

# Umgang mit Radioaktivität

**forumvera**

| | | | VERANTWORTUNG FÜR  
DIE ENTSORGUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE

# UMGANG MIT RADIOAKTIVITÄT

## Impressum

Herausgeber  
Forum VERA, Bern

Redaktion  
Gabriela Winkler, dipl. sc. nat. ETH  
Winkler Kommunikationsberatung  
Zürich-Oberglatt

Gestaltung  
Winkler Kommunikationsberatung  
Nadine Soares De Brito  
Zürich-Oberglatt

Druck  
2'000 Exemplare, 2017  
Druckerei Frey GmbH, Andelfingen

# Inhaltsverzeichnis

Einleitung	5
Was ist Radioaktivität?	6
Die Erde ist radioaktiv	9
Strahlenschutz: Triple A einhalten	12
Radioaktivität in der Industrie	14
Wissen wir genug? Interview mit Dr. Walter Rüegg	16
Anwendung ionisierender Strahlung in der Medizin	20
Strenge Kriterien für Tiefenlager Interview mit Dr. Rosa Sardella	22
Literatur-/Quellenverzeichnis	25
Glossar	26

# UMGANG MIT RADIOAKTIVITÄT



## Einleitung

Radioaktive Strahlung hat für viele Menschen etwas Bedrohliches. Das kann man verstehen, denn wir haben keine Sinnesorgane, um radioaktive Strahlung wahrzunehmen. Natürliche Radioaktivität kommt in Spuren in den meisten Gesteinen vor. Der radioaktive Zerfall gewisser Elemente in Pflanzen und Lebewesen dient sogar zur wissenschaftlichen Altersbestimmung.

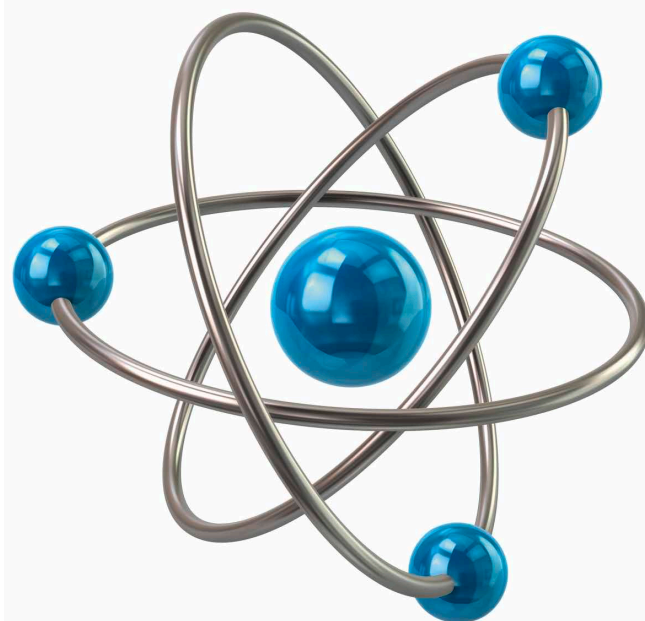
Wir können Radioaktivität messen und mit einem speziellen Verfahren im Labor sogar sichtbar machen. Vor einem Zuviel an radioaktiver Strahlung können wir uns schützen, indem wir Abstand halten und/oder uns abschirmen. In den Leichtwasserreaktoren liegen die Brennstäbe im Wasser, im Zwischenlager sind sie in Stahlbehälter verpackt und im geologischen Tiefenlager soll ein Mehrfachbarrierenkonzept für die Langzeitsicherheit sorgen.

Die Grenzwerte, wie viel künstliche Radioaktivität, die sich in der Wirkung von der natürlichen Strahlung nicht unterscheidet, freigesetzt werden darf, sind in der Schweiz nicht nur gesetzlich festgelegt, sondern werden auch von der Nationalen Alarmentrale lückenlos überwacht.

Der ungeschützte Kontakt mit Radioaktivität ist lebensbedrohend. Entscheidend ist der verantwortungsvolle Umgang mit dieser Strahlung. Für das Forum VERA besteht kein Zweifel, dass die bei der Nutzung der Kernenergie zur Stromproduktion, aber auch in Medizin, Industrie und Forschung an-

fallenden Abfälle im Inland jederzeit sicher eingeschlossen sein müssen. Wie dies nach dem Stand von Wissenschaft und Technik geschieht, aber auch, wie radioaktive Strahlen zur Tumorbekämpfung eingesetzt werden, ist Gegenstand dieser Broschüre.

Dr. Kathy Riklin  
Nationalrätin  
Präsidentin Forum VERA



## Was ist Radioaktivität?

Wir leben in einem planetarischen System, dessen Masse zu 99,86 % aus einer hochradioaktiven Quelle besteht – der Sonne. Die von ihr ausgehende Strahlung entsteht durch Kernfusion, d.h. durch die Verschmelzung von Atomkernen. Von der 6000 Grad heissen Sonnenoberfläche gelangt ionisierende und elektromagnetische Strahlung auf die Erde. Das Licht und die Wärmeabstrahlung der Sonne sind die Grundvoraussetzungen für die Entstehung und Entwicklung des Lebens auf der Erde.

Es war eine Frau, welche die vom französischen Physiker Henri Becquerel beobachtete Strahlung von Uranverbindungen 1896 untersuchte und diese «radioaktiv» nannte: Marie Skłodowska Curie, seine Assistentin. Sie war überzeugt, dass es nach Uran noch weitere radioaktive Elemente geben muss. Ihre Dissertation «Untersuchungen über die radioaktiven Substanzen» wurde 1904 veröffentlicht. Sie entdeckte das Polonium und das Radium und wies die Radioaktivität von Thorium nach. Die gebürtige Polin erhielt als erste Frau zwei Nobelpreise: 1903 gemeinsam mit Becquerel und ihrem Gatten Pierre Curie, 1911 für Chemie für die Isolierung des Elements Radium. Ihr langjähriger ungeschützter Umgang mit radioaktiven Substanzen führte zur Erkrankung an Leukämie, der sie 1934 erlag.

### Radioaktiver Zerfall

Uran war bis 1789 das letzte bekannte chemische Element, ein Schwermetall. Es wurde vom deutschen Chemieprofessor und Apotheker Martin Heinrich Klaproth aus dem Mineral Pechblende isoliert. Becquerel stiess bei seinen Forschungsarbeiten mit Uran auf eine Strahlung, die nicht zum Spektrum des sichtbaren Lichts gehört und die er Uranstrahlen

nannte. Heute kennen wir 118 chemische Elemente, wobei die «Transurane» alle radioaktiv sind. Das Mass der Radioaktivität wird Becquerel (Bq) genannt. Es misst die Anzahl Zerfälle pro Sekunde. Der menschliche Körper enthält etwa 8000 Bq, d.h. es finden pro Sekunde 8000 Zerfälle statt.

Ernest Rutherford, ein neuseeländischer Physiker, der 1908 den Nobelpreis für Chemie erhielt, zeigte 1911, dass Atome aus einem winzigen, kompakten Kern und einer ihn umgebenden Hülle bestehen. Befinden sich im Atomkern weniger als 20 Protonen (positiv geladene Teilchen) wie Neutronen (ungeladene Teilchen) so sind sie stabil. Instabile Atomkerne zerfallen unter Aussendung energiereicher Strahlung solange, bis sie einen stabilen Zustand erreichen. Blei z.B. ist das stabile Endprodukt des natürlichen Zerfalls von Uranisotopen.

Man unterscheidet drei Strahlenarten: Alpha-, Beta- und Gammastrahlen. Alpha- und Betastrahlung entsteht bei der spontanen Umwandlung eines instabilen Kerns in einen anderen Kern. Dieser natürliche Zerfall kann nicht aufgehalten werden. Zerfallende Atomkerne werden auch als Nuklide bezeichnet. Von den heute bekannten mehr als 3000 Nukliden sind nur etwa 250 stabil. Gammastrahlung entsteht, wenn der Atomkern überschüssige Energie abstrahlt.

Ausserordentlich langlebig strahlende Stoffe, wie z.B. Plutonium, das bei der Kernspaltung entsteht, sind Alphastrahler. Die Zeit, nach welcher jeweils die Hälfte der radioaktiven Kerne zerfallen ist, nennt man Halbwertszeit. Sie kann vom Bruchteil einer Sekunde bis zu Milliarden Jahre reichen. Das natürlich vorkommende radioaktive Uran-238 hat eine Halbwertszeit von 4,5 Milliarden Jahren. Es ist damit älter als die Erde. Als Faustregel gilt: Je länger

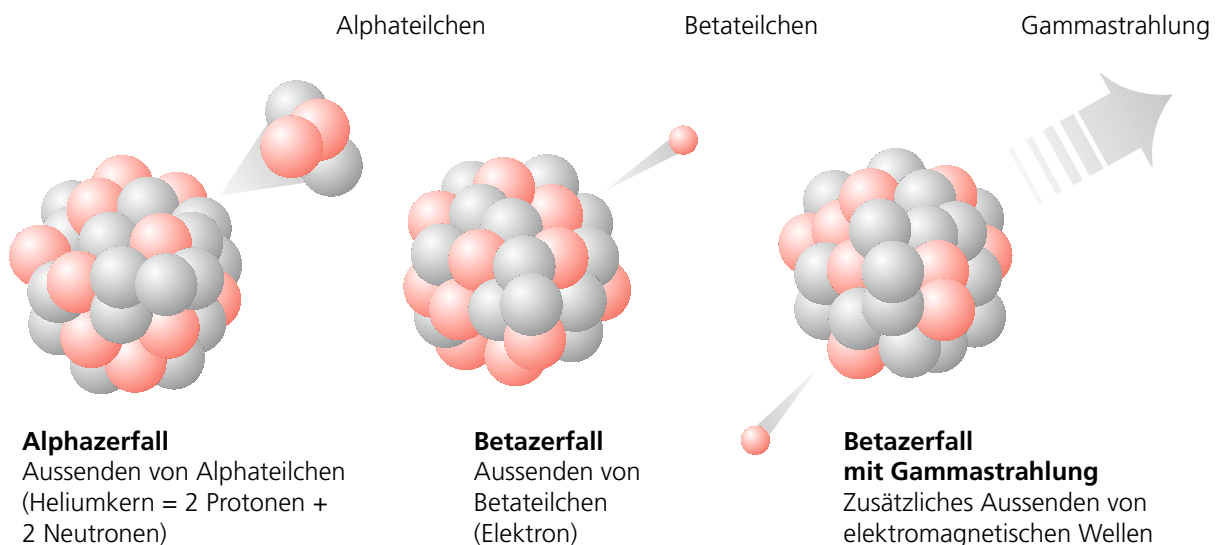
die Halbwertszeit, desto schwächer die Strahlung. Dauert die Halbwertszeit 1 Million Jahre, so findet alle 2 Jahre ein Zerfall statt, dauert sie 1 Tag so sind es 6 Zerfälle pro Sekunde (für eine Menge von jeweils ca. 750'000 Atomkerne).

Das in der Altersbestimmung häufig angewandte C-14 ist ein in der Natur häufig vorkommender Betastrahler. Auch das in der menschlichen Muskulatur vorkommende Kalium-40 ist ein Betastrahler.

### Wie kann Radioaktivität erfasst werden?

Radioaktivität kann nur indirekt nachgewiesen werden. Mit den menschlichen Sinnesorganen kann sie nicht erfasst werden, sie kann aber präzise gemessen werden. Menschen, die beruflich mit radioaktiven Substanzen zu tun haben, müssen sich nicht nur schützen, sondern auch ein Dosimeter tragen, um zu registrieren, wie viel Strahlung sie bei der Arbeit während eines Jahres ausgesetzt sind. Eine bestimmte

### Zerfall von Radionukliden



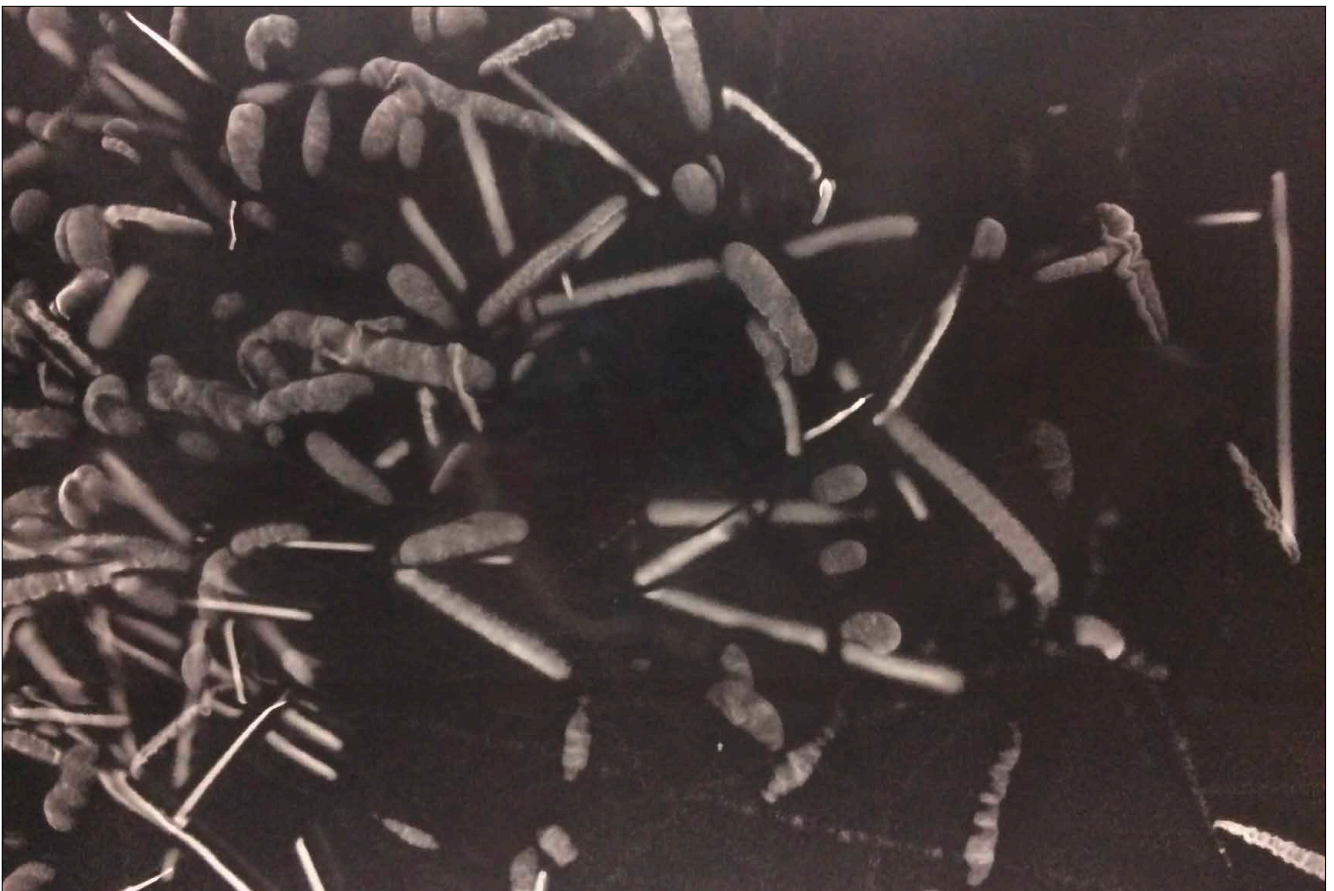
## UMGANG MIT RADIOAKTIVITÄT

Menge an Radioaktivität kann vom menschlichen Körper ohne Schadenfolge ausgehalten werden.

### **Radioaktivität sichtbar gemacht**

Bei den Untersuchungen von Becquerel hinterliess die ionisierende Strahlung Spuren auf einer Fotoplatte. Sie kann aber auch im Labor in so genannten

Nebelkammern sichtbar gemacht werden. Dabei werden energiereiche, geladene Teilchen durch ein übersättigtes Luft-Alkohol-Gemisch geschickt und hinterlassen dabei Tröpfchen, die zu charakteristischen Kondensstreifen zusammenfliessen, ähnlich wie bei Flugzeugen, die in hohen Luftschichten Kondensstreifen hinterlassen. ■



*Die Alphateilchen hinterlassen kurze, dickere Spuren, die Betateilchen lange dünne.*



## Die Erde ist radioaktiv

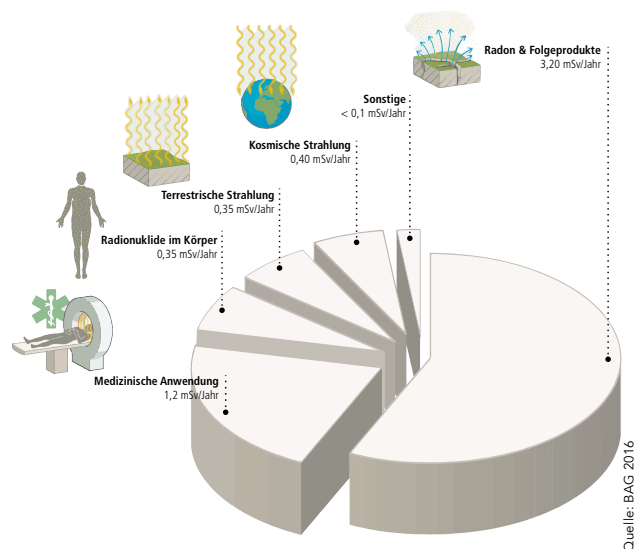
Die vier langlebigsten Isotope von Uran (U-234, U-235, U-236 und U-238) kommen in der Natur vor. Davon stammen Uran-238 und Uran-235 noch aus der Entstehungszeit des Sonnensystems. Unser Planet selbst strahlt Wärme ins Weltall ab, Wärme, die zu etwa der Hälfte aus dem Zerfall radioaktiver Stoffe im Erdinneren stammt. Japanische Forscher um Itaru Shimizu von der Universität Tōhoku im japanischen Miyagi haben festgestellt, dass der Zerfall von Uran-238 und Thorium-232 zusammen rund 20 Terawatt zum Wärmefluss der Erde beiträgt. Wie viel der restlichen 24 Terawatt aus der Entstehungszeit des Planeten stammen, ist bislang unklar. Im Erdkern herrschen Temperaturen von 6000 Grad Celsius.

Die Erde strahlt aber nicht nur Wärme ab, sondern auch Radionuklide. So enthalten Gesteine wie z.B. Granit höhere Anteile von Uran und Thorium. Auch im Boden befinden sich natürliche Radionuklide. Sie gelangen ins Wasser, in Pflanzen und Tiere und damit auch in die Nahrung des Menschen. Die Konzentrationen im Wasser und in den Nahrungsmitteln sind in der Regel gering. Jeder Mensch selbst «strahlt» radioaktiv durch eine gewisse Menge natürlicher Radionuklide. Die wichtigste Quelle dabei ist das radioaktive Element Kalium-40 das vor allem in der Muskulatur des gesamten Körpers eingebaut wird.

Eine weitere wichtige Strahlungsquelle der Erde ist Radon, ein gasförmiges Zerfallsprodukt von Uran. Dieses Edelgas kommt praktisch überall vor. In einigen Gebieten der Schweiz (u.a. Alpen und Jura) kann sich Radon-222 mit seinen Zerfallsprodukten in schlecht gelüfteten Kellern anreichern und in Wohnräume eindringen. Gemäss dem Bundesamt für Gesundheit

(BAG) verursacht Radon in der Schweiz 200 bis 300 Todesfälle pro Jahr und ist nach dem Rauchen die wichtigste Ursache für Lungenkrebs. Die einfachste Massnahme gegen zu hohe Radonkonzentrationen sind regelmässig gut gelüftete Räume. Auch eine gute Abdichtung gegen das Erdreich kann die Konzentration deutlich reduzieren. Radon verursacht mehr als die Hälfte der effektiven Dosis des Menschen durch natürliche Quellen von etwa 4,3 mSv pro Jahr. (Siehe Kapitel Strahlenschutz Seite 12.)

Die Erde ist nicht nur selber radioaktiv. Auch aus dem Weltraum und der Sonne treffen ionisierende

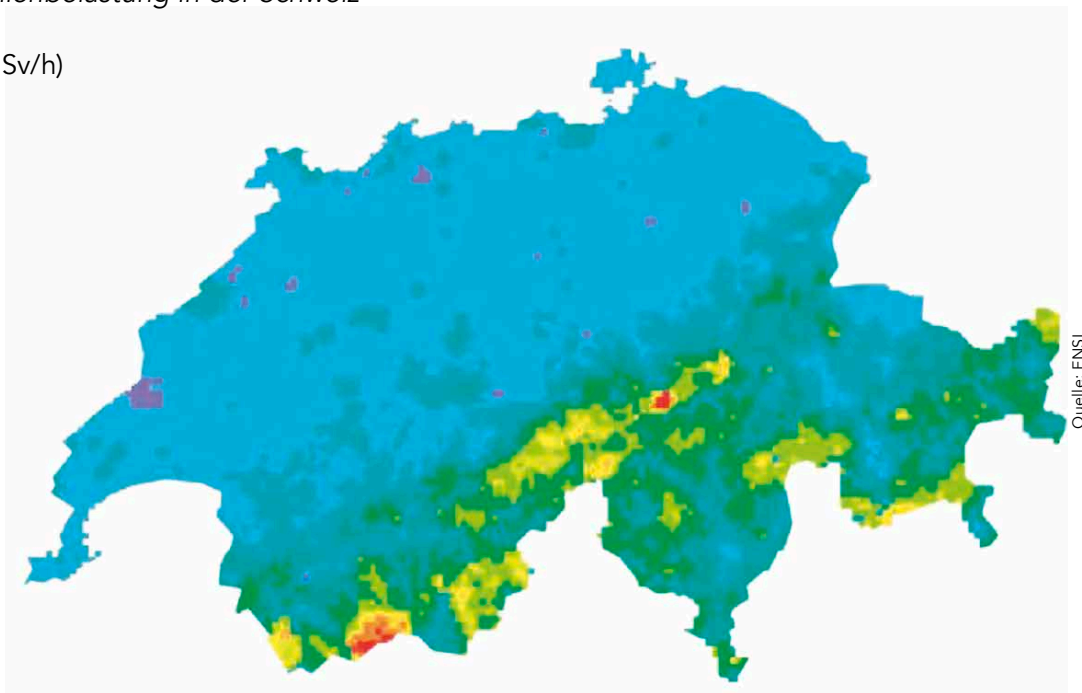


Die Strahlendosen innerhalb Europas variieren stark. Es gibt Dosen bis etwa 10 mSv pro Jahr. Eine der höchsten natürlichen Strahlenbelastungen weltweit findet sich im iranischen Ramsar mit einer durchschnittlichen jährlichen effektiven Dosis von ca. 7 mSv und Spitzenwerten von bis zu 131 mSv.

## Natürliche Strahlenbelastung in der Schweiz

Dosisleistung (nSv/h)

- >400
- 360–400
- 320–360
- 280–320
- 240–280
- 200–240
- 160–200
- 120–160
- 80–120
- <80



Strahlen auf die Atmosphäre. Die Lufthülle schirmt die Strahlung teilweise ab. Auf der Erdoberfläche treffen 0,40 mSv pro Jahr ein. Bei Flugreisen reduziert sich die Schutzwirkung der Lufthülle in Abhängigkeit von Flughöhe und geographischer Breite des Fluges. In einem Flug Zürich-New York ist man einer Strahlenbelastung 0,06 mSv ausgesetzt. Ein Anteil der radioaktiven Bestrahlung der Menschen von 1,2 mSv pro Jahr geht auf medizinische Anwendungen (Diagnostik und Strahlentherapie) zurück. 0,1 mSv pro Jahr setzen sich aus folgenden Emissionen zusammen: Aus Kernkraftwerken, Fall-out von Atombombenversuchen aus den 1950er-Jahren und der Kernschmelze des graphitmoderierten Reaktors von Tschernobyl. Sie machen den weitaus kleinsten Teil der gesamten radioaktiven Exposition der Bevölkerung von rund 5 mSv pro Jahr aus.

### Natürliche Strahlenbelastung in der Schweiz

Die natürliche Strahlung ist einerseits abhängig vom geologischen Untergrund, andererseits von der

Höhenlage. Der Entdecker der kosmischen Strahlung, der österreichische Physiker Victor Franz Hess, nannte seine Entdeckung 1912 «Höhenstrahlung». In den Alpen übertrifft der Anteil der terrestrischen Strahlung dennoch die kosmische, weil die Granitgesteine an der Oberfläche liegen. Im Mittelland überdeckt eine dicke Sedimentschicht das Grundgebirge, womit sich die tiefen Werte von 80-120 nSv (nano Sievert) pro Stunde erklären. (Siehe Kapitel Strahlenschutz Seite 12.)

### Überwachung der Radioaktivität in der Schweiz

Es gehört zu den Aufgaben der Nationalen Alarmzentrale (NAZ) die radioaktive Strahlung in der Schweiz zu überwachen. Sie betreibt das NADAM (Netz für automatische Dosialarmierung und -messung). Von 71 Stationen in der Schweiz werden alle 10 Minuten die aktuellen Messwerte der Gammastrahlung an die NAZ übermittelt. Wird die Schwelle von 1000 nSv pro Stunde überschritten, wird automatisch Alarm ausgelöst.

Dieses Messnetz wird ergänzt durch 57 Sonden zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK), des Eidg. Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) sowie durch Messmittel des Bundesamts für Gesundheit (BAG) und im Bedarfsfall durch solche der Armee. Im Falle eines schwereren Unfalles in einem Kernkraftwerk dienen die Messwerte vor allem der MADUK-Sonden, um den Notfallschutz für die Bevölkerung organisieren zu können. Die Tagesmittelwerte können auf der Website <https://www.naz.ch/de/aktuell/tagesmittelwerte.shtml> eingesehen werden.

### Natürliche Kernreaktoren

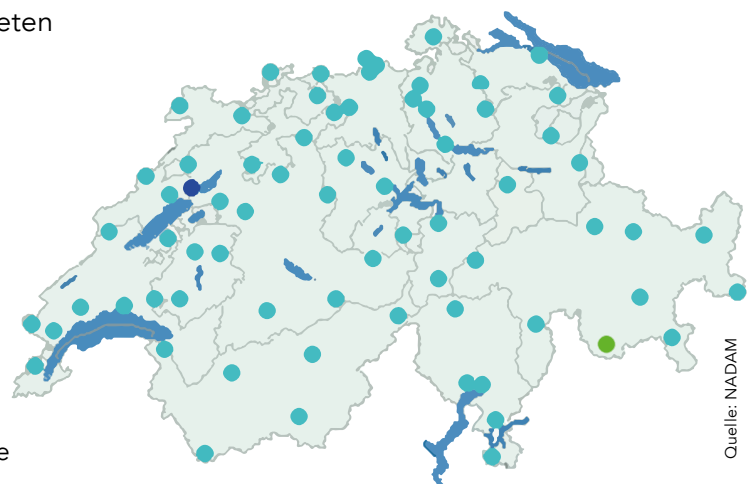
Vor 1,7 Milliarden Jahren lag der Anteil an radioaktivem Uran-235 im natürlich vorkommenden Uran im afrikanischen Oklo in Mounana in Gabun bei 3,6%. Heute sind es noch 0,7%. In den modernen Leichtwasserreaktoren braucht man auf 3,6% angereichertes spaltbares Material. In Oklo lagen daher ideale Bedingungen vor für einen wassermodierten Kernreaktor. Das Uran befand sich im Grundwasser. Es wirkte als Moderator, Kühlmittel und Reflektor. Die 14 «Siedewasser»-Naturreaktoren arbeiteten

selbstregulierend-zyklisch. Während ca. 30 Minuten kam es zu Energieproduktion durch Kernspaltung bis das Wasser Siedetemperatur erreichte und verdampfte, was zum Zusammenbruch der Kettenreaktion führte. Nach ca. 2,5 Std. kam das Wasser zurück und der Prozess begann von neuem. Insgesamt dauerte der Betrieb ca. 100'000 Jahre. In dieser Zeit wurden ca. 10 Tonnen Uran-235 gespalten und etwa 4 Tonnen Plutonium erbrütet. Als sich der natürliche Isotopenanteil von Uran-235 vor ca. 1,5 Milliarden Jahren so weit reduziert hatte, dass die Bedingungen für selbsterhaltende Spaltungsprozesse nicht mehr gegeben waren, kamen die Kettenreaktionen definitiv zum Erliegen. Das restliche Uran, das entstandene Plutonium und die anderen Transurane blieben in der Reaktorzone, ebenso wie das Strontium. Daraus lässt sich schliessen, dass die Wanderung von Radionukliden aus dem offen daliegenden Naturreaktor maximal 3 bis 5 Meter beträgt. ■

Tagesmittelwerte (27. April 2017)  
der Ortsdosisleistung (nSv/h)

- <100      ● 100–200      ● 200–300
- 300–400      ● 400–500      ● > 500

● Von dieser Station gibt es keine Tagesmittelwerte



Quelle: NADAM

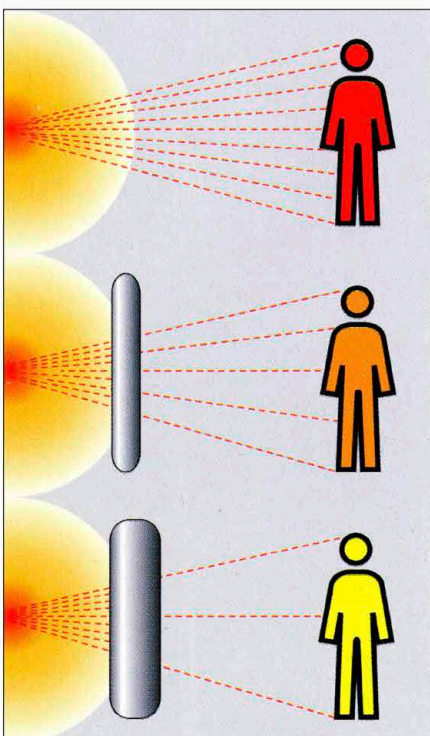
## Strahlenschutz: Triple A einhalten

Ionisierende Strahlen können die Gesundheit gefährden. Ihre Wirkung auf den menschlichen Körper hängt von der durch die Strahlung übertragenen Energie und der Dauer der Strahlenbelastung ab. Der schwedische Mediziner und Physiker Rolf Sievert, 1896–1966 gilt als Begründer des Strahlenschutzes. Ihm zu Ehren wird die Masseinheit für die Äquivalenzdosis Sievert (Sv) genannt. Bei der Äquivalenzdosis berücksichtigt man neben der übertragenen Energiedosis auch die relative biologische Wirksamkeit der verschiedenen Strahlenarten. Der

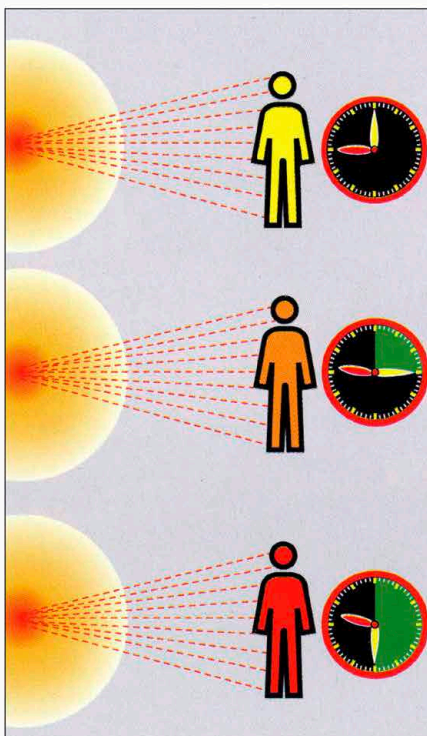
Grenzwert für die Strahlenbelastung aus künstlichen Quellen liegt bei 1 mSv pro Jahr.

Vor ionisierenden Strahlen kann man sich schützen. Weltweit gilt das ALARA-Prinzip. Diese Bezeichnung ist ein Akronym für «As Low As Reasonably Achievable» (engl. für so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar). Sinngemäß übersetzt fordert das ALARA-Prinzip, beim Umgang mit ionisierenden Strahlen eine Belastung durch Strahlen so gering wie möglich zu halten.

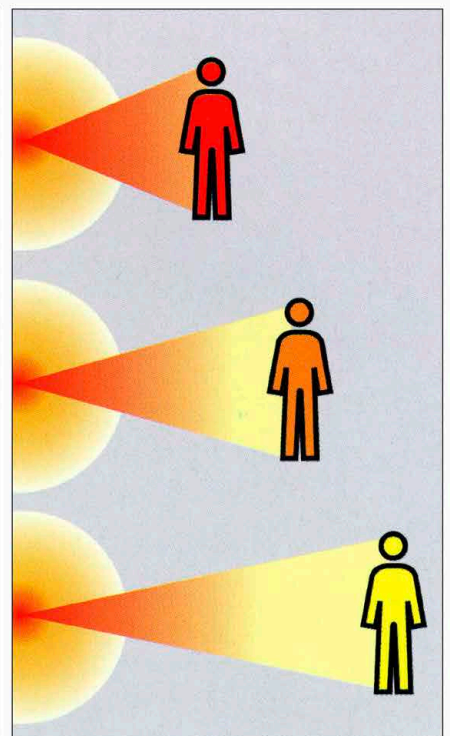
Abschirmen



Aufenthaltszeit beschränken



Abstand einhalten



Grundsätzlich wird zwischen äusserer und innerer Bestrahlung unterschieden. Für den Schutz vor äusserer Strahlung sind vier Faktoren massgebend:

1. Abstand
2. Abschirmung
3. Aufenthaltszeit
4. Zeit, denn im Gegensatz zu chemischen Giften zerfallen radioaktive Substanzen von selbst, ihre Radiotoxizität nimmt ab.

### **Triple A einhalten**

Bei den Alphastrahlen reichen 5 cm Abstand oder ein Blatt Papier. Betastrahlen können durch ein 2 cm dickes Glas abgeschirmt werden. Im Falle einer erhöhten Radioaktivität in der Luft empfehlen die Behörden deshalb, im Haus zu bleiben.

### **Inkorporation verhindern**

Wesentlich ist, keine strahlenden Partikel einzusatmen oder einzunehmen.

In der Schweiz werden in den verschiedenen Gefahrenzonen rund um die Kernkraftwerke Jodtabletten verteilt. Sie sollen im Falle von radioaktivem Jod-131 in der Luft eingenommen werden, um zu verhindern, dass sich das radioaktive Element in unserer Schilddrüse konzentriert. Jod-131 hat eine Halbwertszeit von 8 Tagen. Nach 16 Tagen ist 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 ursprünglichen Aktivität gesunken.

Im Nachgang zum Fall-out von Tschernobyl wurden in den Pilzen und in Wildschweinen im Tessin erhöhte Cäsium-137-Werte gemessen. Cäsium-137 ist ein künstliches, radioaktives Isotop, das bei der Kernspaltung in einem Kernkraftwerk entsteht. Es hat

eine Halbwertszeit von 30 Jahren. In der Natur kommt nur das stabile Isotop Cäsium-133 vor. Die zusätzliche Strahlenbelastung der Schweizer Bevölkerung durch die radioaktive Wolke von Tschernobyl lag jederzeit deutlich unter dem Schutzziel. Die Bevölkerung wurde angewiesen, die betroffenen Lebensmittel nicht zu konsumieren, um eine Inkorporation zu verhindern. Insgesamt stellt das Bundesamt für Gesundheit in seinem Bericht «20 Jahre nach Tschernobyl» fest, dass seine Empfehlungen befolgt wurden.

### **Die Zeit arbeitet für den Strahlenschutz**

Der Faktor «Zeit» spielt eine wichtige Rolle beim kurz- und langfristigen Strahlenschutz. Wer mindestens ein Mal pro Woche in kontrollierten Zonen arbeitet oder ausgebildet wird, gilt als beruflich strahlenexponiert und muss ein Dosimeter tragen. Werden die festgelegten Dosisgrenzwerte überschritten, dürfen die Arbeitnehmenden über eine gewisse Zeit nicht mehr in kontrollierten Zonen arbeiten.

Wenn es gelingt, über sehr lange Zeit radioaktive Stoffe eingeschlossen zu halten, verlieren sie ihre Gefährlichkeit. Entsprechend sind die Fachleute weltweit der Meinung, dass der Einschluss in einem geologischen Tiefenlager der sicherste Weg ist, diese Stoffe von der Biosphäre fernzuhalten. Die verschiedenen vorgesehenen Barrieren eines geologischen Tiefenlagers sollen so lange halten, bis die Strahlung der Stoffe unter die Schwelle der natürlichen Strahlung gefallen ist.

## Radioaktivität in der Industrie

Gammastrahlen, im Jahre 1900 von Paul Villard entdeckt und von Ernest Rutherford als dritte gefundene Strahlung mit dem dritten Buchstaben des griechischen Alphabets getauft, sind elektromagnetische Strahlen. Sie haben grosse Ähnlichkeit mit Röntgenstrahlen, sind jedoch wesentlich stärker als diese. Sie werden in verschiedenen industriellen Prozessen in der Metall- wie in der Lebensmittelindustrie, in der Materialprüfung oder bei Füllstandsmessungen und sogar am Zoll eingesetzt. Dabei macht man sich zu Nutze, dass Gammastrahlung Materie durchdringen kann, ohne reflektiert oder gebrochen zu werden. Abhängig von der Dichte und der Dicke des Mediums wird ein Teil der Strahlung beim Durchgang absorbiert.



Schweissnahtprüfung

Gammastrahlen wendet man bei der zerstörungsfreien Materialprüfung an, aber auch um die Dichte von Schweissnähten, Ablagerungen, Korrosionsschäden oder Erosionsschäden an der Innenseite von Apparaten und Rohrleitungen nachzuweisen. Ein Nachteil von Gammastrahlen ist, dass die Strahlenquellen nicht abgeschaltet werden können. Bei der Verwendung von Gammastrahlung im Betrieb müssen wegen ihrer Gefährlichkeit umfangreiche Strahlenschutzmassnahmen ergriffen werden. Deren Überwachung ist Aufgabe der Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt Suva.

### Strenge Auflagen

Brandschutz spielt insbesondere in öffentlich zugänglichen Gebäuden eine grosse Rolle. Dabei kamen früher häufiger so genannte Ionisationsrauchmelder zum Einsatz, welche mit einem radioaktiven Strahler arbeiten. Diese können praktisch unsichtbare Rauchpartikel erkennen. Heute werden solche Rauchmelder wegen der Radioaktivität nur noch in Sonderfällen unter strengen Auflagen eingesetzt. Ungeöffnet sind Ionisationsmelder mit Alpha- oder Betastrahlern ungefährlich, da keine Strahlung nach aussen gelangt. Im Brandfall muss der Brandschutz nach verschollenen Brandmeldern abgesucht werden.



Brandmelder der älteren Generation enthalten radioaktive Stoffe (Americium-241) in der Messzelle.

### Die Radiumgirls der Uhrenindustrie

Armbanduhren und Wecker mit Leuchtziffern waren ab den 1920er-Jahren ein Renner. Sie wurden bis in die 1960er-Jahre weltweit mit Radium (Ra-226)- und Promethium (Pm-147)-haltigen Leuchtfarben versehen. Das war für die Träger solcher Uhren kein grosses gesundheitliches Risiko.

Anders bei den Fabrik- und Heimarbeiterinnen insbesondere in den USA. Diese arbeiteten mit sehr feinen Pinseln, um das Gemisch aus Radium und Klebstoffen auf die Uhrzeiger und Zifferblätter aufzutragen. Um die Pinsel schön spitz zu machen, leckten sie die Pinsel ab. Dadurch gelangten radioaktive Partikel in ihren Organismus. Viele der Radiummalerinnen erkrankten insbesondere an Zungen- und Unterkieferkrebs, manche starben.

In der Schweiz erfolgte das Auftragen in den 1950er-Jahren mit einem beinernen Stäbchen oder einer Art Füllfeder, der Gebrauch von Pinseln war verboten. Die Strahlenschutzverordnung vom 19. April 1963 unterstellte erstmals die Verwendung von Radium der Bewilligungspflicht. Zu Beginn der 1960er-Jahre sah sich die Uhrenindustrie veranlasst, Radium 226 durch Tritium zu ersetzen.

Ab 1985 wurden vom Bundesamt für Gesundheit (BAG) Sammelaktionen lanciert, um Reste von Radiumfarbe einzusammeln. Nötig wurde auch die Dekontamination von Fabrikgebäuden. Eine Aufgabe, die in den 1980er-Jahren abgeschlossen wurde. Insgesamt sollen 18 Fässer mit radioaktivem Abfall entsorgt worden sein, 450 Kubikmeter Erde und Bauschutt seien in der Deponie Teuftal entsorgt worden. 2014 wurden in ehemaligen Uhren-Ateliers der Stadt



*Radiumgirls an der Arbeit*

Biel Reste radioaktiver Leuchtfarbe gefunden. Die systematische Untersuchung auf Radium ergab Reste des radioaktiven Materials in zwölf Gebäuden.

Im Rahmen des Radium-Aktionsplans 2015–19 des BAG werden diese Altlasten nach dem ALARA-Prinzip beseitigt. Zitat: «Das Endziel besteht darin, zu gewährleisten, dass betroffene Gebäude im Hinblick auf die Exposition durch die verbleibende Kontamination ohne inakzeptable Risiko für die Bevölkerung bewohnt werden können und Arbeitnehmer und Bevölkerung vor den Gefahren durch kontaminierte Deponien geschützt werden. Dabei geht es nicht darum, die verbleibende Radium-Aktivität auf Null zu senken. Ein solches Ziel wäre mit unverhältnismässigen Massnahmen und untragbaren Kosten verbunden. Deshalb ist es wichtig, dass alle Sanierungsentscheide gerechtfertigt werden können, indem ein Optimierungsansatz mit Abwägen von Vor- und Nachteilen angewendet wird.» ■



Interview mit  
Dr. sc. nat. Walter Rüegg

### Wissen wir genug?

*Dr. Walter Rüegg ist Kernphysiker mit einem starken Interesse an der Strahlenbiologie. Er war 20 Jahre lang an der ETH Zürich und am Schweizerischen Institut für Nuklearphysik (SIN), heute Paul Scherrer Institut (PSI), in der Grundlagenforschung tätig und arbeitete später im Bereich Elektronik und Messtechnik der Asea Brown Boveri (ABB). Als langjähriger Chefphysiker der Schweizer Armee hat er sich intensiv mit der Radioaktivität und ihren Wirkungen auf Mensch und Umwelt befasst. Heute ist er selbständiger Berater und Entwickler elektronischer Systeme für die Energietechnik, unter anderem auch für Windenergieanlagen.*

#### **Wissen wir genug über Radioaktivität, um sicher damit umgehen zu können?**

Seit über 120 Jahren werden die Wirkungen der Radioaktivität wissenschaftlich untersucht, praktisch jede Hochschule, jedes Universitätsklinikum und viele militärische und private Forschungsinstitute waren (oder sind immer noch) daran beteiligt. Es gibt keine andere chemische oder physikalische Einwirkung auf Lebewesen, die auch nur annähernd so gut erforscht wurde, wie die ionisierenden Strahlen. Bei hohen und mittleren Dosen sind sich die Experten über die Wirkungen weitgehend einig. Dieses Wissen garantiert einen sicheren Umgang mit der Radioaktivität.

Bei kleinen Dosen ortet man aber gerne Probleme, immer wieder wird behauptet, dass man zu wenig darüber wisse. Die Aussage ist nicht korrekt. Man weiss mit Bestimmtheit, dass ein allfälliges Gesundheitsrisiko von kleinen Strahlendosen (kleiner als etwa 1 % der tödlichen Dosis) gegenüber den anderen Gesundheitsrisiken vernachlässigbar klein

ist, auf jeden Fall so klein, dass es nicht mehr messbar ist. Wenn dem nicht so wäre, hätte man dies im Laufe der letzten 120 Jahre schon längst erkannt.

#### **Wie gefährlich ist Radioaktivität?**

Ionisierende Strahlen haben nicht grundlegend andere gesundheitliche Folgen als «normale» Giftstoffe. Hohe Einmaldosen (Schockdosen) ab etwa 20 % der tödlichen Dosis bewirken akute Erkrankungen (Strahlenkrankheit), deren Symptome denjenigen einer starken Chemotherapie mit Zytostatika sehr ähnlich sind. Dies ist kein Zufall, denn in beiden Fällen werden die gleichen Zelltypen angegriffen. Die Strahlenkrankheit dauert typisch einige Wochen, danach folgt praktisch immer ein völlig normales Leben. Die wichtigste Ausnahme: In seltenen Fällen kann innert wenigen Jahren eine Leukämie oder ein Schilddrüsenkrebs ausbrechen. Aber selbst bei einer Dosis knapp unter der tödlichen sind weniger als 3 % davon betroffen. Glück im Unglück: Im Gegensatz zu den «Alterskrebsen» können diese Krebsarten in der Mehrzahl der Fälle geheilt werden. Sehr hohe Strahlendosen können auch die Wahrscheinlichkeit für Linsentrübungen (Katarakte, grauer Star) erhöhen und bei sehr hohen Hautdosen zu üblen Narbenbildungen führen. Falsch ist die Aussage, dass jede hohe Strahlendosis früher oder später zu Krebs führt. Denn selbst bei einer nahezu tödlichen Schockdosis nimmt die Wahrscheinlichkeit, im Alter an Krebs zu sterben «nur» um ca. 25 % zu. Im Klartext bedeutet dies, dass 75 % der lebensgefährlich Bestrahlten nach überstandener Strahlenkrankheit ein völlig normales Leben vor sich haben und nicht an einem durch die Strahlung bedingten Krebs sterben. Diese



Angaben gelten für Schockdosen. Wird eine solche Dosis über mehrere Jahre verteilt, verschwinden die negativen Effekte, man stellt eher positive als negative Auswirkungen fest.

Entgegen den früheren Befürchtungen konnten bisher beim Menschen auch keine Zunahme der vererbaren genetischen Effekte oder der Missgeburten gefunden werden. Sowohl die am stärksten bestrahlten Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki als auch die mit praktisch tödlichen Dosen bestrahlten Feuerwehrleute aus Tschernobyl zeugten völlig normale Kinder.

### *Welche Strahlendosen sind lebensgefährlich?*

5 Sv auf einen Schlag sind meist tödlich, genauso wie fünf Flaschen Wein auf einmal. Verteilt man diese Dosis über mehrere Jahre so kann man kaum einen Schaden nachweisen, beim Wein ebenso wenig wie bei der Strahlung.

Hohe Dosen, die zu einer Strahlenkrankheit führen oder gar lebensgefährlich sind, kann man bei der allgemeinen Bevölkerung ausschliessen. Selbst in der unmittelbaren Umgebung von Tschernobyl war man noch weit entfernt von solchen Dosen. Nur bei einer Kernwaffenexplosion kann die Bevölkerung sehr hohen, lebensgefährlichen Dosen ausgesetzt werden.

### *Welche Strahlendosen entfalten keine gesundheitsschädlichen Wirkungen?*

Erst ab etwa 0,1 Sv (100 mSv) Schockdosis konnte man bei den Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki erste Langzeitwirkungen nachweisen: Im hohen Alter hat sich die Krebsrate etwas erhöht (um

etwa 1%). Auf die Lebensspanne konnte man aber keinen Einfluss nachweisen (bis etwa 1 Sv). In Bezug auf Leukämien scheinen Schockdosen unter 0,2 Sv keine schädliche Wirkung zu entfalten, im Gegenteil, es zeigen sich klare positive Effekte (weniger Leukämien als bei Unbestrahlten). Tierversuche bestätigen diesen positiven Effekt.

Bei zeitlich verteilten Dosen zeigen die Untersuchungen von Bewohnern in Gebieten mit hoher Untergrundstrahlung und von Radiummalerinnen selbst bei einigen 100mSv pro Jahr keine negativen Effekte. Tierversuche führen zu den gleichen Schlussfolgerungen. In der Schweiz beträgt die jährliche Durchschnittsdosis etwa 5 mSv, mit Spitzen (in den Alpen) bis über 20mSv.

Vor allem im untersten Dosisbereich (einige mSv pro Jahr) leiden alle statistischen Untersuchungen an grossen Unsicherheiten und Fehlern. Ein Hauptgrund dafür: Solche kleinen Dosen gehen im Meer der natürlichen Untergrundstrahlung (bis einige 100mSv pro Jahr) unter. Klar ist nur, dass ein allfälliges Risiko sehr klein ist, viel kleiner als die «normalen» Gesundheitsrisiken. Trotzdem nehmen heute alle Strahlenschutzbehörden auf Grund des Vorsorgeprinzips an, dass die Strahlung auch weit unter der Nachweisgrenze schädlich ist. Oder, anders formuliert, dass es keine unschädliche Dosis gibt. Die Folge dieser Hypothese sind ausserordentlich tiefe Grenz- und Regulierungswerte (ab 10µSv pro Jahr, also 1/100'000Sv oder 1/500'000 Sv einer tödlichen Schockdosis pro Jahr).

Man kann sich fragen, ob diese extrem tiefen Regulierungswerte (10 oder 100 µSv pro Jahr) sinnvoll sind, sie erzeugen grosse Kosten und vor allem auch unbegründete Ängste.

## UMGANG MIT RADIOAKTIVITÄT

*Heute ist Radioaktivität negativ bewertet, das war aber nicht immer so. Wie ging man in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts damit um?*

Um 1930, etwa 35 Jahre nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen und der Radioaktivität, waren alle wesentlichen negativen Wirkungen von hohen Dosen solcher Strahlen bekannt: Akute Strahlenkrankheiten (verursachten bis 1930 über 100 Todesopfer und mehrere 1000 Verletzte), Krebsinduktion, Mutationen und genetische Veränderungen. Bei mittleren bis kleinen Dosen zeigten sich aber viele positive Effekte wie Wachstumsförderung, Wundheilungen, Lebensverlängerungen beziehungsweise Unterdrückung von Alterskrankheiten und Therapieerfolge bei vielen weiteren Krankheiten. Die Folge war eine fast euphorische Einstellung zur Radioaktivität. Wissenschaft, Öffentlichkeit und Medien waren sich einig: Kleine Dosen sind gesundheitsfördernd. Man streute radioaktiven Dünger auf die Felder, genoss radioaktiv angereicherte Lebensmittel (u.a. Brot, Bier, Schokolade, Speiseeis), kleidete sich in radio-

aktive Unterwäsche (auch Säuglinge!), benutzte unzählige radioaktive Kosmetika und Medikamente, rauchte radioaktive Zigaretten und badete im radioaktiven Wasser von Heilbädern. Die Produzenten von Mineralwasser stritten sich darüber, wer das gesündeste (d.h. das radioaktivste) Wasser besitzt. Millionen tranken Mineralwasser mit bis zu 50'000 Bq/l (ich auch, als Kind). Heute empfindet man eine solche Konzentration als ein absoluter Horrorwert. In Japan liegt der Grenzwert für Cs-137 bei 10 Bq/l.

*Worauf ist der Sinneswandel zurückzuführen?*

Das Ende dieser positiven Einstellung kam um 1960 herum. In der Öffentlichkeit wuchs die Skepsis gegenüber Technik und Wissenschaft, man konzentrierte sich oft auf nur vermutete negative Auswirkungen und forderte ein Nullrisiko. Das Vorsorgeprinzip wurde eingeführt. Vereinfacht formuliert lautet es: Wenn man nicht beweisen kann, dass etwas unschädlich ist, muss man es verbieten. Da bei winzigen radioaktiven Dosen ein



AVES Schweiz

wissenschaftlich strenger Beweis der Unschädlichkeit nicht möglich ist, muss man sie verbieten. Und so kommt es, dass Grenz- und Regulierungswerte bis weit unter die natürliche Strahlung gesunken sind, eigentlich unsinnig. Die Folge: Heute werden radioaktive Strahlen, egal ob grosse oder winzige Dosen, mehr gefürchtet als sehr viel stärker wirkende Gifte.

Es steht ausser Zweifel, dass der Sinnenwandel nicht auf mehr Wissen über die Risiken der Strahlung beruht. Das Gegenteil ist der Fall. Schwellendosen sind klar nachgewiesen und im Gegensatz zu früheren Befürchtungen zeigten sich nie messbare Erhöhungen der natürlichen Missgeburtenrate, die etwa 3% beträgt.

### **Wie ist das Risiko der Radioaktivität im Alltag einzuschätzen?**

Im Alltag spielt dieses Risiko eine völlig untergeordnete Rolle. Bewohner von Gebieten mit hoher natürlicher Radioaktivität (meist verursacht durch viel Uran im Boden) zeigen eher auf gesundheitlich positive Effekte.

### **Sind Sie der Meinung, dass eine sichere Lagerung der Abfälle möglich ist?**

Bei den nuklearen Abfällen handelt es sich zum Glück um sehr kleine Mengen, allerdings sind diese anfänglich sehr toxisch (vergleichbar mit Strychnin oder Arsenik). Nach einigen hundert Jahren ist der gefährlichste Teil, die leicht wasserlöslichen und stark strahlenden Spaltprodukte, zerfallen, die Abfälle sind dann etwa so toxisch wie Quecksilber. Verantwortlich dafür sind vor allem die langlebigen Plutonium-Isotope, aber nur falls sie in den Körpergeraten.



1967 ging das erste Kernkraftwerk der Schweiz ans Netz: Beznau

Von aussen ist die Strahlung harmlos, sie hat an Luft nur eine Reichweite von einigen cm und wird von der Kleidung oder der Haut vollständig abgefangen. In der Schweiz entstehen pro Jahr etwa 70 Tonnen hochaktive Abfälle (netto). Pro Jahr erzeugen wir auch um die 1,5 Millionen Tonnen Sondermüll, z.T. auch mit recht toxischen Substanzen, die leider nicht zerfallen (d.h. ewig toxisch bleiben). Insgesamt enthält unser Sondermüll eine etwa 10 mal grössere Giftmenge (Anzahl tödliche Dosen) als die radioaktiven Abfälle. Die sichere Langzeitentsorgung von Sondermüll ist völlig unlösbar, zu gewaltig sind die Mengen (Millionen von Tonnen) und zu lange die Zeiträume (Milliarden von Jahren). Bei der vergleichsweise kleinen Menge radioaktiver Abfälle ist eine sichere Endlagerung in tiefen Schichten technisch und ökonomisch durchaus machbar. ■

## Anwendung ionisierender Strahlung in der Medizin

Die Anwendung ionisierender Strahlung in der Medizin ist alltäglich und vielfältig. Beim Zahnarztbesuch, beim Röntgen eines Körperteils, bei einer Computertomographie oder einem bildgebenden Verfahren werden Patienten wie medizinisches Personal ionisierender Strahlung ausgesetzt. Körperteile, die nicht durchleuchtet werden sollen, werden mit Bleiwesten bedeckt. Das medizinische Personal verlässt den Raum, wenn «die Bilder geschossen werden». Auf dem Röntgenbild erscheinen die Knochen, sodass man Brüche und andere Verletzungen erkennen kann.

### Diagnoseverfahren

Bei den Diagnoseverfahren werden radioaktive «Marker» verwendet. Sie werden insbesondere in verschiedenen bildgebenden Verfahren verwendet. Im Gegensatz zu anderen Verfahren wie Röntgen bilden sie Stoffwechselprozesse ab. Tumorgewebe weisen einen erhöhten Stoffwechsel auf und sind daher stärker durchblutet, was durch die Marker sichtbar wird.

### Radioonkologie

Am bekanntesten ist der Einsatz ionisierender Strahlung bei der Behandlung von Krebserkrankungen. Louis Harold Gray, englischer Physiker, gehört zu den Mitbegründern der Radiologie. Er untersuchte die Wirksamkeit ionisierender Strahlung auf menschliches Gewebe. Er wollte damit ein Verfahren finden, um von Krebs befallenes Gewebe intensiv zu bestrahlen ohne das umgebende gesunde Gewebe zu beschädigen. Die Einheit für die Energiedosis von ionisierender Strahlung wird Gray (Kurzzeichen: Gy) genannt. Meist wird mit Betastrahlen gearbeitet. Die durch die Bestrahlung ausgelösten biologischen Prozesse

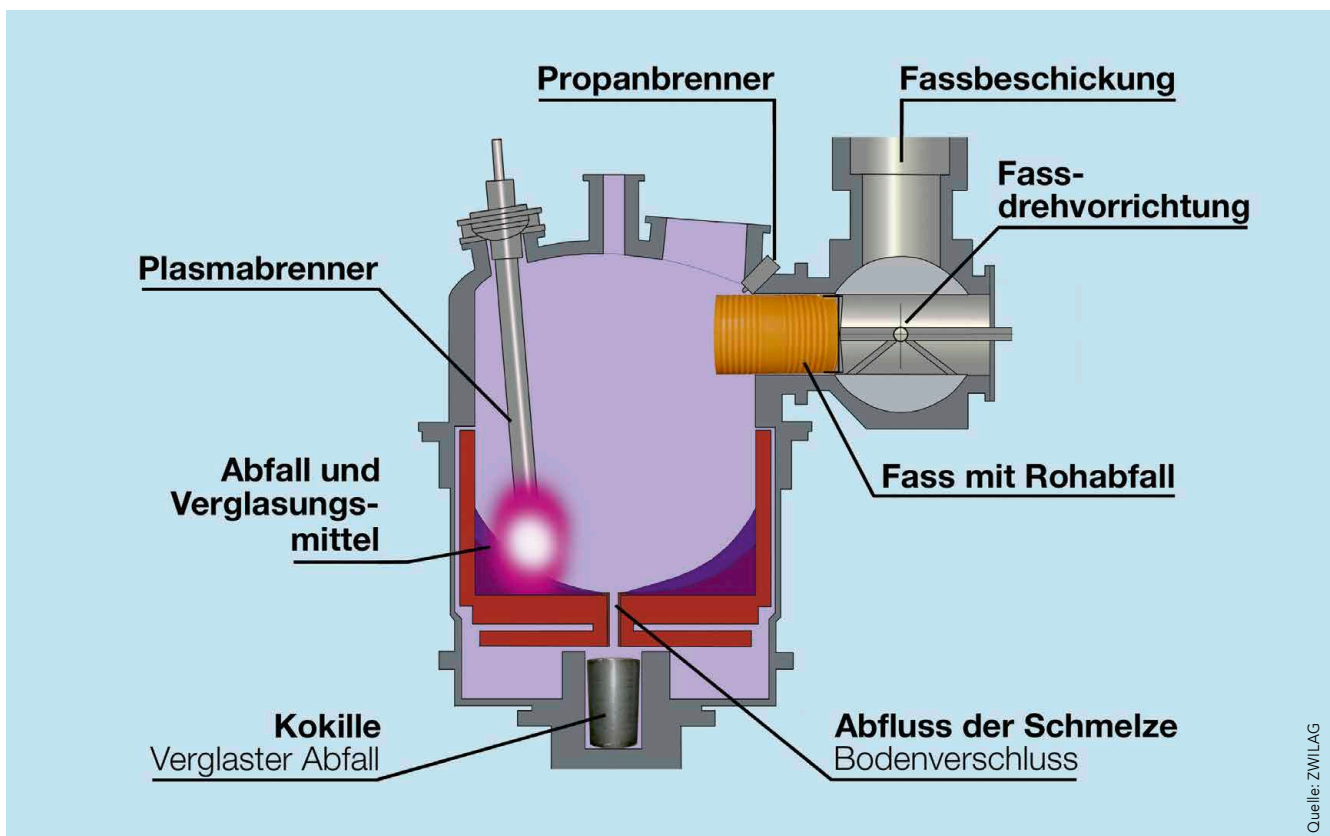
in den Krebszellen führen zu deren Absterben. Die hierbei dominierenden Radionuklide sind Kobalt-60, Iridium-192, Cäsium-137, Strontium-90 und Americium-241.



Quelle: Grieze Dreamstime.com  
Positronen-Emissions-Tomograph/Computertomograph (PET/CT scan)

### Strahlenschutz und Entsorgung in der Medizin

Auch bei medizinischen Anwendungen sind umfangreiche Strahlenschutzmassnahmen nötig. Alle Bestrahlungsgeräte werden regelmässig gemäss den Richtlinien und Empfehlungen der Schweizerischen Gesellschaft für Strahlenbiologie und Medizinische Physik (SGSMP) und des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) überprüft. Die radioaktiven Abfälle aus den Bereichen Medizin, Industrie und Forschung werden jährlich durch das BAG in Absprache mit dem Paul Scherrer Institut (PSI) eingesammelt. Der im Zwischenlager (Zwilag) in Würenlingen erstellte Plasmaofen ist weltweit die erste Anlage, in der leicht radioaktive Abfälle mit einem



Quelle: ZWILAG

Hochleistungs-Plasmabrenner bei einigen tausend Grad Celsius thermisch zersetzt oder aufgeschmolzen werden. Die Abfälle aus Medizin wie auch Forschung und Industrie werden bei hohen

Temperaturen bis zu 20'000 °C thermisch zersetzt oder aufgeschmolzen. Sie verlieren damit ihre Radioaktivität nicht, ihr Volumen wird aber deutlich reduziert. Durch die Beimischung von Glas wird ihre Lagerfähigkeit erhöht. Das entstehende Gemisch wird anschliessend mit Beton vergossen in Fässer verpackt, welche im Bundeszwischenlager bis zur geologischen Tiefenlagerung aufbewahrt werden. Schwach- und mittelaktive Abfälle haben nach rund 30'000 Jahren eine strahlungsbedingte Giftigkeit (Radiotoxizität) wie Granitgestein. Die Radioaktivität von verbrauchtem Uranbrennstoff erreicht nach rund 200'000 Jahren die Radiotoxizität des einst dazu abgebauten Urans, wie es in der Natur vorkommt.

#### Strahlendosen in der medizinischen Diagnostik

Dosis	Strahlenbelastung durch:
0,05 – 0,1 mSv	Langstreckenflug (kosmische Strahlung)
< 0,01 mSv	Zahnrontgen
< 0,1 mSv	Röntgen Brustkorb (Thorax), Arm, Bein, Schädel
< 1 mSv	Mammografie, Röntgen Hüfte, Becken
< 2 mSv	Röntgen Bauchraum (Abdomen), Wirbelsäule
1 – 8 mSv	Röntgen Harn- und Gallenwege
6 – 12 mSv	Röntgen Magen
10 – 18 mSv	Röntgen Darm
2 – 4 mSv	Computertomographie (CT) Schädel
2 – 11 mSv	CT Wirbelsäule
6 – 10 mSv	CT Brustkorb (Thorax)
10 – 25 mSv	CT Bauchraum (Abdomen)



*Interview mit  
Dr. Rosa Sardella,  
Mitglied der Geschäftsleitung ENSI*

### Strenge Kriterien für Tiefenlager

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) ist die Aufsichtsbehörde des Bundes für die nukleare Sicherheit und Sicherung der schweizerischen Kernanlagen. Es beaufsichtigt die schweizerischen Kernanlagen: Kernkraftwerke, Zwischenlager für radioaktive Abfälle sowie nukleare Forschungseinrichtungen des PSI in Villigen, der EPF Lausanne und der Universität Basel. Sein Aufsichtsbereich reicht von der Projektierung über den Betrieb bis zur Stilllegung der Anlagen und zur Entsorgung der radioaktiven Abfälle. Zu den Aufgaben zählen auch der Strahlenschutz von Personal und Bevölkerung sowie die Sicherung, also der Schutz vor Sabotage und Terrorismus.

#### ***Unterstützt das ENSI auch die Strahlenschutzforschung in der Schweiz?***

Für das ENSI führt die Sektion Messwesen Expertisen sowie Entwicklungs- und Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Dosimetrie, Strahlenmesstechnik und der Radioanalytik durch. Das ENSI arbeitet seit längerem mit den Experten des PSI zusammen. Dank der Zusammenarbeit in der Radioanalytik ist gewährleistet, dass die Aufsichtsbehörde jederzeit Probenanalysen durchführen lassen kann. Ein wesentlicher Gewinn ist die Umsetzung des Stands der Technik der chemischen Trenn- und Analyseverfahren in der Radioanalytik und die nationale Zusammenarbeit in diesem Spezialgebiet. Für das ENSI bedeutend ist auch die Ausbildung von Nachwuchskräften, die nur dank der Attraktivität von Verfahren nach dem neuesten Stand der Technik für dieses Gebiet gewonnen werden können. So wurde beispielsweise eine Masterarbeit über die radioanalytische Separation und Messtechnik für

Uran in Umweltproben erfolgreich durchgeführt. Zusätzlich wurden im letzten Jahr durch die Sektion Messwesen vier Studien-Praktika betreut. Im Rahmen der Praktika wurde die Leistungsfähigkeit moderner tragbarer Gammaskpektrometer für den Einsatz zur Nuklidentifikation bei Fahrzeugkontrollen und zur schnellen Messung der Inkorporation von Radionukliden bei radiologischen Störfällen untersucht.

#### ***Das ENSI ist unter anderem zuständig für die Aufsicht über die Entsorgung radioaktiver Abfälle. Welche Strahlenschutzmassnahmen sind in einer Oberflächenanlage erforderlich?***

Die gleichen Massnahmen wie in jeder anderen Kernanlage. Es muss eine kontrollierte Zone eingerichtet werden, die den Einschluss radioaktiver Stoffe gewährleistet (Confinement-Funktion), eine Emissionsüberwachung wird vorgeschrieben und allenfalls sind weitere Vorkehrungen (z.B. Abschirmungen) zu treffen.

#### ***Welche Strahlenschutzmassnahmen müssen getroffen werden, wenn die Abfälle nach ca. 40 Jahren vom Zwischenlager in die Oberflächenanlage transportiert werden?***

In der Schweiz ist der Transport von Gefahrgütern den Regelwerken ADR/SDR (Strasse) bzw. RID (Schiene) unterstellt. Radioaktive Stoffe gelten als Gefahrgut der Klasse 7. Darüber hinausgehende spezielle Vorkehrungen sind nicht notwendig.

#### ***Wie sind die Mitarbeitenden bei der Einlagerung der hochaktiven Gebinde im geologischen Tiefenlager geschützt?***

Für alle Arbeiten gelten die Vorgaben des operativen Strahlenschutzes (wie oben erläutert). Zusätzlich sind die Behälter für die hochaktiven Materialien so konstruiert, dass eine ausreichende Abschirmwirkung gegeben ist. Die Anforderungen an den Umgang mit radioaktiven Abfällen sind gesetzlich (StSG, StSV, KEG, KEV) und in Richtlinien des ENSI festgelegt.

### **Gibt es Direktstrahlung aus einem Lager, das beim Verschluss in 100 Jahren in einer Tiefe von 500m liegt?**

Es gibt keine Direktstrahlung. Die Strahlung aus den eingelagerten Gebinden erreicht die Erdoberfläche nicht, da sie von den Gesteinsschichten abgeschirmt wird.

### **Wie werden Grenzwerte im Strahlenschutz festgelegt?**

Die Grenzwerte im Strahlenschutz wurden von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) übernommen. Die Kommission erarbeitet Empfehlungen und Anleitungen zu allen Aspekten des Schutzes vor ionisierender Strahlung.

Die Grenzwerte wurden von der Kommission auf Basis der Wahrscheinlichkeiten für zufällig auftretende (stochastische) Strahleneffekte abgeleitet. Das Risiko für tödlich verlaufenden Krebs und Erbschäden durch künstliche Strahlung von 1 mSv pro Jahr beträgt während einer Lebenszeit von 70 Jahren 0,3 %. D.h. werden 1000 Personen mit 1 mSv pro

Jahr während 70 Jahren exponiert, dann sterben davon 3 (vergleichsweise dazu sterben ca. 250 der Bevölkerung an Krebs, dafür sind jedoch andere Mechanismen verantwortlich).

Akkumuliert eine beruflich strahlenexponierte Person 20 mSv pro Jahr während 50 Jahren Berufstätigkeit, so ist ihr Risiko für tödlich verlaufenden Krebs und Erbschäden 5%. Das heisst werden 100 Personen mit 20 mSv pro Jahr während 50 Jahren exponiert, dann sterben davon 5. Diese Zahl ist vergleichbar mit dem Berufsrisiko von anderen Berufsgruppen, wie Waldarbeiter, Dachdecker etc.<sup>1</sup>

### **Wie wird die Einhaltung der Grenzwerte im Strahlenschutz kontrolliert?**

Zu unterscheiden sind die Dosisgrenzwerte für die Bevölkerung und diejenige für beruflich strahlenexponierte Personen.

- Dosisgrenzwert für die Bevölkerung:  
Die Emissionen der Kernanlagen werden bilanziert. Daraus wird die Dosis für die Bevölkerung mit konservativen Annahmen berechnet. Damit wird geprüft, ob der Dosisgrenzwert für die Bevölkerung eingehalten wurde.  
Zusätzlich wird die Einhaltung des Dosisgrenzwertes indirekt mit dem Umgebungsüberwachungsprogramm nachgewiesen, indem die Einhaltung der Immissionsgrenzwerte und der Grenzwerte für Lebensmittel in der Umgebung einer Kernanlage überprüft werden. Dies erfolgt beispielsweise über Grasproben.

<sup>1</sup>Gemäss Suva-Statistiken sterben von 100 Waldarbeiter, die 50 Jahre gearbeitet haben, 2 bis 7 in ihrem Berufsleben.

- Dosisgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen:

Die Methoden zur Überwachung des Dosisgrenzwerts für beruflich strahlenexponierte Personen sind gesetzlich in der Dosimetrieverordnung geregelt. Die beruflich strahlenexponierten Personen tragen elektronische Dosimeter, die nach jedem Verlassen der kontrollierten Zone ausgelesen werden und amtliche Dosimeter, die monatlich ausgewertet werden. Zusätzlich werden beruflich strahlenexponierte Personen, die offenen radioaktiven Stoffen ausgesetzt waren, regelmässig Inkorporationsmessungen unterzogen.

### *Was geschähe bei einer Überschreitung der maximal tolerierten Strahlenbelastung?*

Der Strahlenschutz verlangt eine möglichst geringe Strahlenexposition für einzelne Tätigkeiten. Dazu legen die Funktionsträger im Strahlenschutz neben den Dosisgrenzwerten auch tiefere Richtwerte fest. Werden Richtwerte im Sinne einer maximal tolerierten Strahlenexposition überschritten, so werden stufengerechte Massnahmen ergriffen (z.B. Teamgespräche, Ermahnungen, Schulungen, Umgestaltung des Arbeitsplatzes oder Änderungen der Arbeitsabläufe).

Die Überschreitung eines Dosisgrenzwerts ist hingegen ein national und international meldepflichtiges Ereignis. Ursachenabklärung und Verbesserungsmaßnahmen sind vom Betreiber abzuleiten und durch das ENSI zu beurteilen. Bei grob fahrlässigem Handeln gibt es ein Strafverfahren.

*Warum wird im Sachplan als Kriterium ein Wert von 0,01 mSv pro Jahr festgelegt? Das ENSI erlaubt ja in seiner Richtlinie eine zehnmal grössere Dosis von 0,1 mSv pro Jahr.*

Die Eignung von Tiefenlager-Standorten wird anhand zweier radiologischer Kriterien bewertet. Das erste Kriterium ist das in ENSI-G03 festgelegte Schutzziel von 0,1 mSv pro Jahr, das zweite der aus der Strahlenschutzverordnung abgeleitete Wert von 0,01 mSv pro Jahr. Dieser zweite, tiefere Wert wird verwendet, da in der Strahlenschutzverordnung auf eine weitergehende Optimierung verzichtet wird, falls Personen eine effektive Dosis von weniger als 0,01 mSv pro Jahr akkumulieren. Dies erlaubt es, Standorte deren errechnete Dosismaxima unterhalb von 0,01 mSv pro Jahr liegen, als sicherheitstechnisch gleichwertig zu betrachten.

Das in der ENSI-Richtlinie G03 festgelegte Kriterium von 0,1 mSv pro Jahr ist im internationalen Vergleich als streng zu bewerten. Die IAEA empfiehlt beispielsweise Werte von höchstens 0,3 mSv pro Jahr für die Individualdosis. Man muss den Wert von 0,1 mSv pro Jahr mit der natürlichen Strahlendosis und deren räumlichen Schwankung vergleichen. Die durchschnittliche Jahresdosis der Bevölkerung in der Schweiz setzt sich aus rund 0,8 mSv pro Jahr aus kosmischer und terrestrischer Strahlung zusammen, 0,4 mSv pro Jahr erfolgen durch im Körper befindliche Radionuklide und 3,2 mSv pro Jahr durch Strahlung aus Radon und seiner Zerfallsprodukte in Wohnräumen. Eine jährliche Strahlendosis von 0,1 mSv entspricht somit etwa der in 2 Wochen aufgenommen natürlichen Dosis eines in der Schweiz lebenden Menschen. ■





## Literatur- und Quellenverzeichnis

### Literatur

- Bundesamt für Gesundheit, Aktionsplan Radium 2015 – 2019
- Bundesamt für Gesundheit, 20 Jahre nach Tschernobyl – Die Auswirkungen auf die Schweiz, Bern 2016
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Entsorgung von medizinischen Abfällen, Bern 2004
- Baggenstos, Martin, Zeller, Werner: Radioaktivität und Strahlenschutz, 1990, 2. Auflage 2007
- Egger, Emmanuel, Das Alpha, Beta und Gamma der Radioaktivität, 2011 in Bevölkerungsschutz: Zeitschrift für Risikoanalyse und Prävention, Planung und Ausbildung, Führung und Einsatz, Band (Jahr): 4 (2011), Heft 11
- Völkle, Hansruedi, 40 Jahre Überwachung der Radioaktivität in der Schweiz – Geschichte und Geschichten, Freiburg/Bern 1998

### Internet

- [www.bag.admin.ch](http://www.bag.admin.ch)
- [www.bernerzeitung.ch/region/seeland-jura/In-12-ehemaligen-Bieler-Ateliers-Radium-festgestellt/story/27017349](http://www.bernerzeitung.ch/region/seeland-jura/In-12-ehemaligen-Bieler-Ateliers-Radium-festgestellt/story/27017349)
- [www.derbund.ch/bern/region/Die-Schattenseiten-der-Leuchtfarbe/story/27460049](http://www.derbund.ch/bern/region/Die-Schattenseiten-der-Leuchtfarbe/story/27460049)
- [www.ensi.ch](http://www.ensi.ch)
- [www.gesundheit.ch](http://www.gesundheit.ch)
- [www.kernenergie.ch](http://www.kernenergie.ch)
- [www.nagra.ch](http://www.nagra.ch)
- [www.naz.ch/de/aktuell/tagesmittelwerte.shtml](http://www.naz.ch/de/aktuell/tagesmittelwerte.shtml)
- [www.win-swiss.ch/html/radioaktivitaet.htm](http://www.win-swiss.ch/html/radioaktivitaet.htm)

## Glossar

### Alphastrahlen

Alphastrahlen 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 nur gefährlich, wenn sie durch Atmung und Nahrung ins Körperinnere gelangen.

### Atom

Atome (altgrch. atomos «unteilbar») bestehen aus einem positiv geladenen Atomkern (bestehend aus Protonen und Neutronen) und einer Atomhülle aus negativ geladenen Elektronen. Atome sind die Grundbausteine der Materie und die kleinste Einheit, in die sich Materie mit mechanischen oder chemischen Mitteln zerlegen lässt.

Im Normalzustand sind Atome elektrisch neutral. Durch Entfernen oder Hinzufügen eines Elektrons bekommen sie eine Ladung. Dieser Prozess heisst Ionisierung, das entstehende Teilchen ist ein Ion.

### Atomkern

Der sich im Zentrum eines Atoms befindende, elektrisch positiv geladene Kern, in dem sich, trotz seines geringen Durchmessers von etwa 1/10'000 bis 1/100'000 des Durchmessers der Elektronenhülle, mehr als 99,9% der Masse des gesamten Atoms konzentriert. Atomkerne enthalten positiv geladene Protonen und ungeladene Neutronen. Die Anzahl der Neutronen in den Atomkernen eines Elements kann variieren, dabei handelt es sich um Isotope des Elements.

### Becquerel – Bq

Masseinheit für die Aktivität radioaktiver Stoffe. Gibt die Anzahl der Atome an, die pro Sekunde zerfallen. 1 Becquerel ist also ein Zerfall pro Sekunde. Die Einheit ist benannt nach dem französischen Physiker Antoine Henri Becquerel.

### Betastrahlen

Betastrahlen sind meistens Elektronen, die fast mit Lichtgeschwindigkeit aus zerfallenden Atomkernen austreten. Ihr Durchdringungsvermögen beträgt in der Luft einige Meter, bei Kunststoffen, Aluminium und im menschlichen Gewebe einige Millimeter. Sie führen zu einer

Hautdosis; Betastrahler sind bei Aufnahme in den Körper gefährlich.

### Dosimeter

Das Dosimeter ist ein Messgerät zur Bestimmung der Strahlendosis, welches in der Personendosimetrie auf dem Körper getragen wird.

### Dosis

In der Radiologie und der Nuklearmedizin (Diagnostik und Strahlentherapie) bezeichnet die Dosis die Menge der aufgenommenen Strahlung im Körper.

### Elektron

Das Elektron (altgr. élektron «Bernstein», an dem Elektrizität erstmals beobachtet wurde), ist ein negativ geladenes Elementarteilchen in der Atomhülle.

### Gammastrahlen

Gammastrahlen sind elektromagnetische Wellen und damit von gleicher Natur wie das sichtbare Licht und die Radiowellen. Sie sind kurzweilig, energiereich und bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit. Abgesehen von der Art ihrer Entstehung, sind sie mit den Röntgenstrahlen vergleichbar. Sie können je nach Energie nur durch zentimeterdicke Bleiwände oder dicke Betonmauern wirksam abgeschwächt werden.

### Halbwertszeit

Gibt an, wie lange es dauert, bis die Hälfte der instabilen, also radioaktiven Atome zerfallen ist. Nach dieser Zeitspanne hat sich auch die ionisierende Strahlung halbiert. Die nach einer Halbwertszeit verbliebene Menge einer Substanz halbiert sich im Lauf der nächsten Halbwertszeit wiederum, d.h. es verbleibt 1/4; nach 3 Halbwertszeiten 1/8, dann 1/16, 1/32, 1/64 und so weiter. Halbwertszeiten betragen Sekundenbruchteile bis mehrere Milliarden Jahre.

### Ion

Elektrisch geladenes Atom oder Molekül. Je nach Anzahl von Protonen und Elektronen, sind Ionen entweder positiv (bei Elektronenmangel) oder negativ (bei Elektronenüberschuss) geladen.

### **Ionisierende Strahlung**

Ionisierende Strahlung ist eine Bezeichnung für jede Teilchenstrahlung, die aus Atomen Elektronen entfernen kann, so dass positiv geladene Ionen oder Molekülreste zurückbleiben (Ionisation). Für sie wird manchmal die umgangssprachliche Bezeichnung radioaktive Strahlung gebraucht.

### **Nuklid**

Bezeichnet in der Kernphysik einen Atomkern, der durch eine bestimmten Zahl von definiert ist. Verschiedene Nuklide von ein und demselben chemischen Element mit gleicher Anzahl Protonen, aber unterschiedlicher Anzahl Neutronen werden

### **Plutonium**

Das spaltbare Plutonium-239 kommt in der Natur in verschwindend kleinen Mengen vor. Es bildet sich durch Neutroneneinfang aus Uran-238. Plutonium entsteht in grösseren Mengen bei der Kernspaltung in Kernreaktoren.

### **Proton**

Elementarteilchen mit positiver elektrischer Ladung. Protonen bilden zusammen mit Neutronen und Elektronen die Bestandteile eines Atoms.

### **Radioaktive Abfälle**

Radioaktive Stoffe, die nach derzeitigem Stand der Technik nicht mehr genutzt werden können oder aufgrund politischer Vorgaben nicht mehr genutzt werden dürfen.

### **Radioaktivität**

Radioaktivität ist eine Eigenschaft gewisser (instabiler) Atomkerne, sich ohne äussere Einflüsse spontan umzuwandeln und dabei ionisierende Strahlung zu emittieren.

### **Radium**

Radium entsteht in der Zerfallsreihe von Uran und kommt deshalb stets zusammen mit Uran vor.

### **Radon**

Radon ist als radioaktives Edelgas ein Bestandteil der Luft und hat am natürlichen Strahlungsaufkommen auf der Erdoberfläche den grössten Anteil. Die durchschnittliche effektive Dosis pro Person beträgt ca. 3,2 Millisievert pro Jahr (mSv pro Jahr). Es entsteht beim Zerfall von Uran im Erdreich.

### **Röntgenstrahlung**

Röntgenstrahlen liegen im elektromagnetischen Spektrum zwischen dem ultravioletten Licht und der Gammastrahlung, mit der sie sich teilweise überschneiden. Röntgenstrahlung entsteht, wenn die Elektronen eines Atoms Energie abgeben. Gammastrahlen dagegen entstehen bei Kernzerfällen.

### **Sievert – Sv**

Sievert misst die Auswirkung der Strahlung auf den Körper.

### **Strahlenschutz**

Unter Strahlenschutz versteht man den Schutz von Mensch und Umwelt vor den schädigenden Wirkungen ionisierender und nicht ionisierender Strahlung aus natürlichen und künstlichen Strahlenquellen.

### **Transurane**

Die Transurane sind die Elemente mit einer höheren Ordnungszahl als Uran (grösser als 92). Alle Transurane sind radioaktiv mit Halbwertszeiten zwischen einigen 10'000'000 Jahren (selten, z.B. Plutonium-244) über Minuten bis zu Bruchteilen einer Sekunde (häufig).

### **Uran**

Uran (benannt nach dem Planeten Uranus) ist ein chemisches Element mit dem Elementsymbol U und der Ordnungszahl 92. Uran ist ein Metall, dessen sämtliche Isotope radioaktiv sind. Natururan besteht zur Hauptsache aus dem nicht spaltbaren Isotop Uran-238 (mit einem Anteil von 99,2739 %) und dem spaltbaren Uran-235 (0,7205 %). Uran-235 ist die einzige bekannte, natürlich vorkommende Substanz, die zu einer Kernspaltungs-Kettenreaktion fähig ist. ■

---

Forum VERA  
Waisenhausplatz 14  
3000 Bern 7  
[info@forumvera.ch](mailto:info@forumvera.ch)