

Radioaktivität und Strahlenschutz

Diese Broschüre vermittelt ein vereinfachtes Grundwissen



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Gesundheit BAG



Radioaktivität und Strahlenschutz

Diese Broschüre vermittelt ein vereinfachtes Grundwissen

Inhalt

Aufbau der Materie: Atome, Moleküle, Isotope	2
Radioaktivität	5
Radioaktive Zerfälle und ionisierende Strahlung	9
Wirkung der ionisierenden Strahlung auf den Menschen	13
Jahresdosen der Bevölkerung in der Schweiz	22
Radioaktivität aus Kernkraftwerken	24
Anwendung von Strahlenquellen in der Medizin	26
Anwendung in Technik und Forschung	27
Radioaktive Abfälle	28
Strahlenschutz	29
Notfallschutz	30
Die Internationale Störfall-Bewertungsskala für Kernanlagen	32
Grundsätze für den Schutz der Bevölkerung bei erhöhter Radioaktivität	34
Stichworterklärungen	36

Herausgeber:
Bundesamt für Gesundheit
3003 Bern

Bezugsquelle:
BBL, Vertrieb Publikationen, 3003 Bern
www.bbl.admin.ch/bundespublikationen
BBL-Artikelnnummer: 311.322.d

Satz und Gestaltung:
Gerber Typografik, Bern

Illustrationen:
Peter Marthaler, Grafiker, Bern

BAG VS 7.07 15'000 d 0 f 0 i 40EXT07007
3.01 30'000 50ext01009 51190

Vorwort

Was ist Radioaktivität? Woher stammt sie? Wo liegt ihr Nutzen, wo sind die Gefahren, die von Radioaktivität ausgehen können? Und wie verhalte ich mich angesichts einer möglichen Gefährdung? – Auf Fragen dieser Art will die vorliegende Broschüre Antworten geben. Sie vermittelt ein vereinfachtes Grundwissen. Zurück geht sie auf die gleichnamige Broschüre «Radioaktivität und Strahlenschutz», die das Bundesamt für Gesundheit 1990 unter Mitwirkung von Martin Baggenstos, Hans Graf, Otto Huber, Heinz Hugo Loosli und Werner Zeller herausgegeben hat.

Es war unumgänglich, in dieser Broschüre die komplexe Materie «Radioaktivität» vereinfacht darzustellen und auf das Wesentliche zu beschränken. Zahlreiche Beispiele und Darstellungen veranschaulichen die oft komplexe Thematik.

Wir danken allen, die die Erarbeitung der Neuauflage unterstützt haben und freuen uns, wenn die Broschüre zum besseren Verständnis der wichtigen Thematik «Radioaktivität» beiträgt.

Bern, im Juli 2007

Martin Baggenstos
Werner Zeller

Aufbau der Materie: Atome, Moleküle, Isotope

Alle Stoffe sind aus Atomen aufgebaut. Atome sind so klein, dass man sie mit blossen Auge nicht erkennen kann. In jedem Wassertropfen und in jeder Körperzelle hat es eine unvorstellbar grosse Zahl von Atomen.

Beispielsweise enthält 1 Tröpfchen Wasser
ca. $10^{21} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$ Atome

Ein Atom besteht aus einem Kern und einer Hülle. Der Kern ist sehr klein. Er ist aus elektrisch positiv geladenen Protonen und aus nicht geladenen Neutronen zusammengesetzt. Die Hülle wird durch negativ geladene Elektronen gebildet. Atome, welche chemisch gleich reagieren, gehören zum gleichen Element. Die verschiedenen chemischen Elemente unterscheiden sich durch die Anzahl Protonen im Kern. In der Natur kommen 92 Elemente vor, von Wasserstoff mit nur einem Proton bis zum Uran mit 92 Protonen. Die Elemente werden durch eine Abkürzung (Symbol) gekennzeichnet.

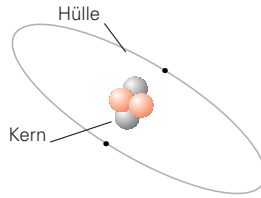
Beispiele:

Wasserstoff (H)	Strontium (Sr)
Helium (He)	Jod (I)
Kohlenstoff (C)	Cäsium (Cs)
Sauerstoff (O)	Radon (Rn)
Kalium (K)	Radium (Ra)
Eisen (Fe)	Uran (U)
	Plutonium (Pu)

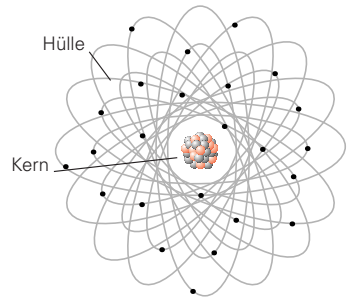
**Ein Atomkern enthält Protonen und Neutronen,
die Hülle besteht aus Elektronen.**

Wenn sich zwei oder mehrere Atome verbinden, entsteht ein Molekül. Zum Beispiel verbinden sich 2 Wasserstoffatome und 1 Sauerstoffatom zu einem Wassermolekül mit der Formel H_2O .

Ist die Anzahl Elektronen in der Hülle gleich der Anzahl Protonen im Kern, so ist das Atom als Ganzes nicht geladen. Fehlen Elektronen, so ist das Atom positiv, hat es zu viele Elektronen, so ist es negativ geladen, es ist ionisiert.



Helium-Atom
 Kern: 2 Protonen
 2 Neutronen
 Hülle: 2 Elektronen

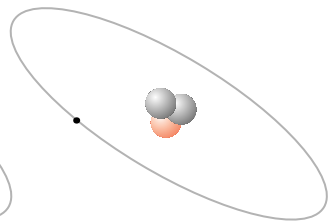
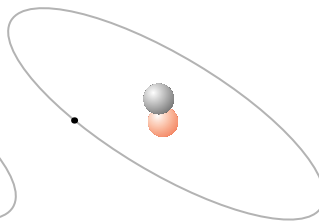
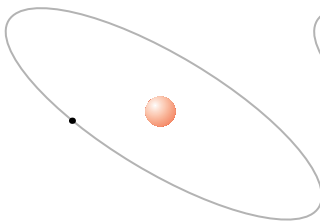


Uran-Atom
 92 Protonen
 146 Neutronen
 92 Elektronen

**Hat ein Atom zuviele oder zuwenig Elektronen in der Hülle,
 so ist es ein Ion.**

Die Atome eines Elementes können eine unterschiedliche Anzahl Neutronen im Kern haben. So kann ein Kern von Wasserstoff zusätzlich zum Proton noch ein oder zwei Neutronen enthalten. Wenn sich Atome eines Elementes nur durch die Anzahl ihrer Neutronen im Kern unterscheiden, heissen sie Isotope des betreffenden Elements.

Isotope des Wasserstoffatoms:



Gewöhnlicher Wasserstoff	schwerer Wasserstoff	überschwerer Wasserstoff
H-1	H-2 (Deuterium)	H-3 (Tritium)
1 Proton	1 Proton	1 Proton
Kein Neutron	1 Neutron	2 Neutronen
1 Elektron	1 Elektron	1 Elektron

Isotope werden dadurch gekennzeichnet, dass die Gesamtanzahl von Protonen und Neutronen zum Symbol des chemischen Elements geschrieben wird. So kennt man von Kohlenstoff 8 Isotope: alle besitzen im Kern 6 Protonen, aber eine unterschiedliche Anzahl Neutronen. Am häufigsten kommt Kohlenstoff-12 vor mit 6 Neutronen im Kern.

Chemisch verhalten sich Isotope eines Elements bis auf feine Unterschiede gleich. Sie haben aber unterschiedliche physikalische Eigenschaften, wie die Radioaktivität.

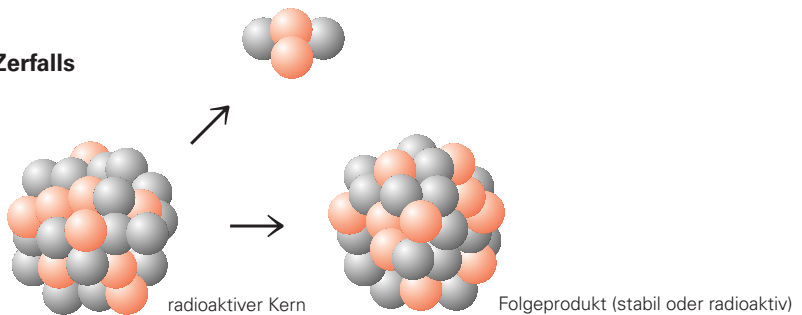
Als generelle Bezeichnung für Kerne gleicher Zusammensetzung hat man den Begriff Nuklid geprägt. Kerne von Isotopen sind also auch Nuklide. Insgesamt sind heute ca. 2000 Nuklide bekannt.

Isotope eines Elementes haben unterschiedliche physikalische Eigenschaften; gewisse Isotope sind radioaktiv.

Radioaktivität

Nur etwa 250 der heute bekannten 2000 Nuklide sind stabil. Die anderen haben die Eigenschaft, dass sie sich ohne Einfluss von aussen umwandeln, sie zerfallen von selbst. Solche Nuklide sind nicht stabil, sondern radioaktiv. Man nennt sie Radionuklide. Den Zerfall von Radionukliden kann man nicht aufhalten oder beeinflussen. Beim Zerfall entstehen meist Atome eines andern Elements, die stabil oder erneut radioaktiv sind (radioaktive Folgeprodukte). Radionuklide kommen in der Natur vor, können aber auch künstlich erzeugt werden.

Beispiel eines radioaktiven Zerfalls



Beispiele von Nukliden, die in der Natur vorkommen

Kohlenstoff-12	6 Protonen	6 Neutronen	(stabil)
Kohlenstoff-13	6 Protonen	7 Neutronen	(stabil)
Kohlenstoff-14	6 Protonen	8 Neutronen	(radioaktiv)
Blei-206	82 Protonen	124 Neutronen	(stabil)
Radon-222	86 Protonen	136 Neutronen	(radioaktiv)
Radium-226	88 Protonen	138 Neutronen	(radioaktiv)
Uran-235	92 Protonen	143 Neutronen	(radioaktiv)
Uran-238	92 Protonen	146 Neutronen	(radioaktiv)

Die meisten Elemente haben ein oder mehrere stabile Isotope. Zusätzlich ist bei allen Elementen eine mehr oder weniger grosse Zahl radioaktiver Isotope bekannt.

Zum Beispiel:

- sind gewöhnlicher Wasserstoff und Deuterium stabil, während Tritium radioaktiv ist.
- sind Kohlenstoff-12 und Kohlenstoff-13 stabil, während Kohlenstoff-14 radioaktiv ist.

- besitzt Cäsium nur ein stabiles Isotop (Cäsium-133), während man über 30 radioaktive Cäsium-Isotope kennt, unter anderem Cäsium-134 und Cäsium-137, die künstlichen Ursprungs sind.
- gibt es kein stabiles Isotop von Radon oder Uran.

Radioaktive Kerne zerfallen. Meist entstehen Kerne eines anderen Elements.

Zerfallsgesetz

Der Zeitpunkt des Zerfalls kann für einen einzelnen radioaktiven Kern nicht vorausgesagt werden. Hingegen kennt man die Zeit, nach der jeweils die Hälfte einer grossen Zahl vorhandener radioaktiver Kerne zerfallen ist: Dies ist die (physikalische) Halbwertszeit. Sie ist für jedes Radionuklid charakteristisch und reicht von Bruchteilen einer Sekunde bis zu Jahrmilliarden.

Beispiele von Radionukliden mit ihren Halbwertszeiten natürlichen Ursprungs

Kohlenstoff-14	5730 Jahre
Kalium-40	1,3 Mrd. Jahre
Radon-222	3,8 Tage
Radium-226	1600 Jahre
Uran-235	700 Mio. Jahre
Uran-238	4,5 Mrd. Jahre

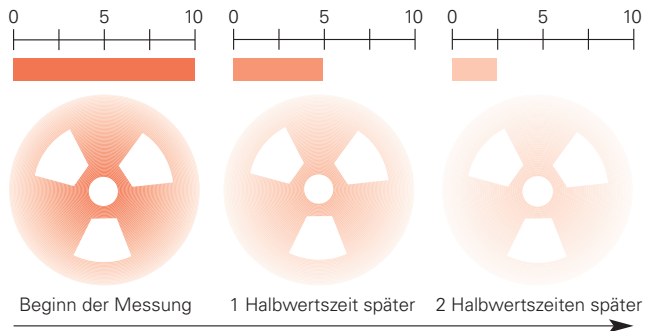
künstlichen Ursprungs

Strontium-90	29 Jahre
Jod-131	8 Tage
Cäsium-134	2 Jahre
Cäsium-137	30 Jahre
Plutonium-239	24'000 Jahre

Die Halbwertszeit eines Radionuklids ist die Zeit, nach der die Hälfte einer anfänglich vorhandenen Anzahl Kerne zerfallen ist.

Beispielsweise bedeutet die Halbwertszeit für Jod-131 von 8 Tagen, dass nach dieser Zeit die Hälfte einer anfänglichen Jod-131 Menge zerfallen ist. Damit ist auch die Aktivität nach 8 Tagen auf die Hälfte gesunken. Nach

Abnahme der Aktivität mit der Zeit

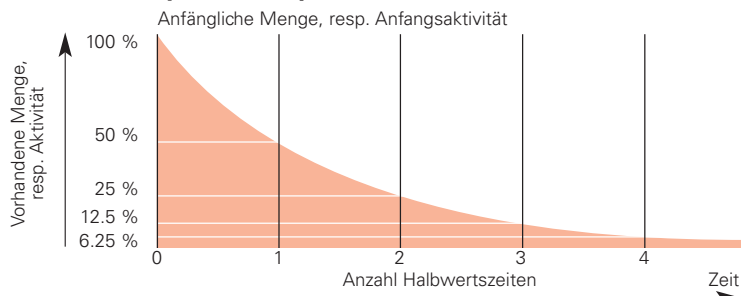


16 Tagen reduziert sich die Aktivität auf einen Viertel, nach 24 Tagen auf einen Achtel, nach 32 Tagen auf einen Sechzehntel und nach 3 Monaten auf weniger als 1 Promille der Anfangsaktivität. Dabei ist aus jedem Jod-Atom ein Xenon-Atom entstanden. So war das Jod-131 von Tschernobyl ein paar Monate nach dem Unfall praktisch zerfallen, während Cäsium-137 weiterhin nachgewiesen werden kann, vor allem im Erdboden.

Einheit der Aktivität

Die Anzahl der pro Zeiteinheit zerfallenden Kerne (z.B. in einer Sekunde) nennt man die Aktivität einer gegebenen Substanz. Sie wird in der Einheit Becquerel angegeben; ein Becquerel (1 Bq) bedeutet ein Zerfall pro Sekunde.

Zerfall von Radionukliden 1 Bq = 1 Zerfall pro Sekunde



Die früher gebräuchliche Einheit für die Aktivität war das Curie (Ci).

$1 \text{ Ci} = 37 \text{ Milliarden Bq}$
 $37 \text{ Bq} = 1 \text{ Milliardstel-Curie (1 nano-Curie)}$

Das Becquerel ist die Einheit für die Aktivität einer Substanz.

Radioaktive Zerfälle und ionisierende Strahlung

Wenn Radionuklide zerfallen, werden Teilchen mit hoher Geschwindigkeit ausgesandt. Sie ionisieren das umgebende Material und werden dabei abgebremst. Durch den Nachweis eines solchen Teilchens merkt man, dass ein Zerfall stattgefunden hat. Die wichtigsten Zerfallsarten sind der Alpha- und der Beta-Zerfall. Bei diesen beiden Zerfallsarten sendet der Kern oft auch Gamma-Strahlung aus.

Beim radioaktiven Zerfall werden Alpha- oder Betateilchen ausgesandt, oft zusätzlich auch Gammastrahlung.

Zerfallsarten

α Alpha-Zerfall (Alpha-Teilchen)

Bei einem Alpha-Zerfall wird ein Alpha-Teilchen aus dem zerfallenden Kern herausgeschleudert. Ein Alpha-Teilchen entspricht einem Heliumkern und besteht aus 2 Protonen und 2 Neutronen. Diese Alpha-Strahlung hat in Luft eine Reichweite von einigen Zentimetern, im menschlichen Körper nur Bruchteile eines Millimeters. Alpha-Strahlung entsteht z.B. beim Zerfall von Radon-222, Uran-238 und Plutonium-239.

β Beta-Zerfall (Beta-Teilchen)

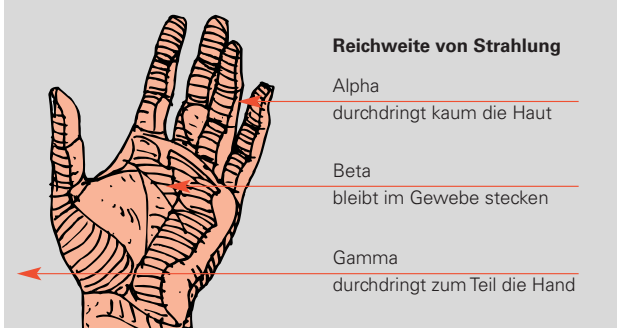
Bei einem Beta-Zerfall wird ein Elektron aus dem zerfallenden Kern herausgeschleudert (siehe auch Stichwortverzeichnis). Diese Beta-Strahlung ist durchdringender als Alpha-Strahlung. Sie hat in Luft eine

Reichweite von Metern, im menschlichen Körper eine solche von Millimetern. Beta-Strahlung entsteht z.B. beim Zerfall von Tritium, Kohlenstoff-14, Kalium-40, Strontium-90, Cäsium-134 und Cäsium-137.

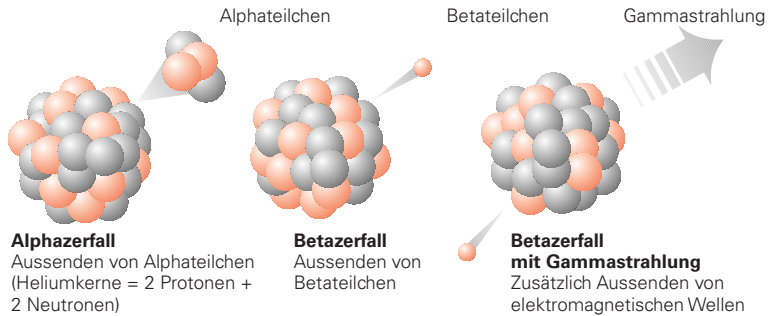
γ Gamma-Strahlung

Bei einem Alpha- oder Beta-Zerfall entsteht oft zusätzlich Gamma-Strahlung. Sie ist elektromagnetische Strahlung wie die Röntgenstrahlung, die ultraviolette Strahlung einer Höhengsonne oder das Sonnenlicht. Im allgemeinen ist Gamma-Strahlung durchdringender als Alpha- und Beta-Strahlung. Sie wird beim Durchgang durch Materie nur allmählich abgeschwächt. Bei hoher Energie durchdringt Gammastrahlung Hunderte von Metern Luft, menschliches Gewebe bis zu etwa einem Meter. Gamma-Strahlung wird z.B. bei den Beta-Zerfällen von Kalium-40, Cäsium-134 und Cäsium-137 ausgesandt, aber auch beim Alpha-Zerfall von Uran-238 und seinen Zerfallsprodukten.

Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlung erzeugen auf ihrem Weg durch Materie Ionen.



Zerfallsarten von Radionukliden



Schutz vor ionisierender Strahlung

Aus der Durchdringungsfähigkeit von Alpha-, Beta- oder Gamma-Strahlung werden bereits Möglichkeiten verständlich, wie man sich vor diesen Strahlen schützen kann.

Entweder hält man einen ausreichenden Abstand von einer Strahlenquelle ein, oder man schirmt die Strahlung ab. Für die Abschirmung von Alpha- und Beta-Strahlung genügen relativ dünne Materialschichten. Alpha-Strahlung durchdringt kaum die Haut. Für die Abschirmung von Beta-Strahlung genügt schon die Kleidung, für die Augen eine Brille. Gamma-Strahlung benötigt zur Abschwächung dickes und schweres Material. Erde, Beton oder Blei sind dabei wirkungsvoller als Wasser gleicher Schichtdicke.

Neben der erwähnten Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlung gibt es noch weitere ionisierende Strahlenarten, z.B. Neutronen.

Zur Abschwächung von Gamma-Strahlung wird dickes und schweres Material benötigt. Bei Alpha- und Betastrahlung genügen dünne Materialschichten.

Unser Körper enthält natürlicherweise Kalium-40, das zu einer inneren Belastung führt.

Radioaktivität natürlichen Ursprungs

Radioaktivität kommt auf vielfältige Art in unserer Umwelt vor. Allerdings kann aus der Aktivität einer Substanz allein noch nicht auf ihre Auswirkung oder Schädigung im menschlichen Körper geschlossen werden.

Beispiele:

- Der menschliche Körper enthält Kalium. Es wird durch die Nahrung aufgenommen und vom Körper wieder ausgeschieden. Ein geringer Teil der Kalium-Atome ist radioaktiv, nämlich das Kalium-40. Die Aktivität im Körper beträgt ca. 5000 Bq, d.h. jede Sekunde zerfallen in unserem Körper etwa 5000 Kalium-40-Atomkerne unter Aussendung von Beta- und Gamma-Strahlung. Dies führt zu einer inneren Bestrahlung.
- Die im Boden vorkommende natürliche Radioaktivität: 1 kg Erde hat im Mittel eine Aktivität von einigen hundert Bq, wobei mehrere Radionuklide dazu beitragen. Die dabei ausgesandte Gamma-Strahlung ist Teil der natürlichen Bestrahlung des Menschen.
- Das in Wohnhäusern vorkommende radioaktive Radon-222 ist ebenfalls natürlichen Ursprungs: Das langlebige Uran-238 zerfällt im Boden über mehrere Folgeprodukte in das radioaktive Edelgas Radon-222. Dieses kann sich im Boden gut bewegen und via Keller in die Wohnräume gelangen. In geschlossenen Wohnräumen

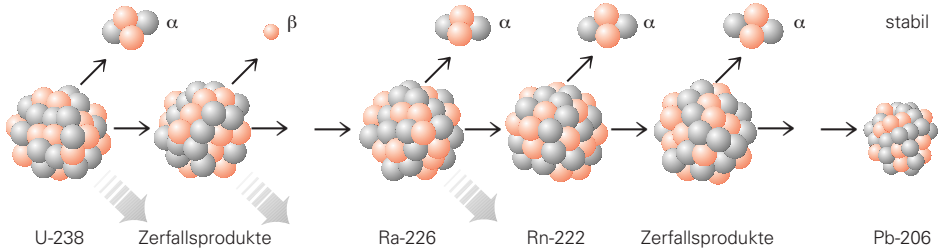


reichert sich Radon an, so dass auch dessen radioaktive Folgeprodukte in der Atemluft angereichert sind. Diese sind nicht mehr gasförmig, sondern können sich an Aerosole (Staubteilchen) anlagern, die beim Einatmen in den Bronchien und im Lungengewebe abgelagert werden können.

In unserer Umwelt kommt natürlicherweise Radioaktivität vor. Unser Körper enthält Kalium-40, die Atemluft Radon-222.

Natürliche Zerfallsreihe von Uran-238

Die Zerfallsreihe führt über das Edelgas Radon-222 ins stabile Blei-206



Künstlich erzeugte Radioaktivität in unserer Umwelt

Künstliche Radioaktivität in unserer Umwelt stammt insbesondere von den Kernwaffenversuchen der 60er Jahre, vom Reaktorunfall Tschernobyl, aber auch von Industrie, Medizin und Forschung. Nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl wurde bei uns mit der Nahrung z.B. radioaktives Cäsium-134 und Cäsium-137 aufgenommen. Die Bevölkerung in der Schweiz hatte deshalb 1986 im Mittel eine Aktivität von ca. 1000 Bq

(Cäsium-134 und Cäsium-137) im Körper. Dies führte zu einer inneren Bestrahlung.

Künstliche Radioaktivität in unserer Umwelt stammt grösstenteils von Kernwaffentests, vom Reaktorunfall Tschernobyl und aus der Kernindustrie.

Nahrungsmittel können neben den natürlichen auch künstliche Radionuklide enthalten.



Wirkung ionisierender Strahlung auf den Menschen

In lebenden Zellen werden durch Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlung Atome und Moleküle ionisiert oder angeregt. Dabei wird Energie an die Atome und Moleküle übertragen. Als Folge davon können Bindungen aufgetrennt und das chemische Gefüge verändert werden. Dadurch kann das Funktionieren von Zellen und Organen gestört werden und es können sich gesundheitliche Auswirkungen ergeben.

Man unterscheidet Akutschäden (oder Frühschäden) und Spätschäden. Neben kurzfristig sichtbaren körperlichen Schädigungen kann auch Krebs ausgelöst werden, und Erbschäden (genetische Veränderungen) können entstehen. Als Mass für die Beurteilung des gesundheitlichen Risikos durch Strahlung wurde deshalb sowohl eine Organdosis (massgebend für die Akutschäden) als auch eine effektive Dosis (bezüglich Krebs und genetischen Schäden) eingeführt.

Die Dosis ist das Mass für die Beurteilung des gesundheitlichen Risikos durch ionisierende Strahlung.

Dosisbegriff

Ausgangspunkt für die Organ- und für die effektive Dosis ist die Energieabgabe der Strahlung pro kg Masse, z.B. an Gewebe oder an ein Organ. Die übertragene Energie ist eine rein physikalische Grösse und kann mit Dosimetern gemessen werden. Für die biologische Wirkung ist aber zudem entscheidend, ob sich beim Durchdringen der Strahlung durch das Gewebe die Ionisationen dicht oder locker folgen. Die Ionisationsdichte ist beispielsweise bei Alpha-Strahlung und Neutronen grösser als bei Beta- und Gamma-Strahlung. Dicht ionisierende Strahlung ist biologisch schädlicher als locker ionisierende. Deshalb ist Alpha-Strahlung bei gleicher Energieabgabe schädigender als Beta- oder Gamma-Strahlung.

Man beschreibt diese Unterschiede der Strahlenarten mit einem Zahlenfaktor: die übertragene Energie wird für jede Strahlenart mit dem ihr zugehörigen Faktor gewichtet (Wichtungsfaktor der Strahlenart). Röntgen- und Gammastrahlung werden als Referenzstrahlung genommen. Ihr Wichtungsfaktor wird gleich Eins gesetzt. Für Alpha- und Neutronenstrahlung ist dieser bis 20mal

grösser. Multipliziert man die Energieabgabe pro kg an ein Organ mit dem Wichtungsfaktor der einwirkenden Strahlenart, so erhält man den Dosiswert an Gamma-Strahlung, der die gleiche Organschädigung bewirkt wie die Strahlenart, der das Organ wirklich ausgesetzt war. Ein so berechneter Dosiswert berücksichtigt also die dem Gewebe übertragene Energie und die unterschiedliche biologische Wirkung verschiedener Strahlenarten. So berechnete Dosen lösen in einem Organ somit – unabhängig von der Strahlenart – die gleiche biologische Wirkung aus.

Einheiten der Dosis

Die Masseinheit für die Organdosis und für die später beschriebene effektive Dosis ist das Sievert (Sv). Für Gamma- und Beta-Strahlung gilt $1 \text{ Sv} = 1 \text{ Joule/kg}$. Für andere Strahlenarten wird bei gleicher Energieabgabe der Dosiswert in Sievert um den Wichtungsfaktor der Strahlenart grösser als für Gamma-Strahlung. Kleine Dosen werden in Millisievert (mSv) angegeben. ($1 \text{ Sv} = 1000 \text{ mSv}$). Die früher gebräuchliche Einheit war das rem, wobei als Umrechnung gilt: $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$.

Eine Dosis, die in Sievert angegeben ist, berücksichtigt die dem Gewebe übertragene Energie und die unterschiedliche biologische Wirkung der Strahlenarten.

Akutschäden

Akutschäden an einem Organ entstehen nur, wenn die Organdosis einen gewissen Wert, den Schwellenwert, übersteigt. Dieser beträgt bei kurzzeitiger Bestrahlung (d.h. Stunden) für sensible Organe ca. 0,5 Sv. Wird jedoch eine Dosis über längere Zeit (Tage, Wochen) verteilt, dann liegt die Schwellendosis höher. Eine Trübung der Augenlinse kann beispielsweise bei kurzfristiger Bestrahlung ab ca. 2 Sv beginnen; bei langfristiger Bestrahlung tritt dies erst bei ca. 10 Sv, aufgenommen über 40 Jahre, auf. Der Wert einer Organdosis bestimmt das Ausmass eines akuten Schadens. Ein solcher ist nur nach schweren Unfällen zu erwarten.

Wird der ganze Körper von der Strahlung betroffen, treten als erste Anzeichen einer Strahlenkrankheit Veränderungen des Blutbildes, Übelkeit und Erbrechen auf. Zum Beispiel erkranken bei einer kurzzeitigen Bestrahlung durch Gamma-Strahlung mit ca. 4 bis 5 Sv alle Betroffenen, davon etwa 50% mit tödlichem Ausgang. Bei ca. 7 - 8 Sv würde die Bestrahlung mit grosser Wahrscheinlichkeit zum Tode führen, falls die betroffene Person nicht intensiv medizinisch versorgt wird. Keimendes Leben und Kinder sind strahlenempfindlicher als Erwachsene. Bei hohen Dosen können später auch noch Krebs und Erbschäden auftreten.

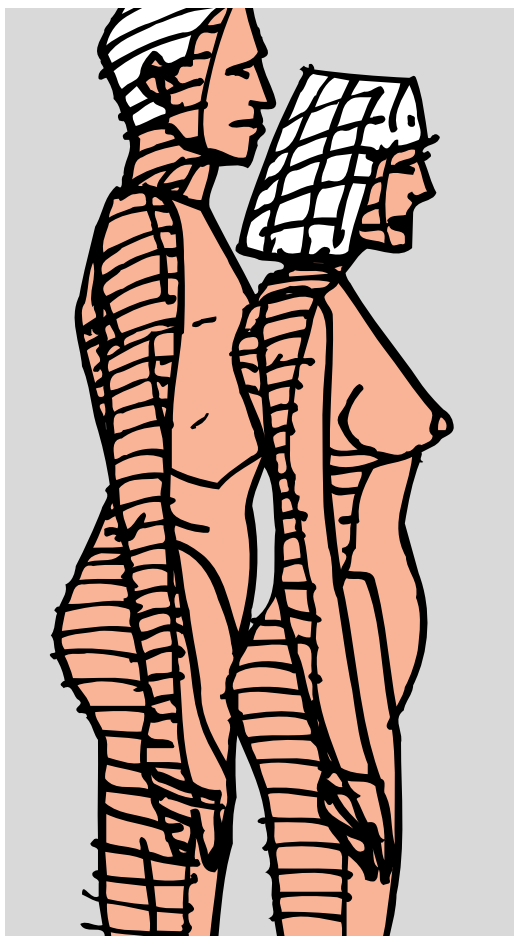
Primäres Ziel des Strahlenschutzes ist es, die Bevölkerung bei schweren Unfällen vor Akutschäden zu schützen. Dosisgrenzwerte, die nicht überschritten werden sollen, legt man deutlich unter dem Schwellenwert fest. Danach richten sich dann die anzuordnenden Schutzmassnahmen.

Der Wert einer Organdosis bestimmt das Ausmass eines akuten Schadens. Ein solcher ist nur nach schweren Unfällen zu erwarten.

Spätschäden

Niedrige Dosen, wie sie etwa als Folge der natürlichen Umgebungsstrahlung oder in der medizinischen Diagnostik auftreten, führen zu keinen Akutschäden. In diesem Dosisbereich können jedoch Spätschäden auftreten. Erst Jahre nach der Bestrahlung kann Krebs auftreten oder können Erbschäden sichtbar werden. Man nimmt an, dass es für die Auslösung von Erbschäden und von Krebs keine Schwellendosis gibt. Solche Schäden können folglich schon durch kleine Dosen verursacht werden, allerdings auch nur mit geringer Wahrscheinlichkeit. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Spätschaden auftritt, wird mit zunehmender Dosis grösser. Es ist also nicht möglich zu sagen, eine Dosis bis zu einem bestimmten Wert sei ungefährlich, darüber aber gefährlich. Deshalb lautet ein Prinzip im Strahlenschutz: Die Dosen sind so klein zu halten, wie dies vernünftigerweise möglich ist (ALARA: as low as reasonably achievable). Zur Beurteilung einer Dosiswirkung werden alle im Laufe der Zeit (z.B. eines Jahres) aufgenommenen Dosen zu einer Gesamtdosis addiert.

Krebs und Erbschäden können auch durch kleine Dosen ausgelöst werden. Die Dosis gibt an, wie gross die Wahrscheinlichkeit dafür ist.



Besonders strahlenempfindliche Organe:

rotes Knochenmark

Lunge

Magen

Darm

Effektive Dosis bezüglich Krebs und Erbschäden

Die Organe und Gewebe des Körpers sind unterschiedlich strahlenempfindlich. Das Krebsrisiko ist besonders gross für das rote Knochenmark, die Lunge, den Magen und den Darm. Für die Auslösung von Erbschäden ist die Bestrahlung der Keimdrüsen (Gonaden) massgebend.

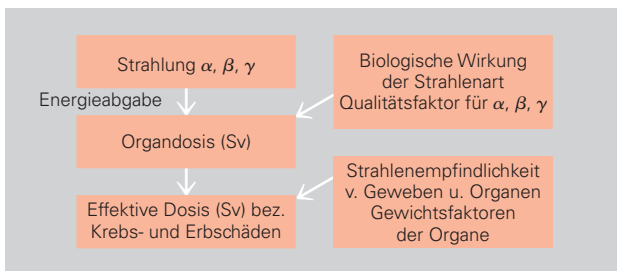
Werden nur einzelne Körperorgane mit einer bestimmten Dosis bestrahlt, so ist das Krebsrisiko kleiner als wenn der ganze Körper diese Dosis erhält. Wenn die Lunge allein einer bestimmten Dosis ausgesetzt ist (beispielsweise durch Radon-Folgeprodukte), so ist das Krebsrisiko ca. 8mal geringer als wenn alle Organe des Körpers mit derselben Dosis bestrahlt werden. Bei einer Ganzkörperbestrahlung trägt die Lunge also zu ca. $\frac{1}{8}$ ($=12\%$) zum Krebsrisiko bei. Auch Magen, Darm und das rote Knochenmark tragen je zu ca. 12% zum Krebsrisiko bei. Um Teilkörperbestrahlungen bezüglich des Risikos mit einer Ganzkörperbestrahlung vergleichen zu können, wird die effektive Dosis eingeführt: Die Organdosen werden je mit dem Gewichtungsfaktor des Organs multipliziert, der dessen Strahlenempfindlichkeit bezüglich Krebs und Erbschäden berücksichtigt. Die so gewichteten Dosiswerte aller bestrahlten Organe werden zu einer "Gesamtdosis" zusammengezählt, die effektive Dosis heisst. Diese ist das Mass für die Gesamtgefährdung eines bestrahlten Menschen

bezüglich Krebs und Erbschäden. Sie berücksichtigt die Energieabgabe, die Strahlenart, die unterschiedliche Empfindlichkeit der betroffenen Organe und somit auch die Verteilung der Bestrahlung über den Körper.

Die effektive Dosis berücksichtigt auch die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit der Organe bezüglich Krebs und Erbschäden.

Die Masseinheit für die effektive Dosis ist das Sievert.

Oft interessiert auch die Dosis pro Zeiteinheit (Dosisleistung). Die in der Praxis verwendete Masseinheit ist das nano-Sievert pro Stunde ($1 \text{ nSv/h} = 10^{-9} \text{ Sv/h}$).

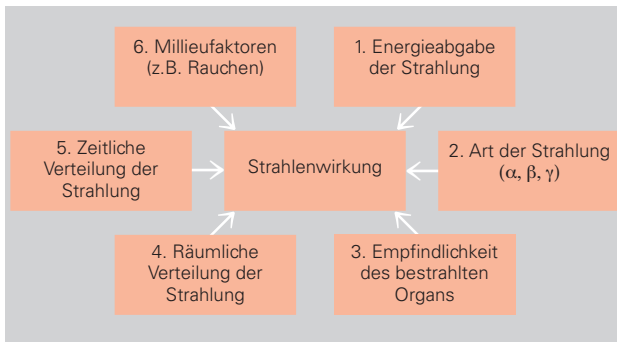


Schema zur Berechnung einer Organdosis.

Im folgenden ist mit «Dosis» immer die effektive Dosis gemeint, ausser es sei ausdrücklich erwähnt (z.B. Lungen-, Schilddrüsen- oder Gonadendosis). Ferner ist zu beachten, dass die Auswirkung auf den Menschen dieselbe ist, ob eine bestimmte Dosis durch künstliche oder natürliche Radioaktivität verursacht wird.

Krebs und Erbschäden

Krebs und Erbschäden treten vorwiegend auf, ohne dass Radioaktivität auslösend ist. Eine durch künstliche Radioaktivität verursachte Erhöhung der Häufigkeit von Krebs oder von Erbschäden wird deshalb oft mit den natürlich vorkommenden Häufigkeiten verglichen. Dies ist insbesondere dann angezeigt, wenn die zusätzlichen Dosen gegenüber den Dosen durch natürliche Strahlenquellen klein sind.



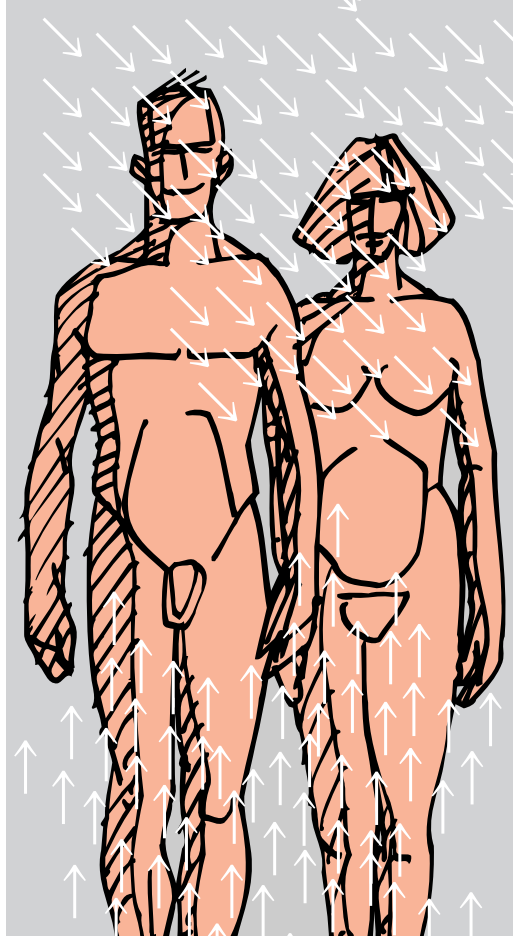
Beeinflussung der Strahlenwirkung durch verschiedene Grössen (schematisch).

Das Auftreten von Krebs und Erbschäden weist eine gewisse Streubreite auf. Die Auswirkungen von kleinen zusätzlichen Dosen liegen innerhalb dieser natürlichen Streubreite, werden von ihr überdeckt und können statistisch nicht nachgewiesen werden. Deshalb kann bei kleinen zusätzlichen Dosen die Erhöhung der Krebssterblichkeit nur errechnet werden. Dies geschieht, indem man von einer bei hohen Dosen ermittelten Anzahl Krebsfällen ausgeht und daraus die Anzahl bei kleinen Dosen extrapoliert. Diese errechnete zusätzliche Krebshäufigkeit wird dann mit der natürlicherweise vorkommenden Häufigkeit verglichen. In der Schweiz sterben ca. 25% der Bewohner an Krebs, wobei - wie gesagt - nur ein geringer Teil davon durch (natürliche und künstliche) Radioaktivität bedingt ist.

Durch Extrapolation kann beispielsweise abgeschätzt werden, dass die Dosen, welche durch Tschernobyl verursacht wurden, in der Schweiz für die nächste Generation die Krebssterblichkeit um ca. 0,1 Promille erhöhen. Eine solch kleine Erhöhung macht sich nicht bemerkbar, weil sie innerhalb der natürlichen Streubreite liegt.

Unsicherheiten bei den errechneten Dosen und Schäden

Die Ermittlung eines Dosiswertes beruht auf zahlreichen Annahmen und theoretischen Vorstellungen und kann deshalb nicht exakt sein. Ausserdem variieren die Auswirkungen von Individuum zu Individuum.



Die Streubreite eines angegebenen Dosiswertes ist deshalb mindestens gleich gross wie diejenige der zugrunde gelegten Annahmen und Messresultate. Trotzdem sind die ermittelten Dosiswerte genau genug, um beispielsweise entscheiden zu können, ob eine Tätigkeit, die zu künstlichen Dosen führt, gerechtfertigt ist oder nicht. Im übrigen müssen die Auswirkungen von Radioaktivität mit anderen Risiken verglichen werden, die der Mensch in seinen täglichen Aktivitäten eingeht.

Strahlung aus dem Boden und aus dem Weltall führt zu einer äusseren Bestrahlung.

Zusammenfassung

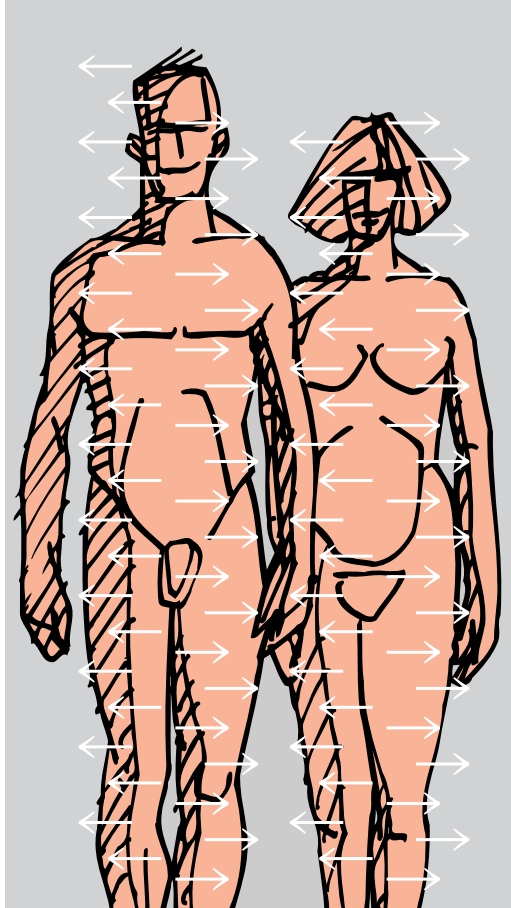
Eine allfällige Schädigung des menschlichen Körpers durch eine Bestrahlung wird also von verschiedenen Grössen beeinflusst.

Äussere Bestrahlung

Strahlung kann von aussen oder von innen auf den Körper einwirken. Man spricht deshalb von Dosen durch äussere oder durch innere Bestrahlung.

Die äussere (externe) Bestrahlung kann mit der Bestrahlung durch Röntgenstrahlen verglichen werden: man wird bestrahlt, strahlt aber selber nicht. Zu einer äusseren Bestrahlung führen beispielsweise die kosmische Strahlung aus dem Weltraum und die Gamma-Strahlung der Radionuklide im Erdboden (terrestrische Strahlung). Alle Körperorgane werden dabei etwa gleich stark bestrahlt. Sie erhalten ungefähr dieselben Organdosen. Die Dosisleistung dieser natürlichen Strahlenquellen zusammen beträgt in der Schweiz ca. 40 bis 200 nSv/h. Das ergibt eine Jahresdosis von etwa 0,4 bis 2 mSv.

Terrestrische und kosmische Strahlung führen zu einer äusseren Bestrahlung. Dabei ergibt sich in der Schweiz eine Jahresdosis von ungefähr 0,4 bis 2 mSv.



Radionuklide die im Körper eingebaut sind, führen zu einer inneren Bestrahlung.

dukte führen zu einer Bestrahlung der Atemorgane. Das Cäsium aus Tschernobyl hat zu einer inneren Bestrahlung des ganzen Körpers geführt. Radioaktives Jod führt vorwiegend zu einer Bestrahlung der Schilddrüse.

Eingeatmete Radon-Folgeprodukte führen vorwiegend zu einer Lungendosis.

Für die Berechnung der Dosis infolge innerer Bestrahlung muss man die Aktivität der aufgenommenen Radionuklide kennen. Aktivität in Becquerel und Dosis in Milli-Sievert (mSv) beschreiben also verschiedene Sachverhalte. Die effektive Dosis lässt sich für jedes Radionuklid aus der dem Körper zugeführten Aktivität (in Bq) berechnen. Die dabei benötigten Umrechnungsfaktoren sind tabelliert und berücksichtigen die physikalischen Eigenschaften der Strahlenart, das Stoffwechselverhalten der aufgenommenen Substanzen und weitere Abhängigkeiten.

Aus der mit der Nahrung aufgenommenen Aktivität von Radionukliden lässt sich die effektive Dosis (durch innere Bestrahlung) berechnen.

Beispiel:

- 1000 Bq eines Radionuklids, das mit der Nahrung aufgenommen wurde, führen bei Erwachsenen zu den in folgender Tabelle angegebenen Dosen. Die Beispiele zeigen, dass sich je nach Radionuklid ganz unterschiedliche Dosiswerte ergeben.

Innere Bestrahlung

Eine innere Bestrahlung entsteht, wenn radioaktive Substanzen eingeatmet oder mit der Nahrung aufgenommen werden. Der Körper kann diese Substanzen einbauen. Sie bleiben im Körper, bis sie entweder zerfallen und dabei die Zellen bestrahlen oder bis sie durch den Stoffwechsel vor dem Zerfall ausgeschieden werden. Zum Beispiel scheidet der Körper Cäsium mit einer biologischen Halbwertszeit von ca. drei Monaten wieder aus. Bei einer inneren Bestrahlung können einzelne Organe besonders betroffen werden. Eingeatmetes Radon und insbesondere seine radioaktiven Folgepro-

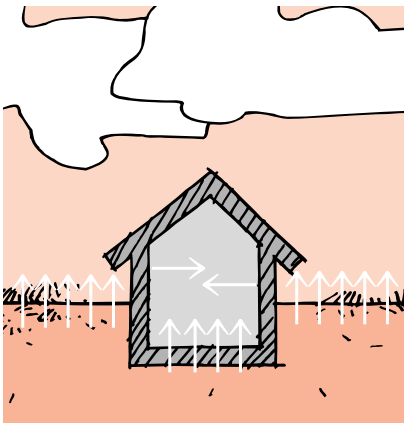
Radionuklid	Effektive Dosis (je bei einer aufgenommenen Aktivität von 1000 Bq)	
Tritium	0.00002	mSv
Kohlenstoff-14	0.0006	mSv
Cäsium-137	0.01	mSv
Cäsium-134	0.02	mSv
Strontium-90	0.03	mSv
Plutonium-239	0.3	mSv

Jahresdosen der Bevölkerung in der Schweiz

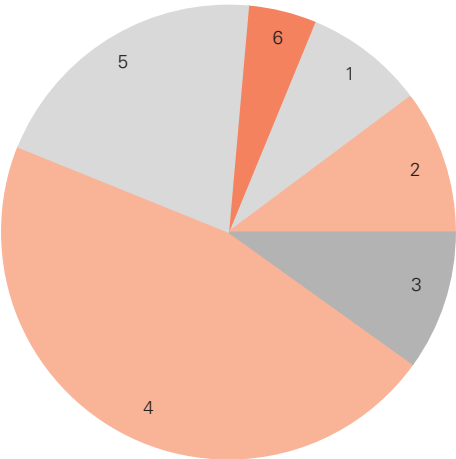
Der Mensch war schon immer einer natürlichen Strahlung ausgesetzt. Insgesamt beträgt die durchschnittliche Jahres-Dosis für die Bevölkerung in der Schweiz ungefähr 4,2 mSv.

Radon und seine Zerfallsprodukte tragen zur Jahresdosis fast die Hälfte bei. Die in den Bronchien und dem Lungengewebe abgelagerten Radon-Folgeprodukte führen vorwiegend zu einer Lungendosis. Diese wird in eine effektive Dosis umgerechnet, damit sie bezüglich ihrer Gefährlichkeit mit anderen Dosen verglichen werden kann.

Mehr als ein Viertel der Dosis in der Schweiz stammt aus der medizinischen Röntgendiagnostik.



Aufteilung der mittleren Jahresdosis in der Schweiz



1	kosmische Strahlung	0,35 mSv
2	terrestrische Strahlung	0,45 mSv
3	innere Bestrahlung	0,4 mSv
4	Radon in Wohnräumen	1,6 mSv
5	medizinische Anwendung	1,2 mSv
6	übrige (Atombomben Fallout, Tschernobyl Kernanlagen, Industrien und Spitäler, Kleinquellen)	0,2 mSv
Total		4,2 mSv

Beispielsweise verursacht das Kalium-40 den grössten Teil der Jahresdosis von 0,4 mSv durch innere Bestrahlung. Die mittlere Dosis von 0,2 mSv im 1. Jahr nach Tschernobyl stammte vorwiegend von Jod-131, Cäsium-134 und Cäsium-137.

Die mittlere Jahresdosis in der Schweiz beträgt ungefähr 4,2 mSv. Radon-Folgeprodukte tragen dazu fast die Hälfte, die medizinische Diagnostik zu einem Viertel bei.

Streubreite der Dosiswerte

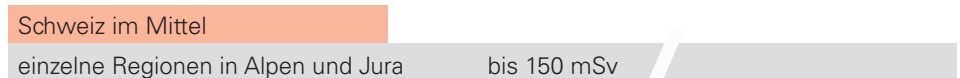
Dosen durch Radon und medizinische Anwendungen weisen eine grosse Streubreite auf.

Mittlere Jahresdosen in der Schweiz und Beispiele ihrer Streubreiten

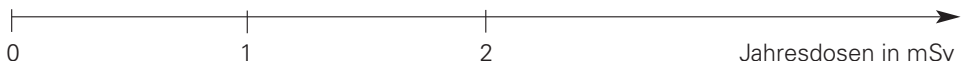
Strahlung aus Weltraum und Erdboden zusammen



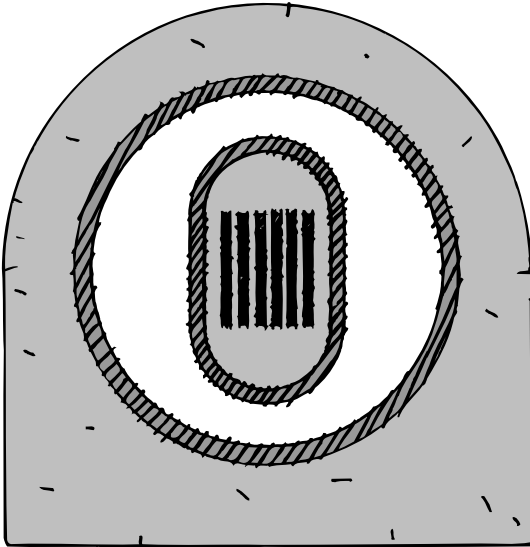
Radon



Tschernobyl im 1. Jahr



Radioaktivität aus Kernkraftwerken



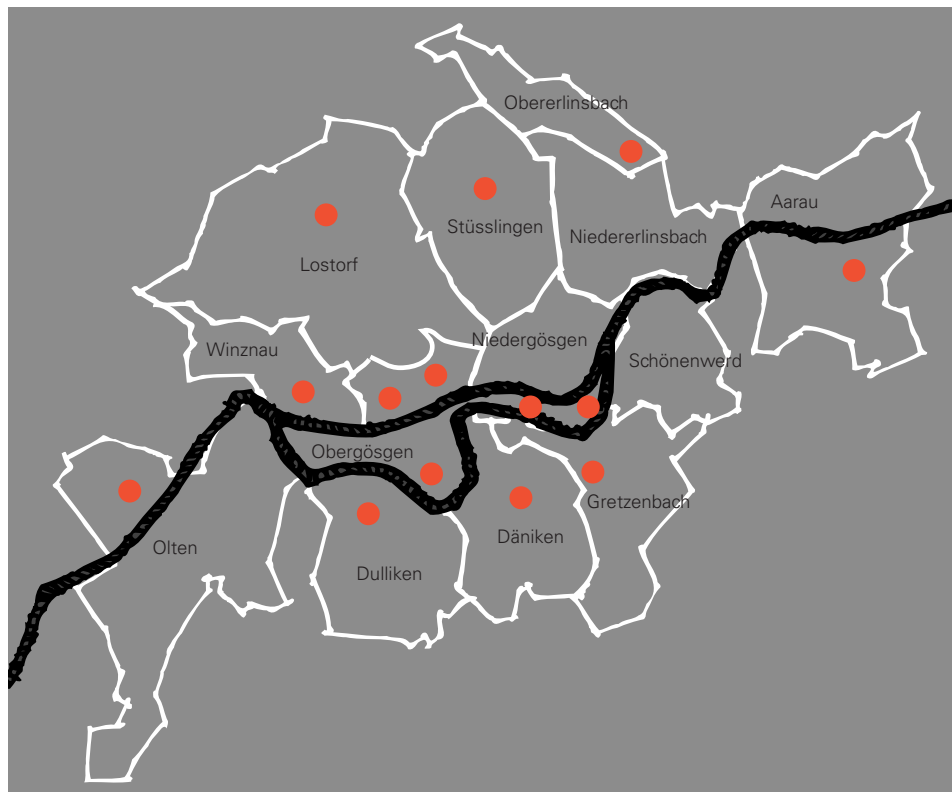
Wie in Öl- oder Kohle-Kraftwerken wird auch in einem Kernkraftwerk Wärme in elektrische Energie umgewandelt. Die Wärme stammt aus der Spaltung von Uran, das in sogenannten Brennelementen enthalten ist. Dabei entstehen auch Radionuklide, z.B. radioaktive Edelgase, Jod, Cäsium, Plutonium usw. Beispielsweise beträgt die Aktivität von Jod-131 in den Brennelementen während des Betriebs eines Werkes mit 1000 Mega-Watt elektrischer Leistung ca. 10^{18} Bq = 1'000'000'000'000'000'000 Bq. Um zu gewährleisten, dass solch grosse Aktivitäten zurückgehalten werden, verfügen Kernkraftwerke über eine Anzahl hintereinander gestaffelter Sicherheitsbarrieren:

- Die Brennelemente selbst und ihre Hüllrohre schliessen den grössten Teil der Spaltprodukte ein.
- Das Reaktordruckgefäss umschliesst den Reaktorkern mit den Brennelementen.
- Das Druckgefäss und die Kühlmitteleitungen sind von einer Sicherheitshülle aus Stahl umschlossen.
- Zu äusserst befindet sich das Sicherheitsgebäude aus Beton, insbesondere zum Schutz gegen Einwirkungen von aussen.

Bei der Uranspaltung entstehen Radionuklide. Die Sicherheitsbarrieren eines Kernkraftwerkes schliessen diese weitgehend ein.

Die Radioaktivität, die während des Normalbetriebs eines Kernkraftwerkes an die Umwelt abgegeben werden darf, ist in der Betriebsbewilligung begrenzt und wird dauernd überwacht. Zusätzlich werden regelmässig Proben von Luft, Boden, Fluss- und Grundwasser, Gras, Milch usw. aus der Umgebung kontrolliert. Die Radioaktivitätsabgaben und die Resultate der Umgebungsüberwachung werden in den Berichten des BAG publiziert. Die Messungen zeigen, dass die Jahresabgaben bisher immer kleiner waren als die entsprechenden Grenzwerte. Keine Person in der Umgebung eines Kernkraftwerkes erhielt wegen der Radioaktivitätsabgaben eine Dosis, die grösser war als der behördlich festgesetzte Wert von 0,2 mSv pro Jahr. Mit einem zusätzlichen Messnetz (MADUK) überprüft die Aufsichtsbehörde kontinuierlich die Dosisleistung in der Nahumgebung der KKW.

Die Jahresabgaben aus Kernkraftwerken waren bisher immer kleiner als die behördlich festgesetzten Grenzwerte.



An je ca. 15 Messstationen erfassen die MADUK-Sonden, die bis zu einem Abstand von 5 km zu den Kernanlagen stationiert sind, kontinuierlich die Ortsdosisleistung. Die Messdaten werden alle 10 Minuten zur HSK übertragen und automatisch analysiert.

Anwendung von Strahlenquellen in der Medizin

Röntgenstrahlen und radioaktive Stoffe werden in der ärztlichen Praxis und im Spital täglich angewendet. Sie leisten hervorragende Dienste bei der Diagnose und der Behandlung von Verletzungen und Krankheiten, z.B. bei der Diagnose von Knochenbrüchen oder bei der Bestrahlung von Tumoren.

Um unnötige Dosen zu vermeiden, soll der Arzt nur gezielt Röntgenaufnahmen machen. Dafür gelten Verordnungen zum Schutze des Patienten und des Personals. Die Ausbildung des Arztes soll sicherstellen, dass Untersuchungen mit minimalen Dosen durchgeführt werden. Bei der Röntgendiagnostik sind meist nur einzelne Körperteile betroffen. Das zu untersuchende Organ erhält eine höhere Dosis als diejenigen Gewebe, die ausserhalb des Nutzstrahls liegen. Je nach Röntgenuntersuchung ergeben sich effektive Dosen zwischen 0,01 und 20 Millisievert. Die hohen Dosen entstehen hauptsächlich bei der Anwendung der Computertomographie und in der interventionellen Radiologie.

Röntgenstrahlung und radioaktive Stoffe werden bei der Diagnose und zur Behandlung von Krankheiten angewendet.

Für verschiedene Personen der Bevölkerung ist die jährliche Dosis sehr unterschiedlich, je nachdem, ob und welche Untersuchungen durchgeführt wurden. Die Angabe einer durchschnittlichen Dosis für die Bevölkerung dient dazu, Vergleiche zu ziehen mit anderen Dosen, z.B. mit derjenigen durch Radon, durch kosmische und terrestrische Strahlung.

Strahlenbelastung	Beispiele von Röntgenuntersuchungen	Effektive Dosis
sehr gering	Einzelne Zähne, Hand, Ellbogen, Fuss, Knie	ca. 0,01 mSv (0,003 – 0,03)
gering	Schädel, Lunge, Hüfte	ca. 0,1 mSv (0,03 – 0,3)
mittel	Becken, Bauch, Wirbelsäule, Mamma, Computertomographie des Kopfes und des Halses	ca. 1 mSv (0,3 – 3,0)
hoch	Computertomographie von Wirbelsäule, Bauch oder Becken. Gefässdarstellungen. Röntgenkontrastmitteluntersuchungen von Nieren, ableitenden Harnwegen und Magen-Darmbereich.	ca. 10 mSv

Anwendung in Technik und Forschung

In Technik und Forschung werden radioaktive Quellen vielfältig angewandt. Bekannteste Beispiele sind die Materialprüfung und die Leuchtfarben, z.B. in Uhren. Diese enthalten heute meistens Tritium. Die bei seinem Zerfall ausgesandten Beta-Strahlen bringen eine fluoreszierende Substanz zum Leuchten.

In Brandmeldern erlaubt der Einbau von Americium-241 die Feststellung von Brandgasen. Für Werkstoffprüfungen, z.B. von Seilbahn-Drahtseilen oder von Schweissnähten, wird oft die Gamma-Strahlung von Kobalt-60 genutzt. In der Forschung werden zur Untersuchung biologischer Vorgänge, z.B. beim Stoffwechsel, oft chemische Verbindungen mit eingebauten Radionukliden eingesetzt, z.B. Tritium oder Kohlenstoff-14.

Alternativen zu den ionisierenden Strahlen gibt es oft keine. Zulassungsbewilligungen von Geräten, die Radioaktivität enthalten, werden dann erteilt, wenn die technischen Anwendungen bei normalem Gebrauch der Gegenstände keine ins Gewicht fallende Strahlendosen bringen. Schätzungen ergeben, dass die Dosis durch technische Anwendungen für die Bevölkerung in der Schweiz im Durchschnitt weniger als 0,1 mSv pro Jahr beträgt.

Radioaktive Quellen werden in Technik und Forschung vielfältig angewendet: z.B. enthalten Uhren oft Tritium und Brandmelder Americium-241.

Radioaktive Abfälle

Bei der Uranspaltung in Kernkraftwerken, aber auch bei Anwendungen radioaktiver Stoffe in Medizin, Industrie und Forschung entsteht radioaktiver Abfall. Er kann ganz unterschiedliche Radionuklide enthalten und in verschiedensten chemischen Formen vorliegen.

In Kernkraftwerken fallen heute einerseits verschiedene Arten von radioaktiven Betriebsabfällen an. Diese werden in der Regel in der Schweiz in eine Form gebracht, die sich für eine spätere Endlagerung eignet (z.B. in Fässern mit Zement eingegossen). Andererseits sind die abgebrannten Brennelemente zu entsorgen. Diese werden im Ausland aufbereitet. Wieder verwendbarer Brennstoff wird abgetrennt. Die verbleibenden hochaktiven Abfälle werden heute zur Endlagerung meist verglast. Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung werden vom Paul-Scherrer-Institut gesammelt, dort behandelt und gelagert. Brennbare schwachaktive Abfälle werden zur Volumenreduktion verascht.

Beim Zerfall der Radionuklide entsteht Wärme. Als hochaktiv wird Abfall dann bezeichnet, wenn die Aktivität und damit die Zerfallswärme so gross ist, dass die Abfälle gekühlt werden müssen. Beim mittelaktiven Abfall muss bei der Verarbeitung die Strahlung auch abgeschirmt werden, aber es ist keine zusätzliche Kühlung notwendig. Beim schwachaktiven Abfall sind weder Kühlung noch spezielle Abschirmungen nötig.

Die Aktivität kurzlebiger Radionuklide im Abfall nimmt rasch ab. Deshalb geht besonders bei Abfällen aus Kernkraftwerken die Strahlung anfänglich stark zurück. Hochaktive Abfälle werden während einigen Jahrzehnten zwischengelagert. Während dieser Zeit zerfällt ein grosser Teil der Radionuklide, so dass später im Endlager Aktivität und Wärmeproduktion geringer sind.

Die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA) ist beauftragt, in der Schweiz geeignete unterirdische Endlager für alle Abfallsorten zu finden.

Strahlenschutz

Die schweizerische Strahlenschutzverordnung legt fest, dass für beruflich strahlenexponierte Personen die künstlich verursachte Dosis pro Jahr 20 mSv nicht überschreiten soll (ohne medizinische Anwendungen). Für Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt dieser Grenzwert heute 1 mSv pro Jahr.



Dosis-Grenzwert für die Bevölkerung pro Jahr: 1 mSv.

Im Strahlenschutz gelten jedoch zwei übergeordnete Prinzipien:

- Jede künstlich verursachte Dosis muss durch einen Nutzen gerechtfertigt sein.
- Künstlich verursachte Dosen sind so niedrig zu halten, wie dies vernünftigerweise möglich ist.

Überwachung der Radioaktivität

In der Schweiz ist für die Erteilung von Bewilligungen für den Umgang mit ionisierender Strahlung und für die Einhaltung des Strahlenschutzes das Bundesamt für Gesundheit (BAG) zuständig. Die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) überwacht den Strahlenschutz in Kernanlagen und überprüft die Einhaltung der Abgabegrenzwerte radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen. Die Schweiz. Unfallversicherungsanstalt (Suva) ist die Aufsichtsbehörde für Industriebetriebe. Das BAG überwacht die Radioaktivität in unserer Umwelt.

Notfallschutz

Gefährdung der Bevölkerung bei Unfällen in einem Kernkraftwerk

Sollten bei einem Störfall mehrere Sicherheitsbarrieren zugleich versagen, könnte eine Gefährdung der Bevölkerung durch austretende Edelgase und durch weitere, meist an Aerosole (Staubteilchen) angelagerte radioaktive Stoffe entstehen. Es kann sich eine unsichtbare, radioaktive Wolke bilden, die sich je nach Windrichtung und Windgeschwindigkeit um das Kernkraftwerk ausbreitet. Durch Niederschläge werden zusätzlich Staubpartikel mit angelagerter Radioaktivität vermehrt auf dem Boden abgesetzt. Folgende Gefährdungen können eintreten:

Äussere Bestrahlung

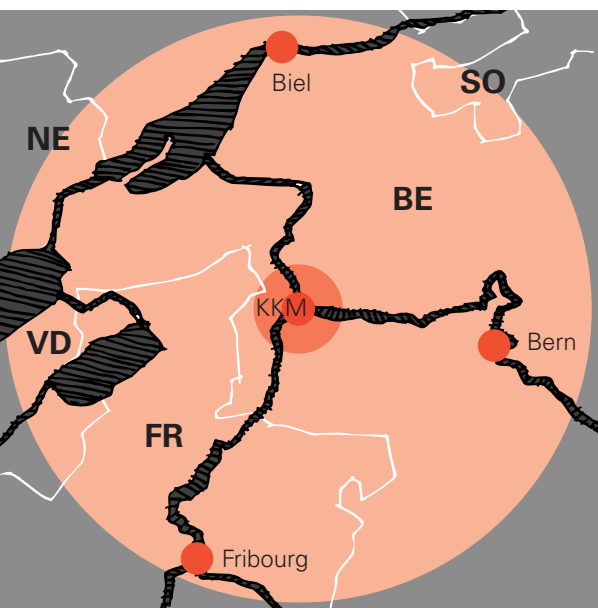
- durch die vorbeiziehende radioaktive Wolke
- durch radioaktive Ablagerungen auf dem Boden

Innere Bestrahlung

- durch Einatmen von verstrahlter Luft
- durch Aufnahme verstrahlter Lebensmittel

Schwere Unfälle sind höchst unwahrscheinlich, aber nicht auszuschliessen. Deswegen wurde in der Schweiz in der Umgebung der Kernkraftwerke ein spezielles Alarmsystem eingerichtet (Zone 1: ca. 3 bis 5 km; Zone 2: bis ca. 20 km Entfernung). Weitere Massnahmen zum Schutz der Bevölkerung sind vorbereitet.

Grundsätze für den Schutz der Bevölkerung bei erhöhter Radioaktivität und Informationen zum Strahlenschutz folgen hinten.



Massnahmen bei erhöhter Radioaktivität

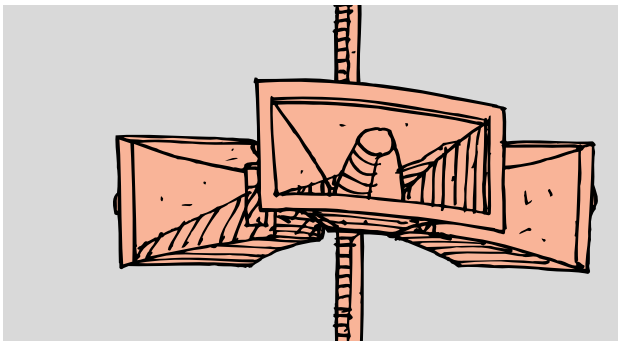
Die Eidg. Kommission für ABC-Schutz (Kom ABC) sorgt in enger Zusammenarbeit mit den Kantonen und den Bundesstellen für die Vorbereitung der Massnahmen, welche die Bevölkerung bei erhöhter Radioaktivität schützen sollen.

Für Ereignisse im In- und Ausland, die eine Gefährdung durch erhöhte Radioaktivität hervorrufen könnten, hat der Bund eine Einsatzorganisation geschaffen. Sie hat folgende Aufgaben:

- Sie verfolgt Ausmass und Verlauf der Radioaktivität und beurteilt mögliche Auswirkungen auf die Bevölkerung.
- Sie beantragt bei der politischen Behörde Massnahmen zum Schutze der Bevölkerung.
- Bei grosser Dringlichkeit ordnet sie über das Radio die erforderlichen Sofortmassnahmen an (z.B. Türen und Fenster schliessen, im Hause bleiben, Jodtabletten einnehmen).
- Die Bundeskanzlei informiert die Bevölkerung.

Zur Erfüllung ihrer Aufträge verfügt die Einsatzorganisation mit der Nationalen Alarmzentrale über automatische Messnetze und Laboratorien. Schutzmassnahmen werden in enger Zusammenarbeit mit den Kantonen beschlossen.

Sirenen fordern die Bevölkerung auf, Radio zu hören.



Die internationale Störfall-Bewertungsskala für Kernanlagen (INES: International Nuclear Event Scale)

Stufe	Bezeichnung	Art des Ereignisses
0	Ereignis ohne sicherheitstechnische Bedeutung.	Ereignis ohne Überschreitung von betrieblichen Grenzwerten, keinerlei sicherheitstechnische Bedeutung.
1	Betriebsstörung	Ereignis ausserhalb der vorgeschriebenen Betriebsbedingungen, jedoch ohne sicherheitstechnische Bedeutung.
2	Störfall	Ereignis mit wesentlichem Versagen von Sicherheitseinrichtungen, aber mit ausreichender Sicherheitsreserve.
3	Ernster Störfall	Störfall, bei dem ein zusätzliches Versagen von Sicherheitseinrichtungen zu Unfällen führen könnte. Freisetzung radioaktiver Stoffe über bewilligten Grenzwerten. Schwerwiegende Kontamination in der Anlage.
4	Unfall	Unfall, bei dem radioaktive Stoffe freigesetzt werden, die für die meistbetroffene Person ausserhalb der Anlage eine Dosis vergleichbar der zumutbaren Jahresdosis ergibt. Teilweise Beschädigung des Reaktorkerns wegen mechanischer Einwirkung und/oder Schmelzen.
5	Ernster Unfall	Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umgebung; schwere Kernschäden.
6	Schwerer Unfall	Freisetzung von grossen Mengen radioaktiven Stoffen in die Umgebung.
7	Katastrophaler Unfall	Freisetzung eines grossen Teils des Kerninventars in die Umgebung.

Um bei einem Ereignis in einem Kernkraftwerk die gegenseitige Verständigung zwischen Fachleuten, Medien und der Öffentlichkeit zu erleichtern und die Bevölkerung über die sicherheitstechnische Bedeutung des Ereignisses informieren zu können, wurde die «Internationale Bewertungsskala für bedeutsame Ereignisse in kerntechnischen Einrichtungen» (INES: International Nuclear Event Scale) eingeführt.

Auswirkungen auf die Bevölkerung	Beispiele
Keine Auswirkungen auf die Bevölkerung. Medienmitteilung bei öffentlichem Interesse.	Zehn- bis fünfzehn Mal pro Jahr in den schweizerischen Kernanlagen.
Keine Auswirkungen auf die Bevölkerung. Medienmitteilung bei öffentlichem Interesse.	Ein- bis zweimal pro Jahr in den schweizerischen Kernanlagen.
Unverzögliche Information der Bevölkerung. Keine Schutzmassnahmen erforderlich.	
Unverzögliche Information der Bevölkerung. Schutzmassnahmen in der Zone 1.	
Notfallschutzmassnahmen für die Bevölkerung in den Zonen 1 und 2; Sirenenalarm.	
Notfallschutzmassnahmen für die Bevölkerung; Sirenenalarm.	Three Mile Island (USA), 1979
Notfallschutzmassnahmen für die Bevölkerung; Sirenenalarm.	
Notfallschutzmassnahmen für die Bevölkerung; Akute Gesundheitsschäden möglich, späte Gesundheitsschäden über grosse Gebiete, über die Landesgrenze hinaus. Langfristige Beeinträchtigung der Umwelt; Sirenenalarm.	Tschernobyl (UdSSR), 1986

Grundsätze für den Schutz der Bevölkerung bei erhöhter Radioaktivität

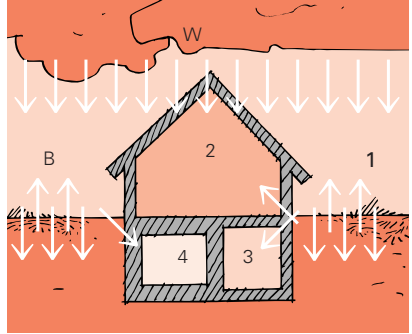
Schutz vor äusserer Bestrahlung

- Abstand: Je grösser der Abstand zu einer Strahlenquelle, desto geringer die Bestrahlung.
- Abschirmung: Einige Millimeter Material schirmen die Alpha- und Betastrahlung beinahe vollständig ab. Die Wände und das umgebende Erdreich eines Schutzraumes oder eines Kellers halten selbst auch einen Grossteil der Gammastrahlung ab. Im Schutzraum ist die Dosis bis zu 100mal geringer als im Freien. Im Hausinnern ist die Bestrahlung 5 bis 10mal kleiner als im Freien. Diese Schutzfaktoren sind für die Vermeidung von akuten Strahlenschäden entscheidend.
- Aufenthaltsdauer: Je kürzer die Aufenthaltsdauer an einem Ort mit erhöhter Strahlung, desto kleiner ist die Dosis und somit die Gefährdung. Deshalb sollen für dringende Verrichtungen im Haus der Keller oder Schutzraum nur kurz verlassen werden.
- Abwarten: Radonuklide zerfallen von selbst. Hält man sich nach einer starken Verstrahlung einige Tage im Schutzraum auf, so ist die Aktivität der kurzlebigen Radionuklide im Freien wesentlich kleiner geworden und damit auch die Gefährdung nach dem Verlassen des Schutzraumes.

Schutz vor innerer Bestrahlung

- Atemluft: Ein Aufenthalt im Hausinnern vermindert die Dosis, besonders dann, wenn Fenster und Türen geschlossen sind und die Ventilation ausgeschaltet ist.
- Nahrungsmittel: Schutz gegen innere Bestrahlung wird erreicht, indem man sich mit unverstrahlten Lebensmitteln ernährt. Haus- oder Notvorrat, gelagerte Lebensmittel und Wasser aus der öffentlichen Wasserversorgung sind unverstrahlt.
- Jod-Tabletten: Eine rechtzeitige Einnahme von Jod-Tabletten vermindert die Schilddrüsendosis. Das inaktive Jod wird in der Schilddrüse gespeichert und verhindert dadurch die Aufnahme von radioaktivem Jod.

- W Radioaktive Wolke
- B Bodenverstrahlung
- 1 Draussen: ungeschützt vor Strahlung
- 2 Hausinneres: 5 bis 10x weniger Strahlung
- 3 Keller: 30 bis 50x weniger Strahlung
- 4 Schutzraum: 50 bis 100x weniger Strahlung



Notfallschutzmassnahmen in der Umgebung der Kernkraftwerke (KKW)

Bei einem Unfall in einem KKW wird – neben der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) als Aufsichtsbehörde – unverzüglich die Nationale Alarmzentrale (NAZ) alarmiert. Wenn der Unfall zu einer Gefährdung der Bevölkerung führen kann, werden mittels telefonischer Warnung die Führungsstäbe der Kantone und Gemeinden in den beiden Notfallplanungszonen 1 und 2 aufgeboten. Die Zone 1 umfasst ein Gebiet mit einem Radius von ca. 3 bis 5 Kilometern. Die Zone 2 schliesst an die Zone 1 an und umfasst ein Gebiet mit einem Radius von etwa 20 Kilometern.

Wenn Massnahmen für die Bevölkerung erforderlich sind, wird im betroffenen Gebiet mittels Sirenen der Allgemeine Alarm ausgelöst und via Radio werden Verhaltensanweisungen bekannt gegeben. Solche Anweisungen könnten sein:

Vorsorgliche Evakuierung eines begrenzten Gebietes, Schutz suchen im Haus/im Keller/im Schutzraum, Einnahme von Jodtabletten

Jodtabletten stehen für die ganze Bevölkerung in der Schweiz bereit und sind teilweise bereits auf die Haushalte verteilt. Über die Verteilung an Ihrem Wohnort gibt Ihnen die Gemeindeverwaltung gerne Auskunft.

Bei einer Gefährdung wird die Bevölkerung mit den Sirenen alarmiert (Allgemeiner Alarm). Anschliessend werden Verhaltensanweisungen am Radio bekanntgegeben.

Stichworterklärungen

Abschwächung von Gamma-Strahlung Seite 10

Beim Durchgang durch Materie nimmt die Intensität von Gamma-Strahlung allmählich ab. Der Anteil einer anfänglichen Intensität, der eine gewisse Dicke eines Materials durchdringen kann, hängt von der Energie der Gamma-Strahlung ab sowie von der Dicke und Art des Materials.

Aerosole Seite 11

feine, verteilte Staubteilchen oder Nebeltröpfchen, die in der Luft schweben.

Aktivität Seite 5

Akutschäden Seite 13

Alpha-Strahlung, Alpha-Teilchen, Alpha-Zerfall Seite 9

Atom, Atomhülle, Atomkern Seite 3

Becquerel Seite 7

Beta-Strahlung, Beta-Teilchen, Beta-Zerfall Seite 9

Beim Beta-Minus-Zerfall sendet ein Atomkern ein negativ geladenes Beta-Teilchen, ein Elektron, aus; beim Beta-Plus-Zerfall ist das Beta-Teilchen positiv geladen, es heisst Positron.

Curie Seite 8

Deuterium Seite 5

Dosis, effektive Seite 13

Dosisleistung Seite 17

Elektromagnetische Strahlung bzw. Wellen Seite 9

Strahlung aus gekoppelten elektrischen und magnetischen Wellen, die sich im Vakuum mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Beispiele: Radiowellen, Licht, Röntgen- und Gammastrahlen.

Elektron Seite 9

Negativ geladenes Elementarteilchen mit geringer Masse (ca. 1800 Mal leichter als das Proton).

Element, chemisches	Seite 2
Erbschäden	Seite 13
Folgeprodukte	Seite 16
Gamma-Strahlung	Seite 9
Halbwertszeit, biologische	Seite 20
Die Zeit, in der ein Mensch oder ein Tier auf natürlichem Wege die Hälfte einer einmal aufgenommenen Menge eines bestimmten Stoffes wieder ausscheidet.	
Halbwertszeit, physikalische	Seite 6
Ion	Seite 3
Ionisierende Strahlung	Seite 9
Strahlung, die beim Durchgang durch Materie direkt oder indirekt Ionen erzeugt (direkt: Alpha- und Beta-Strahlung; indirekt: Gamma-Strahlung und Neutronen).	
Isotop	Seite 3
Kosmische Strahlung	Seite 19
Strahlung aus dem Weltraum. Sie besteht vorwiegend aus Protonen und Heliumkernen. In der Atmosphäre erzeugt sie Sekundärteilchen, z.B. Neutronen und Gamma-Strahlung.	
Mega-Watt	Seite 24
1 000 000 Watt (Watt ist die Einheit für Leistung)	
Molekül	Seite 2
Neutron	Seite 3
Ungeladenes Elementarteilchen; Bestandteil des Atomkerns. Seine Masse ist etwa gleich gross wie die des Protons. Freie Neutronen sind nicht stabil.	
Notfallschutzmassnahmen	Seite 30
Nuklid	Seite 4
Organdosis	Seite 13

Proton	Seite 2
Positiv geladenes Elementarteilchen; Bestandteil des Atomkerns. Seine Masse ist ca. 1800 Mal grösser als die des Elektrons.	
Radionuklid	Seite 6
Radon	Seite 2
rem	Seite 14
Röntgenstrahlung	Seite 13
Durchdringende elektromagnetische Strahlung. Für medizinische Zwecke wird sie in der Röntgenröhre durch schnelle Elektronen erzeugt.	
Schwellenwert	Seite 14
Sievert	Seite 14
Spaltprodukte	Seite 24
Nuklide, die durch die Spaltung schwerer Atomkerne (z.B. Uran) oder beim nachfolgenden radioaktiven Zerfall entstehen.	
Spaltung von Uran	Seite 24
Spätschäden	Seite 13
Terrestrische Strahlung	Seite 19
Tritium	Seite 3
Wichtungsfaktor für Organe	Seite 13
Wichtungsfaktor der Strahlenart	Seite 13
Zerfall, radioaktiver	Seite 5
siehe auch Alpha- resp. Beta-Zerfall	
Zerfallsreihe	Seite 12