder ausscheidet.
Halbwertszeit - Effektive	Zeit, die sich aus der physikalischen und biologischen Halbwertszeit ergibt, in der sich die Menge eines im Organismus befindlichen radioaktiven Stoffes infolge seines radioaktiven Zerfalls und der natürlichen Ausscheidung auf die Hälfte vermindert.
Induzierte Radioaktivität	Radioaktivität, die in bestimmten Materialien (Mangan, Kobalt, Eisen, Zink, Wolfram u. a.) durch Kernreaktionen verursacht wird, insbesondere durch Neutroneneinfang, wobei sich instabile Atomkerne bilden.
Inkorporation	Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper über die Atemwege, durch Nahrung und Trinkwasser sowie über die Haut und Wunden.
• Inhalation	Belastung durch Einatmen
• Ingestion	Belastung durch Nahrungsaufnahme
Innere Strahlung	Kernstrahlung radioaktiver Stoffe im Organismus. Gefährliche innere Strahlenquellen sind Jod 131, Strontium 90 und Cäsium 137.
Intensität	Maß für Energiefluss einer Strahlung wie Licht, Gammastrahlen.
Ion	Elektrisch geladenes Atom, dessen Elektronenhülle durch Ionisation Elektronen verloren oder zusätzlich aufgenommen hat.

Ionendosis	Dosis einer Röntgen- oder Gammastrahlung in der Maßeinheit Röntgen, die in einem cm ³ Luft zwei Milliarden Ionenpaare erzeugt.
Ionisation	Vorgang der Veränderung des elektrischen Gleichgewichts zwischen dem positiven Atomkern und der negativen Atomhülle.
Ionisierende Strahlung	Elektromagnetische Wellenstrahlung oder Korpuskularstrahlung (Teilchenstrahlung) mit ausreichend hoher Energie, die beim Durchgang durch Materie Ionen erzeugt.
Isotope	Atomarten ein und desselben chemischen Elements, die die gleiche Atomhülle und im Atomkern die gleiche Anzahl von Protonen, aber verschieden viele Neutronen enthalten und sich daher im Atomgewicht unterscheiden.
Kernreaktion	Physikalischer Prozess (Zerfall, Spaltung, Verschmelzung), der sich innerhalb eines Atomkerns oder zwischen mehreren Atomkernen abspielt. Zu unterscheiden von der chemischen Reaktion, die sich nur in der Atomhülle abspielt.
Kernreaktor	Anlage, in der mit einer kontrollierten Kettenreaktion aus spaltbarem Material Energie gewonnen wird.
Kernspaltung	Spaltung eines schweren Atomkerns in (meist) zwei Teile, die durch ein Neutron ausgelöst wird.
Kernstrahlung	Sammelbezeichnung für alle aus dem Atomkern stammenden Strahlungen - Alpha-, Beta-, Gamma- und Neutronenstrahlung.
Kettenreaktion	Folge von hintereinander ablaufenden gleichartigen Reaktionen, bei der jede Reaktion durch eine vorangehende ausgelöst wird und selbst wieder weitere Reaktionen auslöst.
Korpuskularstrahlung	Strahlung, die im Gegensatz zur elektromagnetischen Wellenstrahlung aus kleinen Teilchen (Korpuskeln) besteht, z. B. Alpha- oder Betastrahlung.
Massenzahl	Summe der Protonen- und Neutronen in einem Atomkern. Sie wird an das Kernsymbol geschrieben, z. B. 235 U.
Moderator	Der Moderator hat die Aufgabe, die bei der Uranspaltung entstehenden schnellen Neutronen (ca.20.000 Km/s) auf niedere Energien (= thermisches oder langsames Neutron) abzubremesen (ca.2 Km/s). Dies erfolgt durch elastische Zusammenstöße mit den Moderatorokernen, die deshalb eine niedere Massenzahl haben. Weiter verbreitet sind leichtes Wasser, schweres Wasser und Graphit als Moderator.
Molekül	Chemische Verbindung gleich- oder verschiedenartiger Atome untereinander. Kleinster Bestandteil einer chemischen Verbindung.
Mutation	Sprunghafte Änderung von Erbanlagen, die u. a. durch ionisierende Strahlung hervorgerufen werden kann.

Neutron	Elektrisch ungeladenes (neutrales) Kernbauteilchen, das zusammen mit dem positiv geladenen Proton die Atomkerne aufbaut.
Neutronen induzierte Strahlung	Künstlich erzeugte Radioaktivität, die praktisch in jedem Element hervorgerufen werden kann, wenn es einem genügend hohen Neutronenfluss ausgesetzt wird. Bestandteil der Rückstandsstrahlung
Neutronenstrahlung	Strom von Neutronen, die bei einer Kernreaktion, z. B. als Folge der Detonation eines Atomsprengkörpers entstehen.
Nukleonen	Die Kernbausteine Proton und Neutron
Nuklid	Atomart - Atomkern mit kompletter Atomhülle -, bestimmt durch Protonen- und Neutronenzahl des Atomkerns.
Ordnungszahl	Zahl der in einem Atomkern enthaltenen Protonen. Die Elemente sind nach Ordnungszahlen im Periodischen System geordnet.
Paarbildung	Eine der drei Möglichkeiten der Ionisation (Wechselwirkung) der Gammastrahlung mit Materie. Dabei wird die Energie eines Gammaquants beim Zusammenstoß mit einem Atom in Materie umgewandelt, d. h. es entsteht ein negativ geladenes und ein positiv geladenes Elektron. Das positiv geladene Elektron wird mit "Positron" bezeichnet. Bei höherer Energie des Gammaquants wird der Energieüberschuss dem Elektronenpaar als Bewegungsenergie mitgegeben, so dass weitere Ionisationsvorgänge wie bei einem Betateilchen ausgelöst werden können.
Periodisches System	Ordnung aller chemischen Elemente nach der Ordnungszahl, wobei sich gewisse Gruppen (Perioden) von Elementen mit ähnlichen chemischen Eigenschaften ergeben.
Photoeffekt	Eine der drei Möglichkeiten der Ionisation (Wechselwirkung) der Gammastrahlung mit Materie. Dabei überträgt ein Gammaquant seine gesamte Energie an ein Hüllenelektron eines Atoms. Das Elektron verlässt darauf das Atom nahezu mit der Energie des Gammaquants und verhält sich nun seinerseits wie ein Betateilchen.
Photon	Lichtquant, Gammaquant; siehe Gammastrahlung.
Positron	Elektrisch positiv geladenes Elektron
Proton	Positiv geladenes Teilchen, das zusammen mit dem Neutron die Atomkerne aufbaut.
Q – Faktor (Qualitätsfaktor)	Faktor mit dem eine Strahlenbelastung multipliziert werden muss um die Äquivalentdosis zu bekommen. Berücksichtigt unter anderem Energie und Art der radioaktiven Strahlung. Als Bezugsstrahlung (Wertungsfaktor Q=1) dient Photonenstrahlung mit 250 keV. Einige Werte für Q: Röntgenstrahlung, Gammastrahlung, Betastrahlung: Q = 1 Alphastrahlung, entsprechend ihrer Energie: Q = 10 bis 20 Neutronenstrahlung, entsprechend ihrer Energie: Q = 3 bis 10

Radioaktive Isotope/ Radionuklid	Isotope eines Elements, die nicht stabil sind und mit einer bestimmten Halbwertszeit zerfallen. Der Begriff "Radioaktives Isotop" ist nicht mehr gebräuchlich und wird durch "Radionuklid" ersetzt.
Radioaktivität - natürlich	Eigenschaft bestimmter Atomkerne, sich von selbst in andere Atomkerne umzuwandeln und dabei radioaktive Strahlung auszusenden.
Radioaktivität - künstlich	Durch Kernumwandlungen verursachte Radioaktivität eines vorher nicht radioaktiven Stoffes. Man kennt heute über 1500 radioaktive Isotope.
Rem =Alte Maßeinheit. Heute Sievert	Biologisch wirksame Kernstrahlungsdosis. rem = Abkürzung des englischen Ausdrucks röntgen equivalent man. Berücksichtigt die Art der Strahlung, die Energie der Strahlung und das betroffene Organ. Rem ist das Produkt aus dem entsprechenden Q-Faktor multipliziert mit der Energiedosis. 1 Sievert = 100 Rem
Röntgen (r)	Einheit der Ionendosis. Menge einer Röntgen- oder Gammastrahlung, die in einem cm ³ Luft ca. 2 Milliarden Ionenpaare - Ionisationsvorgänge - erzeugt.
Rückstands- strahlung	Kernstrahlung, die später als 1 Minute (willkürliche Festsetzung) nach der Detonation eines Atomsprengekörpers auftritt und mit abnehmender Intensität lange Zeit wirksam bleibt. Hierbei sind zu unterscheiden: die von radioaktiven Spaltprodukten ausgesandte Strahlung, die fortdauernde Strahlung derjenigen Uran- bzw. Plutoniumkerne, die bei der Kernspaltungsreaktion nicht gespalten wurden, die durch Neutroneneinfang verursachte Beta- und Gammastrahlung (induzierte Radioaktivität).
Sievert	Biologisch wirksame Kernstrahlungsdosis.. Berücksichtigt die Art der Strahlung, die Energie der Strahlung und das betroffene Organ. Sievert ist das Produkt aus dem entsprechenden Q-Faktor multipliziert mit der Energiedosis.
Spaltprodukte	Bruchstücke eines Atomkerns, die bei der Kernspaltung entstehen. Die aus der Spaltung von U 235, U 233 oder Pu 239 hervorgehenden Spaltprodukte gehören verschiedenen Elementen an.
Strahlungs- krankheit	Vielfalt von Krankheitserscheinungen, die nach Beginn, Verlauf und Schwere von der Strahlendosis, Strahlenart, Bestrahlungsweise und der Strahlungsempfindlichkeit abhängen.
Strahlenschutz	Maßnahmen, die Strahlungsschäden verhindern oder verringern.
Strahlungsdosis = Strahlungs- belastung	Von einer Strahlung an den Organismus abgegebene Energiemenge, die tatsächlich für schädliche Wirkungen in Atomen, Molekülen, Zellen oder Organen aufgewandt wird.

Strahlen- schutzfaktor	Verhältnis der im Freien vorhandenen Dosisleistung zu der im gleichen Zeitpunkt im Schutzraum vorhandenen Dosisleistung.
Strahlungsenergie	Energie einer ionisierenden Strahlung, gemessen in Elektronenvolt
Strahlungsintensität	Stärke einer Strahlung; genauer: Energiefluss pro Zeit- und Flächeneinheit (z. B. pro sec. auf 1 cm ²) senkrecht zur Strahlenrichtung.
Teilkörper- bestrahlung	Bestrahlung einzelner Körper- bzw. Gewebeteile.
Umweltstrahlung (natürliche)	Schwache ionisierende Strahlung, die von der stets vorhandenen Radioaktivität der Luft und des Erdbodens herrührt. Zusammen mit der kosmischen Höhenstrahlung führt sie zur natürlichen Strahlungsbelastung, die etwa 3,8 mSv pro Jahr beträgt.
Verstrahlung	Ablagerung radioaktiver Stoffe auf Gelände, Gegenständen, Menschen, Tieren und Pflanzen.
Zählrohr (Geiger- Müller)	Gasgefülltes, meist zylindrisches Rohr, in dem beim Durchgang eines ionisierenden Teilchens ein elektronischer Stromimpuls erzeugt wird. Wichtiges Nachweisgerät für Strahlungen natürlicher und künstlicher radioaktiver Stoffe.
Zehntelwertdicke	Dicke eines Materials, durch das die jeweilige Intensität einer Gammastrahlung auf den zehnten Teil abgeschwächt wird.
Zerfall	Umwandlung eines radioaktiven Stoffes in einen anderen Stoff.
Zerfallsreihe	Gesetzmäßigkeit, nach der sich Atome radioaktiver Stoffe unter Aussendung von radioaktiver Strahlung oft nacheinander in andere Atome ebenfalls radioaktiver Stoffe umwandeln, bis schließlich ein nicht mehr radioaktives Atom entsteht. In der Natur bestehen mehrere solcher "Zerfallsreihen". Eine daraus ist die "Uranreihe". Sie beginnt mit Uran 238, durchläuft 14 Zwischenstationen und endet mit dem Bleisotop 206.

Quelle: Informationen teilweise entnommen: Strahlenschutzratgeber 2007 (.pdf), BMI