

Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 2002 : Überblick = Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnement en Suisse pour 2002 : vue d'ensemble = Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera nel 2002 : riassunto =...

Objektyp: **Group**

Zeitschrift: **Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz = Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse = Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera**

Band (Jahr): - **(2002)**

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

A

Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 2002: Überblick

H. Völkle

Sektion Überwachung der Radioaktivität (SUER)
Bundesamt für Gesundheit, Chemin du Musée 3, 1700 FRIBOURG
(Auskünfte: Tel. 026 300 9161; e-mail: hansruedi.voelkle@bag.admin.ch)

Zusammenfassung ¹⁾

In diesem Kapitel sind die Ergebnisse der Radioaktivitätsüberwachung in der Umwelt von 2002 zusammengefasst:

- 1) Umweltradioaktivität,
- 2) externe Strahlung,
- 3) Strahlendosen.

Beim Messprogramm, der Wahl der Probenahmestellen und Analyseverfahren wird auf Redundanz geachtet, um alle Quellen natürlicher und künstlicher Radioaktivität zu erfassen und um die wichtigsten Transport- und Anreicherungs Vorgänge in der Umwelt zu berücksichtigen. Das Messprogramm geht daher über ein reines Monitoringprogramm hinaus und umfasst auch transdisziplinäre Projekte. Bezugsgrössen für die Bewertung der Ergebnisse sind die Dosis- und Immissionsgrenzwerte der Schweizer Strahlenschutzverordnung (StSV) von 1994 und die Toleranz- und Grenzwerte für Lebensmittel der Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe (FIV).

Die Berechnung der Strahlendosen der Bevölkerung basiert auf den Modellen und Dosisfaktoren der StSV, die sich auf die Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) abstützt und für Personen mit durchschnittlichen Lebens- und Ernährungsgewohnheiten gilt.

Für Bestrahlungen, die nicht gleichmässige über den ganzen Körper verteilt sind, empfiehlt die ICRP Strahlenrisiko-Faktoren für die verschiedenen menschlichen Organe. Diese berücksichtigen:

- 1) Tod durch Krebserkrankung,
- 2) Verminderung der Lebenserwartung (vorzeitiger Tod) als Folge einer Krankheit,
- 3) Verminderung der Lebensqualität infolge einer Krebserkrankung,
- 4) genetisch bedingte Leiden.

Diese Risikofaktoren basieren hauptsächlich auf den Untersuchungen an den Überlebenden der

Atombombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki. Sie setzen voraus, dass die Strahlenschädigungen linear vom tiefsten Dosisbereich bis zu hohen Dosen zunehmen. Diese Annahme ist für den tiefen Dosisbereich nicht verifizierbar. Sie basiert weitgehend auf der anerkannten Tatsache, dass auch kleine Dosen Zellschädigungen bewirken, die zu Erkrankungen führen können. Es ist sinnvoll, diese zu den ohnehin vorhandenen spontanen Schädigungen, welche die spontanen Krebserkrankungen auslösen, hinzuzurechnen.

In der Schweiz lagen die Radioaktivitätswerte in der Umwelt sowie die Strahlendosen der Bevölkerung aus künstlichen Strahlenquellen bisher immer weit unter den gesetzlichen Limiten, und das entsprechende Strahlenrisiko ist daher klein. Anders ist es beim Radon, einer natürlichen Strahlenquelle, dessen erhöhte Werte in Wohnräumen (s. Kap. 2) wahrscheinlich für einige Prozente der in der Schweiz auftretenden Lungenkrebstodesfälle verantwortlich sind.

1. Radioaktivität in der Umwelt

1.1. Luft ²⁾

Künstliche Radionuklide in der Luft wie ¹³⁷Cs (unter 0.1 mBq/m³), ²³⁹Pu und ²⁴¹Am sind - wenn überhaupt - nur in Spuren nachweisbar. So wurden in Klingnau/AG Spuren von ⁶⁵Zn und ^{110m}Ag von der PSI-Verbrennungsanlage und beim CERN von ²⁴Na von dessen Beschleunigern festgestellt. ⁸⁵Kr aus der Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoff (in Europa die Anlagen La Hague/F und Sellafield/GB) mit im Mittel 1.3 Bq/m³ zeigt in den letzten Jahren eine steigende Tendenz. Tritium (³H) weist in der Nahumgebung von Betrieben, die dieses Nuklid verarbeiten, in der Luftfeuchte bis rund 20 Bq/m³ auf, das ist ein Prozent des Immissionsgrenzwertes gemäss StSV. Das automatische Überwachungsnetz RADAIR für die Radioaktivität der Luft

¹⁾ **Hinweise** auf Kapitel im Teil B oder in früheren Jahresberichten sind in eckigen, solche für den Teil A in runden Klammern angegeben. **Einheiten** siehe Seite A6.

²⁾ Luft siehe: [Kap. 4.1 und 7.1; für Pu und Am: 7.2]

funktioniert 2002 zufriedenstellend, bei einer Verfügbarkeit von 96 bis 99 Prozent und zeigte keine erhöhten Werte.

Der Hauptteil der Radioaktivität der Luft - vor allem im Hausinnern - besteht aus dem natürlichen Edelgas **Radon**³⁾. Dieses dringt vorwiegend aus dem Bauuntergrund, entsprechend dessen Gasdurchlässigkeit, in die Gebäude ein. Baumaterialien und Wasser führen dagegen in der Schweiz nicht zu erhöhten Radonkonzentrationen. Die radioaktiven Tochternuklide des Radon können durch ihre Alphastrahlung Lungenkrebs auslösen. Die Schweizer Radon-Datenbank enthält Messwerte aus rund 47'000 Häusern, insgesamt 91'000 Messwerte, davon 53'500 aus bewohnten Räumen. In 1960 der untersuchten Wohnräumen ist (ohne die bereits sanierten Gebäude) der Richtwert (400 Bq/m³) und in 590 der Grenzwert (1'000 Bq/m³) überschritten. Regionen mit einem Mittelwert über 200 Bq/m³ oder mit mindestens einer Grenzwertüberschreitung werden als "Radongebiete" bezeichnet. Erfasst wurden bisher 2680 der insgesamt 2900 Gemeinden der Schweiz; dies entspricht einer Abdeckung von 94 Prozent. Nach Korrektur bezüglich Stockwerk und regionaler Bevölkerungsverteilung ergibt sich für bewohnte Räume ein arithmetisches Mittel von 75 Bq/m³ bei einem Medianwert von 50 Bq/m³. Erhöhte Radonkonzentrationen treten vor allem in den Kantonen Graubünden, Tessin, Neuenburg und Jura auf, vereinzelt auch im Mittelland. Häusern mit erhöhten Radonwerten - in der Schweiz sind es einige Tausend - werden mit bautechnischen Massnahmen saniert. Solche wurden in einigen Gebäuden vor allem Schulen und Kindergärten bereits durchgeführt.

1.2. Niederschläge⁴⁾

In den Niederschlägen dominiert **Tritium** (³H) mit heute noch wenigen Bq/l, im Einflussbereich von Industriebetrieben und Kernanlagen bis 12 Bq/l. Dessen durch die kosmische Strahlung erzeugter natürlicher Anteil beträgt wenige Zehntel Bq/l. In unmittelbarer Nähe von Tritium-verarbeitenden Betrieben oder Kehrrechtverbrennungsanlagen wurden bis gegen 1800 Bq/l gemessen. Der Immissionsgrenzwert für öffentliche Gewässer beträgt gemäss StSV 12'000 Bq/l; der Toleranzwert für Trinkwasser gemäss FIV 1'000 Bq/l.

Weitere **künstliche Radionuklide**, wie ¹³⁷Cs ergaben in allen Monatsproben weniger als einige mBq/l. Das natürliche, durch die kosmische Strahlung erzeugte ⁷Be lag zwischen 0.1 und 1.5 Bq/l.

1.3. Gewässer

In den Flüssen beträgt der **Tritiumgehalt** in der Regel ebenfalls wenige Bq/l. Eine Ausnahme bildete der Rhein unterhalb Basel, wo im April ein Wert von 8 Bq/l festgestellt wurde, der auf Abgaben Tritiumhaltiger Abwässer aus dem KKW Gösigen, allerdings im Rahmen der erlaubten Limiten, zurückzuführen ist (siehe Seite. B.8.0.1). In den industrialisierten Regionen ist ein Einfluss lokaler Emittenten zu erkennen. Die Tritiumimmissionen aus der Uhrenindustrie in der Region La Chaux-de-Fonds haben in den letzten Jahren abgenommen, da einerseits die Verwendung von Tritium für Leuchtziffern bei Uhren abgenommen hat und andererseits Tritium-haltige Abfälle eingesammelt werden und damit weniger in die regionale Kehrrechtverbrennungsanlage gelangen.

In Monatssammelproben aus den Flüssen Aare, Rhein, Rhone und Ticino lag die künstliche Radioaktivität 2002 ausser jener von Tritium unter 7 mBq/l. Oberhalb Kernanlagen ist als künstliches Radionuklid nur ¹³⁷Cs vom Fallout und von Tschernobyl festgestellt worden⁵⁾, unterhalb auch Spuren von ⁵⁸Co und ⁶⁰Co, vereinzelt auch ⁵⁴Mn.

Sedimentproben aus den Flüssen unterhalb der Kernanlagen erlauben die flüssigen Abgaben der Kernkraftwerke (⁵⁴Mn: bis 6 Bq/kg, ⁶⁰Co: bis 56 Bq/kg, ⁵⁸Co: bis 4 Bq/kg und ¹³⁷Cs: bis 22 Bq/kg) und den Eintrag durch den Reaktorunfall Tschernobyl zu bilanzieren⁶⁾.

Abwässer der **Kläranlagen** der grösseren Agglomerationen weisen vereinzelt Spuren von ¹³¹I aus der Nuklearmedizin auf (< 1.5 Bq/l), sowie Tritium bis gegen 500 Bq/l, letzteres aus industriellen Anwendungen oder von Tritium-Uhren oder Tritiumhaltige Abfällen, die in den Kehrrecht gelangen. Bei der ARA La Chaux-de-Fonds hat der Tritiumabfluss in den letzten Jahren stetig abgenommen und betrug 2002 noch 1.9 TBq, während er 1990 noch 42 TBq betrug. 2002 wurden in den Betrieben der Stadt La Chaux-de-Fonds noch 13.5 TBq ³H verarbeitet⁷⁾.

1.4. Erdboden⁸⁾

Im Erdboden, einem guten Integrator für sämtliche Ablagerungen aus der Luft, variieren die natürlichen Zerfallsreihen von Uran (25-60 Bq/kg) und Thorium (15-40 Bq/kg) je nach geologischem Untergrund, beim ebenfalls natürlichen ⁴⁰K (200-1'000 Bq/kg) spielt auch die Verwendung von Kalidünger eine Rolle. Die künstlichen Radionuklide zeigen ebenfalls regionale Unterschiede, die mit den Ab-

3) Radon siehe: [Kap. 2]

4) Regen siehe: [Kap. 4.1, 7.1 und 9.1.]

5) siehe: [Kap. 4.2 und 4.4]

6) siehe: [Kap. 4.2 und 4.4]

7) siehe: [Kap. 4.1, 4.2 und 9.1]

8) Erdboden siehe: [Kap. 4.3 und 7.2]

lagerungen aus den oberirdischen Kernwaffenversuchen und dem Reaktorunfall Tschernobyl zusammenhängen. Dabei ist der Tschernobyl-Anteil heterogener verteilt als jener des Bomben-Fallout, was mit den unterschiedlichen Niederschlagsmengen zur Zeit dieses Unfalls zusammenhängt. Stärker betroffen waren das Tessin und die Bündner Südtäler, in geringerem Ausmass auch der Jura und Teile der Nordostschweiz. In den Alpen und Südalpen sind die Werte von ^{137}Cs (bis 200 Bq/kg) und ^{90}Sr (bis 20 Bq/kg) immer noch höher als im Mittelland. Erdproben aus der Gegend von Studen/SZ im oberen Sihltal ergaben bis 165 Bq/kg ^{137}Cs , 6.9-13.4 Bq/kg ^{90}Sr , 0.9-2.1 Bq/kg $^{239-240}\text{Pu}$ und 0.33-0.79 Bq/kg ^{241}Am . Ein Einfluss der Emissionen der Kernanlagen konnte im Boden nicht festgestellt werden. Bei den künstlichen Alphastrahlern ergaben $^{239/240}\text{Pu}$ 0.02 bis 1.6 und ^{241}Am 0.01 bis 1.5 Bq/kg T.S (T.S. = Trockensubstanz); wobei die Messwerte im Mittelland tiefer sind als jene von Jura und Alpen. Das Verhältnis $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ betrug im Mittel 0.028, jenes von $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ 0.41.

1.5. Pflanzen und Lebensmittel ⁹⁾

In **Gras-** und Lebensmittelproben dominiert das natürliche ^{40}K . Künstliche Radionuklide wie ^{137}Cs oder ^{90}Sr vom Reaktorunfall Tschernobyl bzw. den Kernwaffen-Versuchen welche die Pflanzen über die Wurzeln aufnehmen, sind nur noch in Spuren vorhanden. Ein Einfluss der Schweizer Kernanlagen oder Forschungsbetriebe ist nicht feststellbar. Die regionale Verteilung der Aktivitäten entspricht jener im Erdboden mit bis 26 Bq/kg T.S. für ^{137}Cs im Tessin und bis 17 bzw. 39 Bq/kg T.S. für ^{90}Sr im Tessin bzw. in den Alpen. Bei der **Milch** lag der ^{137}Cs -Gehalt (ausser im Tessin mit einem Maximum von 19 Bq/l) durchwegs unter 2 Bq/l. Der ^{90}Sr -Gehalt betrug im Mittelland und Jura zwischen 0.02 und 0.16 Bq/l, in den Alpen zwischen 0.5 und 2.2 und im Tessin zwischen 0.2 und 0.4 Bq/l. Sechzehn **Getreideproben** ergaben für ^{137}Cs weniger als 0.6 und für ^{90}Sr zwischen 0.2 und 0.8 Bq/kg.

Bei den einheimischen **Pilzen** zeigen nach wie vor u.a. Röhrlinge teilweise erhöhte Werte bis rund 300 Bq/kg Frischgewicht mit abnehmendem Trend. Es lagen keine Messwerte über dem Toleranzwert von 600 Bq/kg vor. Dies trifft auch zu für die importierten Pilze, deren ^{137}Cs -Werte bei maximal 530 Bq/kg lagen (Semmelstoppelpilze). Für Pilzimporte wird nach wie vor ein Radioaktivitätszertifikat verlangt.

Importiertes **Wild** (Reh und Hirsch) ergab noch bis 32 Bq/kg ^{137}Cs . Bei den 188 im Winter 2002/03 im Tessin geschossenen Wildschweinen wurde vor

Ort mit einem Dosisleistungsmessgerät eine Triagemessung durchgeführt, damit der Kantonsveterinär über deren Freigabe entscheiden konnte. Bei einem Tier, dessen Messwert deutlich höher war als die übrigen und daher beschlagnahmt werden musste, ergab die Messung im Labor 6950 Bq/kg ^{137}Cs . Bei den übrigen Tieren lag der Messwert deutlich tiefer, sodass keine Massnahme erforderlich war.

1.6. Kohlenstoff-14 in Pflanzen ¹⁰⁾

^{14}C wird bei der Assimilation von Kohlensäure von den Pflanzen aus der Luft während der Wachstumsphase aufgenommen. Gegenüber dem natürlichen, durch die kosmische Strahlung erzeugten ^{14}C führten die Kernwaffenversuche in den 60er-Jahren zu einer Verdoppelung. Dieser Anteil beträgt heute noch etwa 80 % und wird an der Referenzstation in der Nähe von Bern gemessen. Baumblätter aus der Umgebung der beiden Siedewasserreaktoren Mühleberg und Leibstadt zeigen eine zusätzliche Erhöhungen um 40 – 240 %. In Nähe der Druckwasserreaktoren Beznau und Gösgen, des PSI und in Umgebung des Verbrennungsofens der NOVARTIS in Basel sind keine Erhöhungen gegenüber der Referenzstation feststellbar, dagegen im ehemaligen SANDOZ-Areal und bei der ROCHE bis 330 %. Der durch die kosmische Strahlung erzeugte natürliche ^{14}C -Anteil in Pflanzen beträgt 227 Bq/kg ^{14}C und führt zu 0.013 mSv pro Jahr. Eine zusätzliche ^{14}C -Aktivität von 100 % führt zu einer maximalen (effektiven) Dosis von etwa 1 micro-Sv pro Jahr.

1.7. Radionuklide im menschlichen Körper ¹¹⁾

Ganzkörpermessungen und ^{90}Sr -Bestimmungen an Milchzähnen und Wirbelknochen erfassen die Aufnahme von Radionukliden über die Nahrung. Ganzkörpermessungen an Personen aus Basel ergaben eine ^{137}Cs -Aktivitäten bis 23 Bq bei den Frauen und bis 38 Bq bei den Männern. Von den 595 Personen die am PSI im Rahmen der Personenüberwachung gemessen wurden, lag der Maximalwert bei 300 Bq, wobei jedoch 96.6 Prozent unter der Erkennungsgrenze von 60 Bq lagen. Das natürliche ^{40}K beträgt bei den Frauen rund 3300 Bq und bei den Männern rund 4500 Bq. In menschlichen Wirbelknochen und Milchzähnen betrug der ^{90}Sr -Gehalt noch 0.03 Bq/g Ca.

¹⁰⁾ ^{14}C -Messungen siehe: [Kap. 7.1]

¹¹⁾ Radionuklide im Körper siehe: [Kap. 6.1 und 6.2]

⁹⁾ Gras bzw. Lebensmittel siehe: [Kap. 4.3 bzw. 5.1]

2. Externe Strahlendosen

2.1. Natürliche Strahlung

Die Hauptbeiträge zur externen Strahlendosis sind die terrestrische und die kosmische Strahlung. Erstere kommt von den natürlichen Radionukliden in Erdboden und in Baustoffen, letztere hängt von der Höhe ü.M. ab, da sie durch die Lufthülle der Erde geschwächt wird ¹²⁾.

Die Dosisleistung im Freien liegt in der Schweiz im Mittel bei 90 nSv/h, und variiert zwischen 40 nSv/h und etwa 230 nSv/h. Im Hausinnern ist die Dosis infolge der natürlichen Radionuklide in Baustoffen etwa 10 Prozent höher als im Freien.

2.2. Künstliche Radioaktivität

Der radioaktive Ausfall nach dem Reaktorunfall Tschernobyl vom April 1986 und den oberirdischen Kernwaffenversuchen tragen - mit Ausnahme des Tessins, wo sie noch bis 30 Prozent ausmachen - heute nur noch wenige Prozente zur externen Dosisleistung bei ¹³⁾.

An einigen Stellen an der Umzäunung der Kernkraftwerke Mühleberg und Leibstadt (¹⁶N-Strahlung aus dem Siedewasserreaktor), des PSI und des CERN treten zeitweise infolge Direktstrahlung bis einige 100 nSv/h auf. Da sich Personen jedoch nur kurze Zeit an diesen Stellen aufhalten, sind die daraus resultierenden Personendosen unbedeutend ¹⁴⁾.

2.3. Aeroradiometrie ¹⁵⁾

Mit einem NaI-Gamma-Spektrometer an Bord eines Armee-Helikopters werden jedes Jahr ausgewählte Regionen aus der Luft vermessen. Die zu untersuchenden Gebiete werden in einem Raster aus parallelen Fluglinien in einer Höhe von rund 100 m abgeflogen. Das Auswertprogramm erstellt danach eine Strahlenkarte des beflogenen Gebietes. Mit diesem Messgerät, dessen Einsatz von der NAZ koordiniert wird, kann nach einem Unfall rasch eine Karte eines kontaminierten Gebietes erstellt werden; es kann auch zur Suche nach verlorenen Strahlenquellen eingesetzt werden.

Im Berichtsjahr wurden Messflüge in der Umgebung der Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt sowie beim Paul Scherrer Institut durchgeführt. Die Resultate zeigten keine erhöhte Radioaktivität im Vergleich zu früheren Jahren. Bei einer interna-

ionalen Messübung (ECCOMAGS) im Südwesten Schottlands im Sommer 2002 erhielten die ausländischen Messteams (mit militärischen Helikoptern) vom englischen Verteidigungsministerium keine Flugerlaubnis, sodass die geplanten Messungen nicht durchgeführt werden konnten.

3. Strahlendosen der Bevölkerung

3.1. Natürliche und kosmische Strahlung

Radon (²²²Rn) und seine Folgeprodukte in Wohn- und Arbeitsräumen ergeben den grössten Beitrag zur Strahlendosis. Dieses ist von seiner Entstehung her zwar natürlich, die erhöhten Konzentrationen im Hausinnern sind jedoch zivilisationsbedingt. Die in der Schweiz bis 2002 durchgeführten Erhebungen in rund 47'000 Häusern ergeben ein gewichtetes arithmetisches Mittel von 75 Bq/m³ (Medianwert 50 Bq/m³). Unter der Annahme einer Aufenthaltsdauer im Wohnbereich bzw. am Arbeitsplatz von 7000 bzw. 2000 Stunden pro Jahr und den Dosisfaktoren 2.44*10⁻⁶ bzw. 3.17*10⁻⁶ mSv pro Bq/m³ und Stunde ¹⁶⁾ erhält man für die Schweizer Bevölkerung eine durchschnittliche Radondosis von rund 1.6 mSv pro Jahr. Darin inbegriffen ist ein Zuschlag von 10 Prozent durch das kurzlebige natürliche radioaktive Edelgas Thoron (²²⁰Rn). Bei 1 bis 2 Prozent der Bevölkerung liegt die Dosis bei 10 mSv pro Jahr, bei 0.2 Prozent bei 25 mSv pro Jahr. Gemäss konservativen Schätzungen dürfte Radon einige Prozent der Lungenkrebstodesfälle verursachen.

Natürliche Radionuklide gelangen auch über die Nahrung in den Körper und führen durchschnittlich zu etwa 0.38 mSv, wobei ⁴⁰K rund die Hälfte davon ausmacht. Der Rest kommt von den Nukliden der natürlichen Zerfallsreihen Uran und Thorium sowie von den kosmogenen Radionukliden Tritium, ¹⁴C, ⁷Be etc.

Natürliche Radionuklide im Boden tragen auch zur externen Strahlendosis bei. Ihr Beitrag hängt stark vom lokalen Radionuklidgehalt des Bodens und den Lebensgewohnheiten ab. Die natürliche terrestrische Strahlendosis im Freien, liegt in den bewohnten Regionen der Schweiz zwischen 0.35 und etwa 0.8 mSv/Jahr. Hinzu kommt der Beitrag durch die kosmische Strahlung, der mit der Höhe über Meer zunimmt: z.B. Locarno 0.35, Zürich 0.4 und St. Moritz 0.75 mSv/Jahr. Im Hausinnern ist die Dosis etwa 10 Prozent höher als im Freien. Die gesamte Jahresdosis aus natürlichen Quellen beträgt rund 3 mSv.

¹²⁾ Kosmische Strahlung siehe auch Jahresbericht 1999 Kap. 10.3:

http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_d.pdf

¹³⁾ Dosismessungen siehe: [Kap. 3.1 und 3.2]

¹⁴⁾ Messungen Umgebung der KKW siehe: [Kap. 8.3]

¹⁵⁾ Zur Aeroradiometrie siehe: [Kap. 3.3]

¹⁶⁾ vergleiche Jahresbericht 1993 Seite B.2.3

Natürliche Strahlenquellen (mSv/Jahr)

Quelle	Mittel	Wertebereich
externe Bestrahlung	0.9 ¹⁷⁾	0.5 – 2.0
Nahrung	0.4 ¹⁸⁾	0.2 – 0.5
Radon im Wohnbereich	1.6	0.3 – über 20 ¹⁹⁾
Summe	3	1 bis über 20

3.2. Dosen durch künstliche Radioaktivität

Bei der **externen Strahlendosis** stammt der grösste Teil von medizinischen Anwendungen sowie aus der beruflichen Strahlenexposition in Kernkraftwerken, Industrien, Handel, öffentlichem Dienst, Forschung und Medizin und den sogenannten "Kleinquellen". Die letzteren sind Konsumgüter und Gebrauchsgegenstände, die geringe Mengen an Radioaktivität enthalten. Der Anteil der künstlichen Radionuklide im Boden an der externen Dosis kann nur approximativ angegeben werden. Bei dauerndem Aufenthalt im Freien erhält man unter konservativen Annahmen zwischen 0.01 und 0.5 mSv pro Jahr. Dieser grosse Streubereich ist eine Folge der regionalen Unterschiede bei der ¹³⁷Cs-Ablagerung nach dem Reaktorunfall Tschernobyl. Die Schweizer Kernkraftwerke, das PSI und das CERN tragen dazu nicht wesentlich bei.

Die **interne Strahlendosis** wird durch künstliche Radionuklide - hauptsächlich ¹³⁷Cs und ⁹⁰Sr - in der Nahrung verursacht. Ganzkörpermessungen an Schulklassen ergaben Dosen durch inkorporiertes ¹³⁷Cs von weniger als 1 micro-Sv pro Jahr.

Gesamthaft beträgt die Strahlendosis durch **künstliche Radioaktivität** - ohne Medizin und Kleinquellen - für die Mehrheit der Schweizer Bevölkerung 0.01 bis 0.05, in Einzelfällen bis 0.1 mSv pro Jahr.

Unfall Tschernobyl Auswirkungen auf die Schweiz siehe:

<http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/cherno2003.pdf>

¹⁷⁾ davon kosmische Strahlung auf 300 m 0.35 mSv/Jahr. Ein Flug Schweiz-Nordamerika ergibt zusätzlich 0.04 mSv; Flugpersonal und Vielflieger erhalten zusätzlich etwa 3 mSv/Jahr; siehe auch Jahresbericht 1999: Kap. 10.3: http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_d.pdf

¹⁸⁾ davon in micro-Sv pro Jahr: ⁴⁰K = 200; ⁸⁷Rb = 6; ³H = 0.01; ⁷Be = 3; ¹⁴C = 12; ²²Na = 0.2; U, Th und Ra = 30; ²¹⁰Pb + ²¹⁰Bi + ²¹⁰Po = 120 micro-Sv/Jahr

¹⁹⁾ bei 1 bis 2 % der Bevölkerung über 10 mSv und bei 0.2 % über 25 mSv pro Jahr.

Künstliche Strahlenquellen (mSv/Jahr)

Quelle		Mittel	Wertebereich
Medizin	Röntgendiagnostik ²⁰⁾	1	0 – 30
	Nuklearmedizin ²¹⁾	0.04	0 – 80
"Kleinquellen"	radioaktive Stoffe in Gebrauchsgegenständen und Konsumgütern ²²⁾	0.1	0 - ?
grossräumig verbreitete künstliche Radioaktivität	Tschernobyl	0.01	bis 0.5
	Kernwaffenfallout	< 0.01	
	⁸⁵ Kr aus der Wiederaufarbeitung	0.02	
radioaktive Immissionen	Betriebe und Kernanlagen	≈ 0	bis 0.015
Berufliche Strahlenexposition	65'079 beruflich strahlenexponierte Personen ²³⁾	0.07	< 20 ^{*)} 98. % < 1

*) ein Wert zwischen 20 und 50

Einige Beispiele (mSv/Jahr)

¹³⁷ Cs in Milch	1 l/Tag mit 10 Bq/l (= TW)	0.05
¹³⁷ Cs in Wild-Pilzen	200 g/Woche mit 600 Bq/kg (=TW)	0.09
²²⁶ Ra im Mineralwasser	1l/Tag mit 1 Bq/l (= GW)	0.08
¹⁴ C im Gemüse	200 g Gemüse pro Tag aus Nähe der RSVA Basel ²⁴⁾	0.002
³ H im Regenwasser als Trinkwasser verwendet	2.2 l/Tag aus Umgebung eines tritiumverarbeitenden Betriebes (1000 Bq/l)	0.01
¹³⁷ Cs im Erdboden im Tessin	Arbeiten während eines Jahres in einem Feld mit der höchsten Cs-Belastung im Tessin	0.1
Direktstrahlung (Umgebung eines KKW)	1 Std/Tag am Zaun des KKW	0.1

(GW=Grenzwert bzw. TW=Toleranzwert nach FIV)

²⁰⁾ Erhebung IRA/BAG 1996-99; siehe Jahresbericht 1999: Kap. 10.1; http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_d.pdf

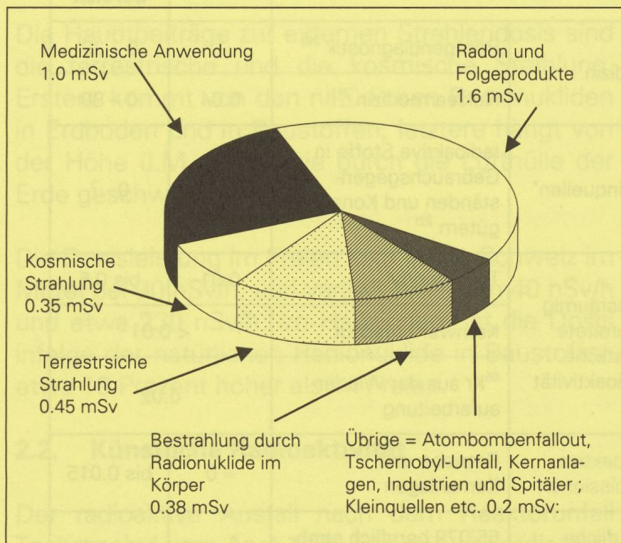
²¹⁾ Erhebung von 1989/90, J. Roth, Kantonspital Basel-Stadt

²²⁾ z.B. Uhren mit Tritium-Leuchtziffern, natürliche Radionuklide in Fliesen, Th in Glühstrümpfen oder Zahnkeramik, Ionisations-Rauchmelder, ²¹⁰Po im Zigarettenrauch, etc.

²³⁾ in KKW, Medizin, Forschung, Industrie und öffentlichen Diensten. Quelle: Dosimetriebericht BAG 2002, siehe auch: <http://www.bag.admin.ch/strahlen/ionisant/dosimetrie/pdf/2002-df.pdf>

²⁴⁾ Regionale Sondermüll-Verbrennungsanlage Basel-Stadt

Durchschnittliche Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung in mSv/Jahr (Summe: 4 mSv/Jahr):



Präfixe und ihre Bedeutung

fBq	femto	10 ⁻¹⁵
pBq	pico	10 ⁻¹²
nBq	nano	10 ⁻⁹
µBq	micro	10 ⁻⁶
mBq	milli	10 ⁻³

kBq	kilo	10 ³
MBq	Mega	10 ⁶
GBq	Giga	10 ⁹
TBq	Tera	10 ¹²
PBq	Peta	10 ¹⁵

4. Definitionen, Einheiten und Vorschriften

Radioaktivität ist eine Eigenschaft instabiler Atomkerne, sich ohne äussere Einwirkung umzuwandeln (radioaktiver Zerfall) und dabei eine charakteristische (ionisierende) Strahlung in Form von Alpha- oder Beta-Teilchen sowie Gamma-Quanten auszusenden. Natürliche radioaktive Stoffe kommen in der Umwelt seit jeher vor; künstliche wurden bei Kernwaffenexplosionen freigesetzt, können aber auch aus Kernanlagen, sowie Betrieben und Spitälern, die Radionuklide verarbeiten, stammen.

Die **Radioaktivität** einer Substanz wird in Becquerel (Bq) angegeben. 1 Bq entspricht einem radioaktiven Zerfall pro Sekunde. Die Präfixe und ihre Bedeutung sind in der Tabelle auf dieser Seite angegeben. Früher wurde die Einheit Curie (Ci) verwendet, mit 1 nCi = 37 Bq bzw. 1 Bq = 27 pCi.

Um das **Strahlenrisiko** der Bevölkerung zu bewerten, wird die **effektive Dosis (E)** in mSv oder µSv bestimmt. Diese berücksichtigt, dass die Organe des Menschen eine unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit haben und die verschiedenen Strahlenarten unterschiedlich biologisch wirksam sind. Die Bestimmung der effektiven Dosis geht von der in den einzelnen Organen absorbierten Strahlungsenergie (*Energiedosis*) aus. Diese wird mit einem Faktor gewichtet, der die Ionisierungsdichte der Strahlung berücksichtigt (*Strahlenwichtungsfaktoren w_R*). Für die effektive Dosis werden die Einzeldosen aller bestrahlten Organe, gewichtet mit ihrer Strahlenempfindlichkeit summiert (*Gewebewichtungsfaktoren w_T*). Dies liefert eine theoretische Ganzkörperdosis, die das gleiche Strahlenrisiko verursacht, wie die einzelnen Organdosen. Die einzelnen Zwischenstufen, Energiedosis D, Äquivalentdosis H, sowie die verwendeten Wichtungsfaktoren werden auf Seite C-1 erläutert.

Gemäss **Strahlenschutzverordnung (StSV)** dürfen die Dosen für die Bevölkerung durch zivilisationsbedingte Radioaktivität und Strahlung in der Umwelt - jedoch ohne Radon und medizinische Anwendungen - 1 mSv pro Jahr nicht übersteigen, jene für beruflich strahlenexponierte Personen 20 mSv pro Jahr. Für Luft und Wasser im öffentlich zugänglichen Bereich legt die Verordnung Immissionsgrenzwerte fest, deren Ausschöpfen bei Dauerbelastung über Trinkwasser und Atemluft zu je rund 0.2 mSv pro Jahr führt. Für die Direktstrahlung gilt ein Grenzwert von 5 mSv pro Jahr im öffentlich zugänglichen Bereich, bzw. 1 mSv pro Jahr in Wohn-, Aufenthalts- und Arbeitsräumen. Toleranz- und Grenzwerte für Radionuklide in Lebensmitteln werden in der Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe (FIV) publiziert. Für den Strahlenschutz relevant ist der Grenzwert, während der Toleranzwert ein reines Qualitätskriterium ist, das noch kein Gesundheitsrisiko darstellt. Radioaktive Stoffe dürfen nur kontrolliert an die Umwelt abgegeben werden, wobei von der Bewilligungsbehörde Abgabelimiten festgelegt werden. Diese sind beispielsweise bei den Kernanlagen so gewählt, dass keine Person in der Nahumgebung eine zusätzliche Dosis von mehr als 0.2 mSv pro Jahr erhalten kann (Quellenbezogener Dosisrichtwert gemäss Art 7 der StSV). Für Radongas gilt ein Grenzwert für Wohn- und Aufenthaltsräume von 1000 Bq/m³. Bei Überschreiten dieser Grenzwerte sind die Gebäude zu sanieren. Bei Neu- oder Umbauten soll ein Richtwert von 400 Bq/m³ nicht überschritten werden.

A Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnement en Suisse pour 2002: vue d'ensemble

H. Völkle

Section de surveillance de la radioactivité (SUER)
Office fédéral de la santé publique, Ch. du Musée 3, 1700 FRIBOURG
(renseignements : tél. 026 300 9161 e-mail : hansruedi.voelkle@bag.admin.ch)

Introduction ¹⁾

Ce chapitre présente une synthèse des résultats des mesures de la radioactivité de l'environnement en 2002:

- 1) radioactivité de l'environnement;
- 2) exposition externe;
- 3) doses de rayonnement pour la population.

Afin de recenser avec suffisamment de précision les sources naturelles et artificielles de radioactivité, ainsi que les phénomènes régissant leur transfert et leur enrichissement dans l'environnement, les programmes de mesures, les points de prélèvements et les méthodes d'analyse sont choisis et mis en oeuvre avec le plus grand soin. La surveillance de la radioactivité dépasse donc les simples contrôles de routine et comprend également des projets de recherche transdisciplinaires. Les grandeurs de référence pour l'évaluation des résultats sont les valeurs limites de doses et d'immission de l'Ordonnance suisse de 1994 sur la Radioprotection (ORaP) et, pour les denrées alimentaires, les valeurs limites et de tolérance de l'Ordonnance sur les substances étrangères et les composants (OSEC).

L'évaluation des doses de rayonnement à la population repose sur les modèles et les facteurs de dose de l'ORaP, qui se basent dans ses grandes lignes sur les recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) et s'appliquent aux personnes dont le mode de vie et les habitudes alimentaires correspondent à la moyenne.

Pour apprécier le risque d'une irradiation non uniforme, la CIPR recommande, pour les différents organes humains irradiés, de tenir compte des facteurs de risque suivants:

- 1) mort due au cancer;
- 2) réduction de l'espérance de vie (mort prématurée) suite à une maladie;
- 3) réduction de la qualité de vie suite à un cancer;
- 4) affections génétiques.

Ces facteurs de risque ont été déduits principalement des études effectuées sur les survivants des bombes atomiques de Hiroshima et Nagasaki. On présume que les dommages dus au rayonnement augmentent proportionnellement à la dose du niveau le plus bas jusqu'à des doses élevées. Cette hypothèse n'est pas vérifiable pour les faibles doses de rayonnement. Elle se base largement sur le fait établi que même les petites doses endommagent les cellules et qu'il est donc raisonnable d'ajouter ces risques à ceux qui génèrent des cancers spontanés.

En Suisse, la radioactivité mesurée dans l'environnement ainsi que les doses d'irradiation à la population, attribuables à des sources artificielles de rayonnement, ont été jusqu'ici nettement inférieures aux limites légales. Le risque associé apparaît donc faible. Par contre, des valeurs élevées de radon (source naturelle de rayonnement) mesurées dans certaines habitations (chap. 2) sont probablement à l'origine de quelques pour-cent des cas mortels de cancer du poumon en Suisse.

1. Radioactivité dans l'environnement

1.1. Air ²⁾

Dans l'air, on ne rencontre tout au plus que des traces des radionucléides artificiels tels que ¹³⁷Cs (moins de 0.1 mBq/m³), ²³⁹Pu et ²⁴¹Am. Des traces de ⁶⁵Zn et d'^{110m}Ag ont également été détectées à Klingnau AG, provenant de l'usine d'incinération de l'Institut Paul Scherrer (PSI). De même, des traces de ²⁴Na ont été mesurées dans les environs immédiats du CERN, provenant des accélérateurs. Ces dernières années, le ⁸⁵Kr, issu du retraitement du combustible nucléaire (en Europe: La Hague/F et Sellafield/GB), montre une tendance à la hausse avec une concentration moyenne de 1.3 Bq/m³. En ce qui concerne le tritium (³H), des concentrations maximales d'environ 20 Bq/m³ ont été mesurées dans l'humidité de l'air à proximité des entreprises qui l'utilisent, ce qui correspond à 1 % de la limite

¹⁾ Les renvois à des chapitres de la partie B ou à des rapports annuels antérieurs figurent entre crochets, ceux concernant la partie A entre parenthèse. **Unités**, voir A.12

²⁾ Air, voir [chap 4.1 et 7.1, pour Pu et Am, 7.2]

d'immission admise selon l'ORaP. Le système automatique de surveillance de la radioactivité dans l'air, RADAIR, a fonctionné de manière satisfaisante en 2002 (disponibilité de 96 à 99 pour cent) et n'a pas indiqué de valeurs élevées.

La plus grande partie de la radioactivité dans l'air – à l'intérieur des bâtiments surtout – est à mettre sur le compte du gaz **radon**³⁾ qui pénètre dans les bâtiments principalement par le sol, en fonction de sa perméabilité au gaz. Par contre, les matériaux de construction et l'eau n'induisent pas de plus fortes concentrations de radon en Suisse. Par leur rayonnement alpha, les produits de filiation du radon peuvent provoquer le cancer du poumon. La banque de données suisse sur le radon contient, à ce jour, des mesures de 47'000 bâtiments (91'000 mesures dont 53'500 dans des locaux habités). La valeur directrice (400 Bq/m³) est dépassée dans 1'960 habitations et la valeur-limite (1'000 Bq/m³) dans 590, sans compter les bâtiments déjà assainis. Les régions accusant une valeur moyenne de plus de 200 Bq/m³ ou enregistrant au moins un dépassement de la valeur-limite sont appelées « région radon ». Jusqu'ici, 2'680 des 2'900 communes suisses ont été prises en compte ce qui correspond à une couverture de 94 pour cent. La moyenne arithmétique dans les habitations suisses (corrigée par étage et pondérée en fonction de la population par région) est de 75 Bq/m³ avec une valeur médiane de 50 Bq/m³. On trouve des concentrations de radon plus élevées principalement dans les cantons des Grisons, du Tessin, de Neuchâtel et du Jura, comme aussi, ponctuellement, sur le Plateau. Les maisons d'habitation présentant des valeurs élevées de radon – il y en a quelques milliers en Suisse – sont assainies avec des mesures de technique de construction. De telles mesures ont déjà été réalisées dans certains bâtiments, à commencer par des écoles et des jardins d'enfants.

1.2. Précipitations⁴⁾

Dans les précipitations, c'est le **tritium** (³H) qui domine, avec quelques Bq/l aujourd'hui, et jusqu'à 10 Bq/l dans le rayon d'influence d'entreprises industrielles ou d'installations nucléaires. Alors que la part naturelle de tritium, d'origine cosmique, est de quelques dixièmes de Bq/l, on constate des concentrations à concurrence de 1'800 Bq/l à proximité immédiate d'entreprises traitant du tritium ou d'usines d'incinération de déchets contenant du tritium. L'ORaP fixe à 12'000 Bq/l la limite d'immission du tritium dans les eaux d'accès public. Pour l'eau potable, la valeur de tolérance selon l'OSEC est de 1'000 Bq/l.

³⁾ Radon [chap. 2]

⁴⁾ Pluie [chap. 4.1, 7.1 et 9.1]

D'autres **radionucléides artificiels**, comme le ¹³⁷Cs, ont donné pour chaque mesure mensuelle moins de quelques mBq/l. Le ⁷Be naturel quant à lui atteint des valeurs comprises entre 0.1 et 1.5 Bq/l.

1.3. Systèmes aquatiques

La **teneur en tritium** dans les rivières s'élève également à quelques Bq/l, à l'exception du Rhin, en aval de Bâle, où une valeur de 8 Bq/l a été mesurée en avril – ce qui ne constitue toutefois pas un dépassement des valeurs limites – en raison de rejets plus importants d'eau contenant du tritium par la centrale nucléaire de Gösgen (voir page B.8.0.1). Dans les régions industrielles, une faible influence de sources d'émission locales est perceptible. Les immissions de tritium de l'industrie horlogère dans la région de la Chaux-de-Fonds ont diminué ces dernières années, d'une part en raison du moindre emploi du tritium pour les cadrans lumineux de montre et d'autre part, parce que les déchets contenant du tritium sont désormais collectés séparément et parviennent moins souvent à l'usine d'incinération régionale.

Les échantillons d'eau prélevés dans l'Aare, le Rhin, le Rhône et le Ticino n'ont révélé en 2002, à l'exception du tritium, aucune radioactivité artificielle supérieure à 7 mBq/l. En amont des centrales nucléaires, on a relevé, comme seul radionucléide artificiel, du ¹³⁷Cs provenant des retombées des essais nucléaires (fallout) et de Tchernobyl⁵⁾; en aval, des traces de ⁵⁸Co et ⁶⁰Co, et par endroits, de ⁵⁴Mn. Des analyses de **sédiments** effectuées dans les rivières en aval des centrales nucléaires et dans le lac de Lugano ont permis de dresser le bilan des rejets liquides des centrales nucléaires (⁵⁴Mn: jusqu'à 6 Bq/kg; ⁶⁰Co: jusqu'à 56 Bq/kg; ⁵⁸Co: jusqu'à 4 Bq/kg et ¹³⁷Cs: jusqu'à 22 Bq/kg) et de la contribution de l'accident du réacteur de Tchernobyl⁶⁾.

Les eaux de rejet des **stations d'épuration** des grandes agglomérations ont présenté dans certains cas des traces de ¹³¹I, attribuables à la médecine nucléaire (< 1.5 Bq/l), ainsi que du tritium (jusqu'à 500 Bq/l), provenant d'applications industrielles ou de montres au tritium jetées dans les ordures ménagères. A la STEP de la Chaux-de-Fonds, les rejets de tritium ont constamment diminué ces dernières années; en 2002, ils s'élevaient à 1.9 TBq/année (en 1990: 42 TBq). En 2002, 13.5 TBq de ³H ont été traités dans les entreprises de la ville⁷⁾.

⁵⁾ [chap. 4.2 et 4.4]

⁶⁾ [chap. 4.2 et 4.4]

⁷⁾ [chap. 4.1, 4.2 et 9.1]

1.4. Sols ⁸⁾

Le sol est un excellent intégrateur de tous les dépôts de l'air. Les teneurs en radionucléides naturels des séries de l'uranium (25-60 Bq/kg) et du thorium (15-40 Bq/kg) varient en fonction de la géologie alors que pour le ⁴⁰K (200-1000 Bq/kg), également d'origine naturelle, c'est l'utilisation d'engrais au potassium qui joue un rôle. La répartition des radionucléides artificiels révèle également des différences régionales ; elles sont dues aux retombées des explosions nucléaires des années 60 et de Tchernobyl. La part de Tchernobyl est répartie de façon nettement plus hétérogène que celle du fallout, à cause de la variabilité des précipitations enregistrées pendant cette période. Les régions principalement touchées ont été le Tessin et les vallées du sud des Grisons, ainsi que, dans une moindre mesure, les reliefs jurassiens et certaines parties du nord-est de la Suisse. Les valeurs de ¹³⁷Cs (jusqu'à 200 Bq/kg) et de ⁹⁰Sr (jusqu'à 20 Bq/kg) demeurent plus importantes dans les Alpes et au sud des Alpes que sur le Plateau. Des échantillons prélevés dans les environs de Studen/SZ dans la vallée supérieure de la Sihl, ont mis en évidence 165 Bq/kg ¹³⁷Cs, 6.9-13.4 Bq/kg ⁹⁰Sr, 0.9-2.1 Bq/kg ²³⁹⁻²⁴⁰Pu et 0.33-0.79 Bq/kg ²⁴¹Am. On n'a constaté aucune influence des émissions des centrales nucléaires. En ce qui concerne les rayonnements alpha artificiels, on a mesuré 0.02 à 1.6 ^{239/240}Pu et 0.01 à 1.5 ²⁴¹Am Bq/kg M.S., avec des valeurs plus faibles sur le Plateau que dans le Jura et les Alpes. En moyenne, le rapport ²³⁸Pu/²³⁹⁻²⁴⁰Pu était de 0.028, et le rapport ²⁴¹Am/²³⁹⁺²⁴⁰Pu de 0.41.

1.5. Végétaux et aliments ⁹⁾

Dans les échantillons d'**herbe** et d'aliments, c'est le ⁴⁰K naturel qui domine. Les radionucléides artificiels tels que le ¹³⁷Cs et le ⁹⁰Sr, provenant respectivement de l'accident de Tchernobyl et des essais nucléaires atmosphériques, et qui sont transférés dans les plantes par les racines, ne se trouvent plus que sous forme de traces. On ne constate aucune influence des installations nucléaires ou des centres de recherche suisses. La distribution régionale de l'activité des plantes reflète celle du sol, avec jusqu'à 26 Bq/kg MS pour le ¹³⁷Cs au Tessin et des valeurs de ⁹⁰Sr pouvant atteindre 17 et 39 Bq/kg MS dans les Alpes et au Tessin respectivement. Pour le **lait**, la teneur en ¹³⁷Cs était partout inférieure à 2 Bq/l, sauf au Tessin avec un maximum de 19 Bq/l. Pour ce qui est du ⁹⁰Sr, des valeurs comprises entre 0.02 et 0.16 Bq/l ont été mesurées sur le Plateau et dans le Jura, entre 0.5 et 2.2 dans les Alpes et entre 0.2 et 0.4 Bq/l au

Tessin. Les seize échantillons de **céréales** ont révélé moins de 0.6, et entre 0.2 et 0.8 Bq/kg respectivement pour le ¹³⁷Cs et le ⁹⁰Sr.

Pour les **champignons** indigènes, ce sont encore les bolets bairiens qui accusent partiellement des valeurs plus élevées (jusqu'à 300 Bq par kg de champignons frais), mais avec une légère tendance à la baisse. Aucune valeur dépassant la limite de tolérance de 600 Bq/kg n'a été relevée. C'est le cas également pour les champignons importés, avec une valeur maximale de 530 Bq/kg ¹³⁷Cs (pieds de mouton). Pour les champignons importés, un certificat de radioactivité demeure obligatoire.

Pour le **gibier** importé (chevreuil et cerf), des concentrations maximales de ¹³⁷Cs de 32 Bq/kg ont été enregistrées. Les 188 sangliers tirés au Tessin pendant l'hiver 2002/2003 ont été mesurés sur place au moyen d'un instrument dosimétrique, afin que le vétérinaire puisse autoriser leur consommation. Un animal qui présentait des valeurs nettement supérieures aux autres (6950 Bq/kg ¹³⁷Cs) a dû être confisqué. Pour les autres animaux, les valeurs relevées étaient beaucoup plus basses de sorte qu'il n'a pas été nécessaire de prendre des mesures.

1.6. Carbone 14 dans les plantes ¹⁰⁾

Le ¹⁴C est assimilé par les plantes en phase de croissance à partir du CO₂ dans l'air. Dans les années 60, les essais nucléaires ont été la cause d'une augmentation de 100% du ¹⁴C par rapport au niveau naturel; aujourd'hui, cette part est encore de 80 % environ; elle est mesurée à la station de référence près de Berne. Les feuillages analysés à proximité des réacteurs à eau bouillante de Mühleberg et de Leibstadt accusent des augmentations supplémentaires de 40 à 240 %. Près des réacteurs à eau pressurisée de Beznau et Gösgen, du PSI et de l'usine d'incinération de NOVARTIS à Bâle, on n'a pas relevé d'augmentation par rapport à la station de référence, alors que sur l'ancien terrain industriel de SANDOZ et près de ROCHE, les concentrations atteignaient 330 %. La part naturelle de ¹⁴C dans les plantes, due au rayonnement cosmique, est de 227 Bq/kg C, produisant une dose de 0.013 mSv par année. Une activité supplémentaire de ¹⁴C de 100 % induit une dose hypothétique maximale (effective) d'un millième environ de Sv par an.

⁸⁾ sol [chap. 4.3 et 7.2]

⁹⁾ herbe et denrées alimentaires [chap. 4.3 et 5.1]

¹⁰⁾ mesures ¹⁴C [chap. 7.1]

1.7. Radioactivité dans le corps humain ¹¹⁾

Les mesures du corps entier ainsi que les analyses de ⁹⁰Sr dans les dents de lait et les vertèbres permettent d'évaluer la quantité de radionucléides incorporés avec la nourriture. Les mesures du corps entier d'habitants de Bâle ont révélé une activité maximale de ¹³⁷Cs de 23 Bq chez les femmes et de 38 Bq chez les hommes. Pour les 595 personnes mesurées au PSI dans le cadre de la surveillance des personnes, la valeur maximale était de 300 Bq, mais avec 96,6 pour cent se situant sous la limite de détection (60 Bq). Le ⁴⁰K naturel est demeuré constant à 3300 Bq chez les femmes et 4500 Bq chez les hommes. Dans les vertèbres et les dents de lait, la teneur en ⁹⁰Sr était de 0.03 Bq/g Ca.

2. Doses d'irradiation externe

2.1. Rayonnement naturel

L'exposition externe vient avant tout du rayonnement cosmique et terrestre. Les sources de rayonnements terrestres sont les radionucléides naturels présents dans le sol et dans les matériaux de construction. Le rayonnement cosmique dépend de l'altitude, étant donné qu'il est atténué par l'atmosphère ¹²⁾. En Suisse, le débit de dose moyen en plein air est voisin de 90 nSv/h, avec des valeurs comprises entre 40 et 230 nSv/h. A l'intérieur des maisons, la dose se situe environ 10% au-dessus de celle en plein air à cause des radionucléides naturels contenus dans les matériaux de construction.

2.2. Radioactivité artificielle

La contribution rémanente de l'accident de Tchernobyl d'avril 1986 et des essais nucléaires des années 60 ne représente actuellement plus que quelques pour-cent de l'exposition externe globale, à l'exception du Tessin où elle atteint aujourd'hui encore 30% ¹³⁾.

Des endroits limitrophes des centrales nucléaires de Mühleberg et Leibstadt (rayonnement ¹⁶N du réacteur à eau bouillante), du PSI et du CERN montrent une influence du rayonnement direct de ces installations de quelques 100 nSv/h. Compte tenu du séjour restreint de personnes dans ces endroits, les doses de rayonnements sont insignifiantes ¹⁴⁾.

2.3. Aéroradiométrie ¹⁵⁾

Des mesures sont effectuées chaque année, dans des régions sélectionnées, à bord d'un hélicoptère de l'armée à l'aide d'un spectromètre gamma NaI. Le secteur est quadrillé et surveillé à 100 m d'altitude environ. Un programme de traitement des données établit ensuite la carte du rayonnement du territoire étudié. L'instrument de mesure, dont l'utilisation est coordonnée par la Centrale nationale d'alarme (CENAL), permet d'établir rapidement une carte d'une région contaminée suite à un accident; il peut aussi servir à trouver des sources de rayonnement perdues.

En 2002, les secteurs mesurés ont été le voisinage des centrales nucléaires de Beznau et Leibstadt ainsi que de l'Institut Paul Scherrer. Les mesures n'ont pas établi une augmentation de la radioactivité comparée aux années précédentes. Un exercice de mesure international (ECCOMAGS) était prévu dans le sud-ouest de l'Ecosse en été 2002. Mais comme les équipes de mesure étrangères (avec hélicoptères militaires) n'ont pas obtenu d'autorisation de vol du Ministère anglais de la défense, les mesures n'ont pu être effectuées.

3. Irradiation de la population

3.1. Radioactivité naturelle et rayonnement cosmique

La contribution majeure à la dose d'irradiation de la population provient du radon (²²²Rn) et de ses descendants radioactifs dans les locaux d'habitation et de travail. Le radon est certes un gaz naturel de par son origine, mais ses fortes concentrations dans les bâtiments sont un « mal de civilisation ». Les enquêtes réalisées jusqu'en 2002 en Suisse dans environ 47'000 habitations indiquent une moyenne arithmétique corrigée de 75 Bq/m³ (valeur médiane 50 Bq/m³). Le calcul de la dose se base sur un séjour moyen de 7'000 heures par an dans l'habitation et de 2'000 heures par an à la place de travail. Pour des facteurs de dose de 2.44*10⁻⁶ et 3.17*10⁻⁶ mSv respectivement par Bq/m³ et par heure ¹⁶⁾, on arrive à une dose de radon moyenne de 1.6 mSv par année pour l'ensemble de la population. Est inclus un supplément de 10% pour le thoron (²²⁰Rn), un gaz à courte durée de vie et naturellement radioactif. Pour 1 à 2 % de la population, la dose est de 10 mSv par année, pour 0.2 %, de 25 mSv par année. Selon des estimations conservatrices, le radon pourrait être responsable de quelques pour-cent des cas mortels de cancer des poumons. Les radionucléi-

¹¹⁾ radionucléides dans le corps humain [chap. 6.1 et 6.2]

¹²⁾ rayonnement cosmique [chap. 10.3 dans rapport 1999]
http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_d.pdf

¹³⁾ mesures du débit de dose [chap. 3.1 et 3.2]

¹⁴⁾ centrales nucléaires [chap. 8.3]

¹⁵⁾ aéroradiométrie [chap. 3.3]

¹⁶⁾ Rapport 1993, p. B.2.3

des naturels parviennent aussi dans notre corps avec la nourriture et occasionnent des doses annuelles moyennes de l'ordre de 0.38 mSv dont la moitié environ est à mettre sur le compte du ⁴⁰K. Le reste provient des nucléides des séries d'uranium et de thorium ainsi que des radionucléides d'origine cosmique tritium, ¹⁴C, ⁷Be, etc.

Des radionucléides naturels présents dans le sol contribuent également aux doses de rayonnements externes. Cette contribution dépend fortement des teneurs locales du sol en radionucléides et du mode de vie. Le rayonnement naturel en plein air se situe, dans les régions habitées de Suisse, entre 0.35 et env. 0.8 mSv/an. A quoi s'ajoute le rayonnement cosmique qui augmente en fonction de l'altitude (p. ex. 0.35 mSv/an à Locarno, 0.4 à Zurich et 0.75 à St-Moritz). A l'intérieur, la dose est supérieure d'environ 10% à celle en plein air. Au total, la population suisse est soumise annuellement à près de 3 mSv d'origine naturelle.

Sources de rayonnement naturel (mSv/an)

Source	Moyenne	Domaine
Rayonnement externe	0.9 ¹⁷⁾	0.5 - 2.0
Aliments	0.4 ¹⁸⁾	0.2 - 0.5
Habitations (radon)	1.6	0.3 - plus de 20 ¹⁹⁾
Somme	3	1 à plus de 20

3.2. Doses induites par la civilisation

La part prépondérante des **rayonnements externes** provient d'applications médicales et de l'exposition professionnelle aux rayons dans les centrales nucléaires, l'industrie, le commerce, les services publics, la recherche et la médecine, ainsi que des sources dites faibles (biens de consommation et objets courants contenant de faibles doses de radioactivité). La contribution de la radioactivité artificielle à l'irradiation externe ne peut être estimée que de façon approximative. En cas de séjour permanent en plein air, la dose serait de 0.01 et 0.5 mSv par an. Cette grande dispersion est la

¹⁷⁾ Dont rayonnement cosmique: 300 m 0.35 mSv/an. Un vol Suisse-Amérique du Nord, dose supplémentaire de 0.04 mSv; pour le personnel volant et les personnes voyageant fréquemment en avion, dose supplémentaire moyenne de 3 mSv/an [1999; 10.3].

¹⁸⁾ http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_d.pdf
Dont en micro-Sv par an: ⁴⁰K = 200; ⁸⁷Rb = 6; ³H = 0,01; ⁷Be = 3; ¹⁴C = 12; ²²Na = 0,2 U, Th et Ra = 30; ²¹⁰Pb + ²¹⁰Bi + ²¹⁰Po = 120 micro-Sv/an.

¹⁹⁾ Plus de 10 mSv/an et plus de 25 mSv/an pour 1 à 2 % et 0.2% respectivement de la population.

conséquence des différences régionales quant au dépôt de ¹³⁷Cs consécutif à l'accident de Tchernobyl. Les centrales nucléaires suisses, le PSI et le CERN n'y contribuent pas de façon significative.

Les radionucléides artificiels incorporés avec la nourriture - ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr surtout - occasionnent une **irradiation interne**. Des mesures du corps entier de collégiens ont mis en évidence des doses de ¹³⁷Cs inférieures à 1 micro-Sv par année.

De manière générale, la dose de **radioactivité artificielle** – médecine et sources faibles exclues – de la majorité de la population est de 0.01 à 0.05 et, exceptionnellement jusqu'à 0.1 mSv par année.

Accident de Tchernobyl: impacte sur la Suisse

voir: <http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/cherno2003.pdf>

Sources de rayonnement artificiel (mSv/an)

Source		Moyenne	Domaine
Médecine	Diagnostic par rayons X ²⁰⁾	1	0 - 30
	Médecine nucléaire ²¹⁾	0.04	0 - 80
Sources faibles	Objets et biens de consommation contenant des substances radioactives ²²⁾	0.1	0 - ?
Radioactivité artificielle à large échelle	Tchernobyl	0.01	jusqu'à 0.5
	Retombées d'essais nucléaires	< 0.01	
	⁸⁵ Kr de retraitement	0.02	
Immissions radioactives	Entreprises et centrales nucléaires	≈ 0	jusqu'à 0.015
Exposition professionnelle	65'079 personnes professionnellement exposées ²³⁾	0.07	< 20 *) (98%)
			< 1)

*) une valeur entre 20 et 50

²⁰⁾ Sondage 1996/99 de l'IRA/OFSP [1999; 10.1]

²¹⁾ Sondage de 1989/90, J. Roth, Hôp. Cant. BS

²²⁾ Par ex. montres avec aiguilles luminescentes à base de tritium, radionucléides naturels dans carrelage, Th dans manchons à incandescence ou céramique dentaire, avertisseurs de fumée à ionisation, ²¹⁰Po dans fumée de cigarettes, etc.

²³⁾ Centrales nucléaires, médecine, recherche, industrie et administrations publiques. Source: rapport dosimétrie de l'OFSP 2002, voir aussi <http://www.bag.admin.ch/strahlen/ionisant/dosimetrie/pdf/2002-df.pdf>

²⁴⁾ Usine d'incinération de déchets spéciaux, Bâle-Ville

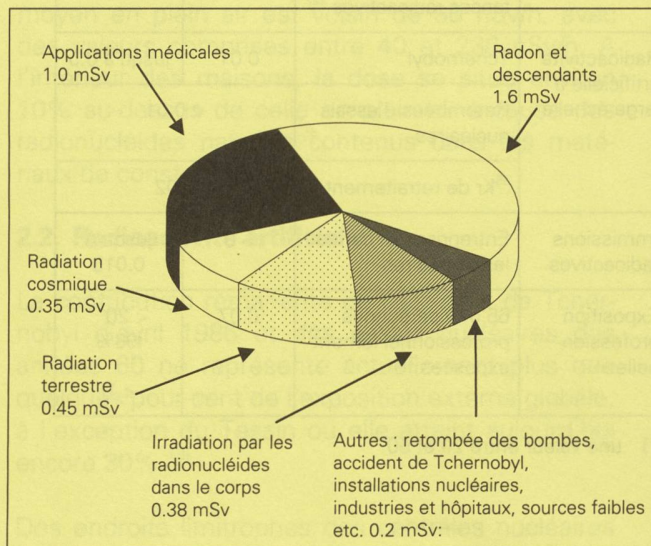
Quelques exemples (mSv/an)

¹³⁷ Cs dans le lait	1 l/jour avec 20 Bq/l (=VT)	0.05
¹³⁷ Cs dans les champignons	200 g/semaine avec 600 Bq/kg	0.09
²²⁶ Ra dans l'eau minérale	1 l/jour avec 1 Bq/l (= VL)	0.08
¹⁴ C dans les légumes	200 g/jour des environs de la station d'incinération de Bâle (SVA) ²⁴⁾	0.002
³ H dans l'eau de pluie (utilisée comme eau potable)	2.2 l/jour à 1000 Bq/l (des environs d'une entreprise traitant du tritium)	0.01
¹³⁷ Cs dans le sol au Tessin	Travail pendant une année dans un champ à la plus forte concentration de CS	0.1
Rayonnement direct à proximité d'une centrale nucléaire	1 h/jour à la clôture de la centrale	0.1

VT = valeur de tolérance (OSEC)

VL = valeur limite (OSEC)

Contributions moyennes à l'exposition au rayonnement de la population suisse (dose globale: 4 mSv/an)



Définitions, unités et prescription

La radioactivité est une propriété des atomes instables de modifier leur noyau (désintégration radioactive) lors de leur transition vers un état de plus grande stabilité en émettant un rayonnement (ionisant) caractéristique sous la forme de particules alpha ou bêta ainsi que de photons gamma. La radioactivité naturelle fait depuis toujours partie de notre environnement. La radioactivité artificielle est libérée lors des explosions d'armes nucléaires, mais peut aussi provenir des installations nucléaires ainsi que des industries et des hôpitaux qui utilisent des radionucléides.

La radioactivité d'une substance s'exprime en Becquerel (Bq). 1 Bq correspond à une désintégration par seconde. Pour les préfixes et leur signification, voir tableau ci-dessus. Dans le passé, l'unité Curie (Ci) était couramment utilisée (1 nCi = 37 Bq resp. 1 Bq = 27 pCi).

Pour apprécier **le risque lié aux rayonnements** envers la population, on détermine la **dose efficace** en mSv ou en µSv. Cette grandeur tient compte de la sensibilité spécifique des organes humains et de la nocivité particulière des différents types de rayonnements. La dose efficace se détermine comme suit : en premier lieu, on calcule la dose absorbée, i.e. l'énergie absorbée par l'organe cible. A l'aide de facteurs de pondération, les doses aux différents organes sont converties en doses au corps entier impliquant le même risque. La somme de ces doses équivalentes au corps entier représente la dose efficace. Ces différentes étapes ainsi que les facteurs de pondération correspondants sont précisés à la page C-2.

Conformément à **l'ordonnance sur la radioprotection (ORaP)**, les doses à la population liées à la radioactivité de l'environnement et à la civilisation - à l'exclusion toutefois du radon et des applications médicales - ne doivent pas dépasser 1 mSv par an et celles aux personnes exposées professionnellement 20 mSv par an. Pour l'air et l'eau du domaine public, l'ordonnance fixe des limites d'impact, dont l'épuisement pour une charge permanente de l'eau potable et de l'air entraînerait chacun 0.2 mSv par an. Le rayonnement direct ne doit pas donner lieu en dehors de l'enceinte de l'entreprise à des doses ambiantes excédant, par année, 1 mSv dans les locaux d'habitation, de séjour et de travail et 5 mSv dans tout autre endroit public. Des valeurs limites et de tolérance pour les radionucléides dans les denrées alimentaires sont publiées dans l'ordonnance sur les substances étrangères et les composants (OSEC). Du point de vue de la radioprotection, la valeur limite est essentielle, tandis que la valeur de tolérance traduit simplement un critère de qualité, qui ne signifie cependant aucun risque pour la santé. L'émission de substances radioactives se fait de manière contrôlée dans l'environnement, selon les limites de rejets fixées par les autorités qui délivrent l'autorisation. A titre d'exemple, les limites de rejets pour les installations nucléaires sont fixées de sorte qu'aucun riverain ne puisse recevoir une dose additionnelle supérieure à 0.2 mSv par an. Pour le gaz radon, une valeur limite de 1000 Bq par m³ s'applique aux locaux d'habitation et aux séjours. En cas de dépassement de cette valeur limite, les bâtiments doivent être assainis. Pour les constructions nouvelles ou celles en transformation, une valeur directrice de 400 Bq/m³ ne doit pas être dépassée.

Préfixes et leurs significations

fBq	femto	10 ⁻¹⁵
pBq	pico	10 ⁻¹²
nBq	nano	10 ⁻⁹
µBq	micro	10 ⁻⁶
mBq	milli	10 ⁻³

kBq	kilo	10 ³
MBq	Mega	10 ⁶
GBq	Giga	10 ⁹
TBq	Tera	10 ¹²
PBq	Peta	10 ¹⁵

A

Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera nel 2002: Riassunto

H. Völkle

Sezione sorveglianza della radioattività (SUER)
Ufficio federale della sanità pubblica, Chemin du Musée 3, 1700 FRIBOURG
(Informazioni: tel. 026 / 300 91 61; e-mail: hansruedi.voelkle@bag.admin.ch)

Riassunto ¹⁾

Questo capitolo presenta un riassunto degli esiti della sorveglianza della radioattività ambientale nel 2002

- 1) radioattività ambientale
- 2) radiazione esterna
- 3) dosi d'irradiazione.

Il programma di misura, i punti di prelievo dei campioni e i procedimenti d'analisi sono scelti in modo tale da ottenere un numero elevato di dati, al fine di includere tutte le fonti naturali e artificiali di radioattività e di considerare tutti i principali modi di trasporto e di arricchimento nell'ambiente. Il programma di misura va quindi oltre il semplice monitoraggio ed include anche progetti interdisciplinari. Il quadro di riferimento per la valutazione dei risultati è costituito dai limiti di dose e d'immissione fissati nell'Ordinanza federale sulla radioprotezione (OraP) del 1994, nonché dai valori limite e di tolleranza dell'Ordinanza sulle sostanze estranee e sui componenti nelle derrate alimentari (OEC).

Il calcolo delle dosi d'irradiazione della popolazione si basa sui modelli e fattori di dose indicati nell'O-RaP, fondata, a sua volta, sulle raccomandazioni della Commissione internazionale di radioprotezione (ICRP) e riferita a persone con abitudini alimentari e di vita corrispondenti alla media.

Se l'irradiazione non è ripartita uniformemente sull'intero organismo, la ICRP raccomanda di applicare fattori di rischio, riferiti ai diversi organi, che tengono in considerazione:

- 1) i casi di decesso per cancro,
- 2) la riduzione, dovuta a malattia, della speranza di vita (morte prematura),
- 3) il deterioramento della qualità di vita a causa del cancro e
- 4) le affezioni dovute a malformazioni genetiche.

I fattori di rischio proposti sono stati calcolati tenendo conto soprattutto delle ricerche svolte sui superstiti del bombardamento atomico di Hiroshima e Nagasaki e partendo dall'ipotesi che il

danno dovuto all'irradiazione aumenti linearmente in funzione della dose. Al margine inferiore della scala dei valori di dose, quest'ipotesi non è tuttavia verificabile e si fonda in ampia misura sul fatto riconosciuto che anche dosi modeste danneggiano le cellule e possono perciò causare malattie. È dunque ragionevole sommare tali danni a quelli che insorgono e causano il cancro spontaneamente.

Finora, nel nostro Paese, le misure relative alla radioattività ambientale e alle dosi d'irradiazione della popolazione da fonti radioattive artificiali sono sempre risultate assai inferiori ai limiti legali e il rischio d'irradiazione che ne deriva è di poca entità. Diversa è la situazione per quanto concerne il radon, fonte radioattiva naturale, alla cui concentrazione eccessiva in locali abitati (v. cap. 2) si devono probabilmente alcuni casi su cento delle morti per cancro ai polmoni in Svizzera.

1. Radioattività ambientale

1.1. Aria ²⁾

Nell'aria non sono più accertabili che tracce (e a volte neppure queste) di radionuclidi artificiali come il ¹³⁷Cs (meno di 0.1 mBq/m³), il ²³⁹Pu e l'²⁴¹Am. A Klingnau/AG, ad esempio, sono state riscontrate tracce di ⁶⁵Zn e ^{110m}Ag provenienti dall'impianto d'incenerimento dello PSI e nei pressi del CERN tracce di ²⁴Na derivanti dagli acceleratori dell'istituto. Tende invece a crescere, negli ultimi anni, la concentrazione del ⁸⁵Kr proveniente dalla rigenerazione di combustibile nucleare, con un valore medio di circa 1.3 Bq/m³. Impianti di rigenerazione si trovano, in Europa, a La Hague in Francia e a Sellafield in Gran Bretagna. Nell'umidità dell'aria circostante le aziende di lavorazione del tritio si riscontrano fino a circa 20 Bq/m³ di tale radionuclide. Questa concentrazione corrisponde all'1% del valore limite d'immissione secondo l'ORaP. RA-DAIR, la rete automatica di rilevamento di immisioni radioattive nell'aria, che dal 2002 funziona in modo soddisfacente con un grado di disponibilità

¹⁾ I rinvii a capitoli della parte B o di rapporti annuali precedenti sono indicati tra parentesi quadre, i rinvii alla parte A tra parentesi tonde. Le unità di misura sono spiegate alla pagina A18

²⁾ Aria v. [cap. 4.1 e 7.1; per quanto riguarda il Pu e l'Am, cap. 7.2]

del 96 a 99 per cento non ha rilevato valori eccessivi.

La componente principale della radioattività nell'aria – particolarmente all'interno degli edifici – è costituita dal gas nobile **radon**³⁾ che penetra negli edifici prevalentemente dal terreno di fondazione in quantità dipendente dalla permeabilità di quest'ultimo. I materiali di costruzione e l'acqua non sono invece all'origine, in Svizzera, di concentrazioni elevate di radon. I discendenti radioattivi del radon emettono radiazioni alfa che possono causare il cancro polmonare. Nella banca svizzera dei dati sul radon sono registrati gli esiti di misure svolte in circa 47'000 case (91'000 misure in tutto, di cui 53'500 in locali abitati). In 1960 locali abitati, la concentrazione di radon supera il valore operativo di 400 Bq/m³, in 590 il valore limite di 1000 Bq/m³ (gli edifici già risanati non sono inclusi in queste cifre). Le regioni dove la concentrazione media è superiore a 200 Bq/m³ o quelle dov'è stato misurato almeno un valore superiore al limite sono dette "aree a concentrazione di radon". Finora sono state effettuate misure in 2680 dei 2900 Comuni svizzeri il che corrisponde a un grado di copertura del 94 per cento. La media aritmetica della concentrazione di radon misurata nei locali abitati – normalizzata per il piano e ponderata secondo la densità della popolazione nella regione – è di 75 Bq/m³, il valore mediano di 50 Bq/m³. Concentrazioni elevate di radon si ritrovano soprattutto nei Cantoni Grigioni, Ticino, Neuchâtel e Giura, ma sono stati accertati singoli casi anche nell'Altopiano. Alcune migliaia di case presentano valori elevati di radon e vengono risanate con provvedimenti di tecnica edilizia. Questi provvedimenti sono già stati applicati in una parte degli edifici, soprattutto in scuole e asili.

1.2. Precipitazioni⁴⁾

Nelle precipitazioni predomina il **tritio** (³H), presente ormai in concentrazioni di alcuni Bq/l soltanto, con valori fino a 12 Bq/l nelle aree influenzate da aziende industriali e impianti nucleari. Il tritio naturale, proveniente dalla radiazione cosmica, vi contribuisce con pochi decimi di Bq/l. Nelle immediate vicinanze di aziende di lavorazione del tritio o di impianti d'incenerimento si sono misurati valori fino a circa 1800 Bq/l. Conformemente all'ORaP, il limite d'immissione del tritio nelle acque pubblicamente accessibili è di 12'000 Bq/l; il valore di tolleranza per le acque potabili secondo l'OEC è di 1000 Bq/l.

La concentrazione degli altri **radionuclidi artificiali**, come il ¹³⁷Cs, è risultata inferiore ad alcuni mBq/l in tutti i campioni mensilmente prelevati. La concentrazione del ⁷Be, proveniente dalla radiazio-

ne cosmica naturale, era compresa tra 0,1 e 1,5 Bq/l.

1.3. Acque

L'acqua fiumana presenta anch'essa un **contenuto di tritio** di pochi Bq/l. Un caso eccezionale si è verificato nel Reno a valle di Basilea, dove in aprile è stato misurato un valore di 8 Bq/l riconducibile alle emanazioni della centrale nucleare di Gösgen. Anche questa concentrazione rientra tuttavia nei limiti del consentito (vedere pagina B.8.0.1). Nelle regioni industrializzate, si osserva un debole influsso di emittenti locali. In questi ultimi anni, le immissioni di tritio provenienti dall'industria orologiera nella regione di La Chaux-de-Fonds si sono ridotte; da un lato, è infatti diminuita la quantità di tritio impiegato per la produzione di orologi con cifre luminescenti e, d'altro lato, le scorie contenenti tritio vengono raccolte e giungono quindi più raramente nell'impianto regionale d'incenerimento dei rifiuti.

Nel 2002, la radioattività artificiale (senza tritio) riscontrata nei campioni mensili prelevati dall'Aar, dal Reno, dal Rodano e dal Ticino era inferiore a 7 mBq/l. A monte degli impianti nucleari, l'unico radionuclide artificiale accertato è stato il ¹³⁷Cs proveniente dalle ricadute degli esperimenti con armi nucleari e dall'incidente di Cernobil⁵⁾, a valle si sono riscontrate inoltre tracce di ⁵⁸Co, ⁶⁰Co e, in singoli casi, ⁵⁴Mn.

Campioni prelevati nei **sedimenti fiumani** a valle degli impianti nucleari consentono di allestire un bilancio delle emanazioni liquide delle centrali nucleari (⁵⁴Mn: fino a 6 Bq/kg, ⁶⁰Co: fino a 56 Bq/kg, ⁵⁸Co: fino a 4 Bq/kg e ¹³⁷Cs: fino a 22 Bq/kg) e dell'apporto dell'incidente nel reattore di Cernobil⁶⁾.

In alcuni casi, nelle acque di scolo degli **impianti di depurazione** delle grandi agglomerazioni si ritrovano tracce (< 1.5 Bq/l) dello ¹³¹I usato per la medicina nucleare e concentrazioni di tritio fino a 500 Bq/l. Queste ultime provengono da applicazioni industriali o da orologi e altri oggetti contenenti tritio inclusi nei rifiuti domestici. Nel corso degli ultimi anni, il deflusso di tritio dall'impianto di depurazione delle acque di La Chaux-de-Fonds è costantemente diminuito, portandosi a 1.9 TBq nel 2002. Nel medesimo anno, 13.5 TBq di tritio sono ancora stati lavorati nelle aziende della città di La Chaux-de-Fonds⁷⁾.

³⁾ Radon v. [cap. 2]
⁴⁾ Pioggia v. [cap. 4.1, 7.1. e 9.1.]

⁵⁾ v. [cap. 4.2 e 4.4]
⁶⁾ v. [cap. 4.2 e 4.4]
⁷⁾ v. [cap. 4.1, 4.2 e 9.1]

1.4. Suolo⁸⁾

Nel suolo, un buon integratore di tutti i sedimenti dell'aria, la concentrazione dei radionuclidi naturali delle catene di decadimento dell'urano (25 a 60 Bq/kg) e del torio (15 a 40 Bq/kg) varia a seconda della struttura geologica del sottosuolo, mentre quella del ⁴⁰K (200 a 1000 Bq/kg), anch'esso naturale, dipende inoltre dall'impiego di concimi potassici. Differenze regionali sono riscontrabili anche per quanto riguarda i radionuclidi artificiali, a causa della sedimentazione ineguale della radioattività proveniente dalle esplosioni in superficie di armi nucleari e dall'incidente nel reattore di Cernobil. Per effetto del diverso volume delle precipitazioni dopo l'incidente, la ripartizione della radioattività proveniente da Cernobil è assai più eterogenea di quella delle ricadute delle bombe atomiche. Ne sono stati particolarmente colpiti il Ticino e le vallate al Sud dei Grigioni, nonché, in misura minore, il Giura e parti della Svizzera nord-orientale. Nella regione alpina e a sud delle Alpi, la concentrazione del ¹³⁷Cs (fino a 200 Bq/kg) e dello ⁹⁰Sr (fino a 20 Bq/kg) è tuttora superiore ai valori riscontrati nell'Altopiano. In campioni di suolo prelevati presso Studen/SZ, nell'alta valle della Sihl, sono stati misurati fino a 165 Bq/kg ¹³⁷Cs, 6.9-13.4 Bq/kg ⁹⁰Sr, 0.9-2.1 Bq/kg ²³⁹⁻²⁴⁰Pu e 0.33-0.79 Bq/kg ²⁴¹Am. Nel suolo, alcun influsso delle emissioni di centrali nucleari non si è costatato. Per quanto riguarda gli emettitori alfa artificiali, si sono misurati da 0.02 a 1.6 Bq/kg di materia secca di ^{239/240}Pu e da 0.01 a 1.5 Bq/kg di ²⁴¹Am, con valori inferiori nell'Altopiano rispetto al Giura e alle Alpi. In media il rapporto ²³⁸Pu/²³⁹⁺²⁴⁰Pu era del 0.028, il rapporto von ²⁴¹Am/²³⁹⁺²⁴⁰Pu del 0.41.

1.5. Piante e derrate alimentari⁹⁾

Nei campioni di erba e di derrate alimentari prelevati predomina il ⁴⁰K, di origine naturale. Radionuclidi artificiali come il ¹³⁷Cs (proveniente dall'incidente nel reattore di Cernobil) e lo ⁹⁰Sr (causato dagli esperimenti in superficie con armi nucleari) che le piante assorbono attraverso le radici, sono accertabili soltanto in tracce. Non è stato riscontrato alcun influsso delle centrali nucleari o degli impianti di ricerca svizzeri. La ripartizione regionale della radioattività corrisponde a quella nel suolo, con massimi di 26 Bq/kg di materia secca per quanto riguarda il ¹³⁷Cs in Ticino, nonché di 17 Bq/kg di materia secca per lo ⁹⁰Sr in Ticino e 39 Bq/kg nelle Alpi. Il contenuto di ¹³⁷Cs nel latte è risultato sempre inferiore a 2 Bq/l, tranne che in Ticino (dove si è registrato un massimo di 19 Bq/l). Il contenuto di ⁹⁰Sr nel latte era compreso tra 0.02 e 0.16 Bq/l nell'Altopiano e nel Giura, tra 0.5 e 2.2 Bq/l nelle Alpi e tra 0.2 e 0.4 Bq/l in Ticino. In sedi **campioni di cereali** si sono misurati valori inferiori

a 0.6 Bq/kg per quanto riguarda il ¹³⁷Cs e tra 0.2 e 0.8 Bq/kg per lo ⁹⁰Sr.

Tra i **funghi** di provenienza svizzera, diversi boleti presentano tuttora valori in parte elevati – fino a 300 Bq/kg di funghi freschi – con tendenza tuttavia decrescente. Non sono state misurate concentrazioni superiori al valore di tolleranza di 600 Bq/kg. Questo vale anche per i funghi importanti, nei quali la concentrazione ¹³⁷Cs ha raggiunto al massimo 530 Bq/kg (steccherino dorato). Per l'importazione di funghi è tuttora richiesto un certificato sulla radioattività.

La **selvaggina** d'importazione (cerbiatto e cervo) presenta ancora concentrazioni di ¹³⁷Cs fino a 32 Bq/kg. I 188 cinghiali abbattuti nel Ticino durante la stagione invernale 2002/2003 sono stati sottoposti ad una cernita sul posto effettuata con l'ausilio di un apparecchio di misura dell'intensità di dose per consentire al veterinario cantonale di decidere del rilascio dell'animale. Uno di questi animali, sul quale si sono misurati valori nettamente superiori agli altri, è stato sequestrato; dalle misure effettuate in laboratorio è risultata una concentrazione di ¹³⁷Cs 6950 Bq/kg. Le misure operate su quelli rimanenti hanno dato risultati nettamente inferiori e non hanno perciò dato adito a provvedimenti.

1.6. Carbonio-14 nelle piante¹⁰⁾

Le piante assorbono ¹⁴C dall'aria quando ne assimilano l'anidride carbonica durante la fase di crescita. Negli anni sessanta, gli esperimenti svolti con armi nucleari hanno causato un aumento del 100 per cento della concentrazione di ¹⁴C rispetto al suo livello naturale, derivante dalla radiazione cosmica. Fino ad oggi, tale quota, misurata in una stazione di riferimento nei pressi di Berna, si è ridotta all'80 per mille. Le foglie degli alberi raccolte nelle vicinanze dei due reattori ad acqua bollente di Mühleberg e di Leibstadt presentano inoltre concentrazioni supplementari del 40 a 240 per mille. Presso i reattori ad acqua pressurizzata di Beznau, di Gösgen e del PSI come pure nei dintorni dell'inceneritore della NOVARTIS a Basilea non sono state accertate concentrazioni superiori a quelle della stazione di riferimento. Sul terreno appartenente in passato alla SANDOZ e presso la ROCHE si sono invece misurate concentrazioni supplementari fino al 330 per mille. Il contenuto naturale di ¹⁴C nelle piante, derivante dalla radiazione cosmica, è di 227 Bq/kg ¹⁴C e causa un dose di 0.013 mSv/anno. Un raddoppiamento della radioattività dovuta al ¹⁴C corrisponde all'incirca ad un aumento della dose (efficace) ipotetica massima di 1 millesimo di Sv all'anno.

⁸⁾ Suolo v. [cap. 4.3 e 7.2]

⁹⁾ Erba e derrate alimentari v. [cap. 4.3 e 5.1].

¹⁰⁾ Misure del ¹⁴C v. [cap. 7.1].

1.7. Radionuclidi nell'organismo umano¹¹⁾

Misure dell'intero organismo e analisi del contenuto di ⁹⁰Sr nei denti di latte e nelle vertebre consentono di determinare la radioattività assorbita con l'alimentazione. Nelle misure del corpo intero svolte a Basilea si sono riscontrate concentrazioni di ¹³⁷Cs di 23 Bq al massimo per le donne e 38 Bq per gli uomini. Il valore massimo misurato in occasione dei controlli a cui sono state sottoposte 595 persone presso il PSI è stato di 300 Bq. Il 96,6 per cento delle persone controllate presentava tuttavia valori inferiori ai 60 Bq che costituiscono il limite dell'accertabile. La concentrazione del ⁴⁰K, di origine naturale ammonta a circa 3300 Bq nell'organismo delle donne e a 4500 Bq in quello degli uomini. Il contenuto di ⁹⁰Sr misurato nelle vertebre umane e nei denti di latte ammonta soltanto ancora a 0.03 Bq/g Ca.

2. Dosi d'irradiazione esterna

2.1. Radiazione naturale

I contributi principali alla dose d'irradiazione derivano dalla radiazione terrestre e da quella cosmica. La prima proviene dai radionuclidi naturali contenuti nel suolo e nei materiali di costruzione, la seconda dipende dall'altitudine dato che l'involucro atmosferico della Terra ne attenua l'impatto¹²⁾. In media, l'intensità di dose all'aperto in Svizzera è di 90 nSv/h, con valori compresi tra 40 e circa 230 nSv/h. Per effetto dei radionuclidi naturali contenuti nel materiale di costruzione, la radiazione all'interno delle case supera quella all'aperto del 10 per cento circa.

2.2. Radioattività artificiale

Le ricadute radioattive dell'incidente nel reattore di Cernobil nell'aprile del 1986 e degli esperimenti in superficie con armi nucleari contribuiscono soltanto ancora con una piccola percentuale all'intensità di dose esterna¹³⁾. Il Ticino costituisce un'eccezione: qui il contributo di tali componenti ammonta tuttora fino ad un massimo del 30 per cento.

Per effetto delle radiazioni dirette, i valori in alcuni punti presso i recinti delle centrali nucleari di Mühleberg e Leibstadt (radiazione di ¹⁶N dal reattore ad acqua bollente), dello PSI e del CERN possono talvolta salire fino ad alcune centinaia di nSv/h. Poiché nessuno si trattiene tuttavia a lungo in questi luoghi, le dosi individuali che ne derivano sono irrilevanti¹⁴⁾.

2.3. Aeroradiometria¹⁵⁾

Ogni anno, alcune regioni scelte sono oggetto di misure operate dall'aria per mezzo di uno spettrometro gamma al NaI trasportato a bordo di un elicottero dell'esercito (aeroradiometria). L'elicottero sorvola le regioni in questione ad un'altezza di circa 100 metri dal suolo, seguendo una griglia di linee parallele. Un programma d'analisi dei risultati allestisce quindi una carta radiometrica della regione sorvolata. In caso d'incidente, questo strumento di misura, il cui impiego è coordinato dalla CENAL, permette di allestire rapidamente una cartina della regione contaminata. È inoltre possibile impiegarlo per ricercare fonti radioattive che sono andate perse.

Nell'anno in rassegna sono stati effettuati voli di misurazione nei dintorni delle centrali nucleari di Beznau e di Leibstadt nonché dell'Istituto Paul Scherrer. Non ne sono risultate concentrazioni della radioattività più elevate che negli anni precedenti. In occasione di un'esercitazione internazionale (ECCOMAGS) svolta nell'estate 2002 nella Scozia sud-occidentale, il Ministero della difesa britannico ha negato il permesso di volo alle équipes estere (con elicotteri militari), e non è perciò stato possibile procedere alle misurazioni previste.

3. Dosi d'irradiazione della popolazione

3.1. Radioattività naturale e radiazione cosmica

Il radon (²²²Rn) e i prodotti del suo decadimento nei locali d'abitazione e di lavoro causano il contributo più importante alla dose d'irradiazione. In sé, si tratta di radionuclidi di origine naturale. Le concentrazioni elevate all'interno degli edifici sono tuttavia dovute all'attività umana. La media aritmetica ponderata risultante dalle misure della concentrazione svolte entro il 2002 in circa 47'000 case si aggira sui 75 Bq/m³ (valore mediano: 50 Bq/m³). Presupponendo una permanenza di 7000 ore all'anno nei locali d'abitazione e di 2000 ore sul posto di lavoro e applicando i fattori di dose corrispondenti di 2,44*10⁻⁶ e 3,17*10⁻⁶ mSv all'ora per Bq/m³¹⁶⁾, si ottiene per la popolazione svizzera una dose media d'irradiazione dovuta al radon di 1.6 mSv/anno. Questa cifra include un supplemento del 10 per cento riferito al toron, gas nobile naturale radioattivo di breve durata (²²⁰Rn). Tra l'1 e il 2 per cento della popolazione subisce una dose annua superiore a 10 mSv, lo 0.2 per cento una dose annua superiore a 25 mSv. Secondo stime conservative, il radon sarebbe all'origine di alcuni casi su cento di decesso per cancro ai polmoni.

¹¹⁾ Radionuclidi nell'organismo v. [cap. 6.1 e 6.2].

¹²⁾ Radiazione cosmica v. Rapporto annuale 1999, cap. 10.3:
http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_d.pdf

¹³⁾ Misure della dose v. [cap. 3.1 e 3.2].

¹⁴⁾ Misure nei dintorni delle CN v. [cap. 8.3].

¹⁵⁾ Aeroradiometria v. [cap. 3.3].

¹⁶⁾ cfr. Rapporto annuale 1993, pag. B.2.3.

Radionuclidi naturali penetrano inoltre nell'organismo umano attraverso l'alimentazione, causandovi in media una dose annuale di circa 0.38 mSv, di cui circa la metà rappresenta il contributo del ⁴⁰K. Il resto proviene dai radionuclidi delle catene di decadimento naturali dell'urano e del torio, nonché da quelli di origine cosmica: tritio, ¹⁴C, ⁷Be, ecc.

Un altro contributo alla dose d'irradiazione esterna è quello dei radionuclidi nel suolo. Il loro apporto dipende fortemente dal contenuto locale di radionuclidi nel suolo e dalle abitudini di vita. Nelle regioni abitate della Svizzera, la dose d'irradiazione naturale di origine terrestre all'aperto è compresa tra 0.35 e circa 0.8 mSv/anno. Ad essa si aggiunge il contributo della radiazione cosmica, che cresce con l'altitudine sul livello del mare: 0.35 mSv/ora a Locarno, 0.4 a Zurigo e 0.75 a St. Moritz. La dose d'irradiazione in casa supera quella all'aperto del 10 per cento circa. La dose annuale complessiva derivante da fonti naturali ammonta a circa 3 mSv.

Fonti radioattive naturali (mSv/anno)

Fonte	Media	Margine di variazione
Irradiazione esterna	0.9 ¹⁷⁾	0.5 – 2.0
Alimentazione	0.4 ¹⁸⁾	0.2 – 0.5
Radon nei locali abitati	1.6	da 0,3 a oltre 20 ¹⁹⁾
Totale	3	da 1 a oltre 20

3.2. Dosi d'irradiazione da fonti artificiali

Il maggior contributo antropogeno alla **dose d'irradiazione esterna** è quello derivante dalle applicazioni mediche, nonché dall'esposizione a radiazioni per motivi professionali nelle centrali nucleari, nell'industria, nel commercio, nei servizi pubblici, nella ricerca e nella medicina e dalle cosiddette "fonti minori". Queste ultime sono oggetti d'uso e beni di consumo contenenti sostanze radioattive in piccole quantità. Il contributo dei radionuclidi artificiali nel suolo non può essere indicato che approssimativamente. Conformemente a ipotesi conservative, si tratta, in caso di permanenza duratura all'aperto, di 0.01 a 0.5 mSv/anno. L'ampio margine di variazione è una conseguenza delle differenze regionali della sedimentazione del ¹³⁷Cs dopo l'incidente nel reattore di Cernobil. I contributi delle

centrali nucleari svizzere, dello PSI e del CERN non sono di rilievo.

La **dose d'irradiazione interna** è dovuta a radionuclidi artificiali – soprattutto ¹³⁷Cs e ⁹⁰Sr – assorbiti con l'alimentazione. Secondo le misure dell'intero organismo svolte nelle scuole, la dose dovuta al ¹³⁷Cs incorporato è inferiore a 1 µSv/anno.

Complessivamente, la dose d'irradiazione dovuta alla **radioattività artificiale** (senza la medicina e le fonti minori) oscilla, per la maggioranza della popolazione svizzera, tra 0.01 e 0.05 mSv/anno, con punte massime di 0.1 mSv/anno.

Accidente di Cernobyl imparte su la Svizzera vedere:

<http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/cherno2003.pdf>

Fonti radioattive artificiali (mSv/anno)

Fonte		Media	Margine di variazione
Medicina	radiodiagnostica ²⁰⁾	1	0 – 30
	medicina nucleare ²¹⁾	0.04	0 – 80
"Fonti minori"	oggetti d'uso e beni di consumo contenenti sostanze radioattive ²²⁾	0.1	0 - ?
Radioattività artificiale diffusa su vasta scala	Cernobil	0.01	fino a 0,5
	ricadute delle armi nucleari	< 0.01	
	⁸⁵ Kr proveniente dalla rigenerazione	0.02	
Immissioni radioattive	impianti e centrali nucleari	≈ 0	fino a 0,015
Esposizione a radiazioni per motivi professionali	65 079 persone professionalmente esposte ²³⁾	0.07	< 20 * 98.% < 1

*) valore compreso tra 20 e 50

¹⁷⁾ di cui 0,35 mSv/anno dalla radiazione cosmica a 300 m d'altitudine. Un volo dalla Svizzera all'America del Nord causa una dose addizionale di 0,04 mSv. Il personale di volo e le persone che volano spesso subiscono una dose addizionale di 3 mSv/anno; v. Rapporto annuale 1999 cap. 10.3.: http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_d.pdf

¹⁸⁾ di cui (in µSv/anno): ⁴⁰K = 200; ⁸⁷Rb = 6; ³H = 0,01; ⁷Be = 3; ¹⁴C = 12; ²²Na = 0,2; U, Th e Ra = 30; ²¹⁰Pb + ²¹⁰Bi + ²¹⁰Po = 120 µSv/anno.

¹⁹⁾ oltre 10 mSv/anno per 1 a 2 % della popolazione e oltre 25 mSv/anno per lo 0,2%.

²⁰⁾ Rilevazioni IRA/UFSP 1996-99 v. Rapporto annuale 1999 cap. 10.1 http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_d.pdf

²¹⁾ Dati rilevati nel 1989/90, J. Roth, Ospedale cantonale di Basilea Città.

²²⁾ Ad esempio: orologi con cifre luminescenti al tritio, radionuclidi naturali nelle piastrelle, Th in reticelle e ceramica dentaria, avvisatori di fumo a ionizzazione, ²¹⁰Po nel fumo delle sigarette, ecc.

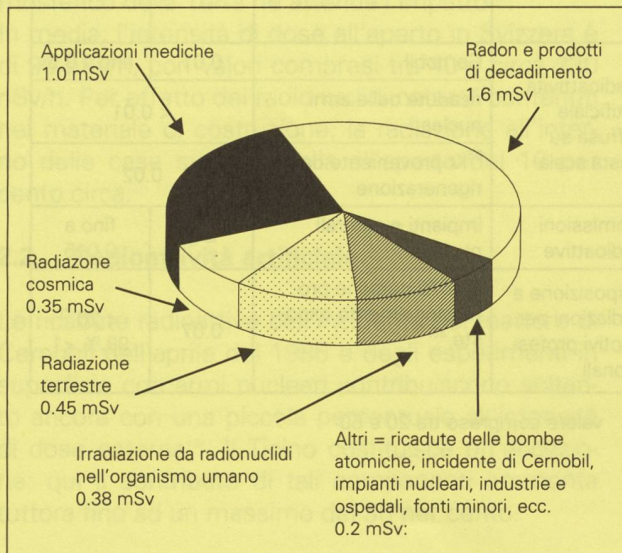
²³⁾ nelle centrali nucleari, la ricerca, l'industria ed i servizi pubblici. Fonte: Rapporto sulla dosimetria dell'UFSP 2002; v inoltre <http://www.bag.admin.ch/strahlen/ionisant/dosimetrie/pdf/2002-df.pdf>

Esempi (in mSv/anno):

¹³⁷ Cs nel latte	1 l/giorno contenente 10 Bq/l (= valore di tolleranza)*	0.05
¹³⁷ Cs nei funghi selvatici	200 g/settimana contenenti 600 Bq/kg (= valore di tolleranza)*	0.09
²²⁶ Ra nell'acqua minerale	1 l/giorno contenente 1 Bq/l (= valore limite)*	0.08
¹⁴ C negli ortaggi	200 g /giorno di ortaggi coltivati nelle vicinanze dell'impianto d'incenerimento dei rifiuti speciali di Basilea	0.002
³ H nell'acqua piovana impiegata come acqua potabile	2,2 l/giorno (da 1000 Bq/l) prelevati nei dintorni di un'azienda di lavorazione del tritio	0.01
¹³⁷ Cs nel suolo in Ticino	1 anno di lavoro in un campo con la massima concentrazione di Cs in Ticino	0.1
Irradiazione diretta (dintorni di una centrale nucleare)	1 h/giorno presso il recinto della centrale nucleare	0.1

* secondo l'OEC

Esposizione a radiazioni della popolazione svizzera in media, in mSv/anno (totale: 4 mSv/anno)



Prefissi delle unità di misura

fBq	femto	10 ⁻¹⁵
pBq	pico	10 ⁻¹²
nBq	nano	10 ⁻⁹
μBq	micro	10 ⁻⁶
mBq	milli	10 ⁻³

kBq	chilo	10 ³
MBq	mega	10 ⁶
GBq	giga	10 ⁹
TBq	tera	10 ¹²
PBq	peta	10 ¹⁵

4. Definizioni, unità di misura e norme legali

La **radioattività** è la caratteristica dei nuclei atomici instabili, di trasformarsi senza intervento esterno (decadimento radioattivo), emettendo una radiazione (ionizzante) caratteristica in forma di particelle alfa o beta e di quanti gamma. Sostanze radioattive naturali si trovano da sempre nell'ambiente; quelle artificiali si liberano durante l'esplosione di armi nucleari o provengono da impianti nucleari, nonché aziende ed ospedali che lavorano con radionuclidi.

La **radioattività** di una sostanza si misura in Becquerel (Bq). Un Bq corrisponde ad una disintegrazione radioattiva al secondo. I prefissi e il loro significato sono indicati nella tabella su questa pagina. Una volta, l'unità in uso era il Curie (Ci); 1 nCi = 37 Bq o, rispettivamente, 1 Bq = 27 pCi.

Per valutare il **rischio d'irradiazione** incorso dalla popolazione, si determina la **dose efficace (E)** in mSv o μSv. Quest'ultima tiene conto del fatto che gli organi umani sono variamente sensibili all'irradiazione e che i diversi tipi di radiazioni non producono tutti i medesimi effetti biologici. Per determinare la dose efficace, si stabilisce dapprima l'energia radioattiva assorbita nei singoli organi (*dose energetica*), ponderata con un fattore riferito alla densità di ionizzazione della radiazione (*fattore di ponderazione della radiazione w_R*). Sommando le dosi di ogni organo, ponderate con un fattore riferito alla sensibilità di quest'ultimo alle radiazioni (*fattore di ponderazione del tessuto w_T*), si ottiene quindi la dose efficace. Si ha così una dose teorica riferita all'intero organismo che comporta il medesimo rischio d'irradiazione come le singole dosi di ogni organo. I risultati intermedi (dose energetica D, equivalente di dose H) e i fattori di ponderazione impiegati sono spiegati alla pagina C-1.

Conformemente all'**Ordinanza sulla radioprotezione (ORaP)**, le dosi d'irradiazione della popolazione in seguito alla radioattività legata alla civilizzazione e alle radiazioni presenti nell'ambiente - esclusi il radon e le applicazioni mediche - non devono superare 1 mSv all'anno. Per le persone professionalmente esposte a radiazioni è fissato un limite di 20 mSv all'anno. L'Ordinanza pone inoltre limiti all'immissione di sostanze radioattive nell'aria e nelle acque pubblicamente accessibili. Questi limiti sono fissati in modo tale che una persona che bevessa sempre acqua o respirasse aria appena conformi alle norme subirebbe, per ognuno di questi mezzi, un'irradiazione di 0.2 mSv all'anno. Per l'irradiazione diretta, il valore limite è di 5 mSv all'anno nelle aree pubblicamente accessibili e di 1 mSv all'anno nei locali di abitazione, di soggiorno e di lavoro. Valori limite e di tolleranza per i radionuclidi nelle derrate alimentari sono pubblicati nell'Ordinanza sulle sostanze estranee e sui componenti nelle derrate alimentari (OEC). Quello che conta per la radioprotezione è il valore limite, mentre il valore di tolleranza costituisce unicamente un criterio di qualità e il suo superamento non comporta alcun rischio. L'evacuazione di sostanze radioattive nell'ambiente deve, in ogni caso, essere controllata. L'autorità cui compete il rilascio delle licenze fissa i limiti d'immissione. Per gli impianti nucleari, questi sono ad esempio scelti in modo tale che, anche nelle immediate vicinanze, nessuno subisca una dose addizionale superiore a 0.2 mSv all'anno (valore operativo di dose riferito alla sorgente secondo l'art. 7 ORaP). Il limite di concentrazione del radon nei locali d'abitazione e di soggiorno è fissato a 1000 Bq/m³. Edifici che presentano valori superiori a questo limite devono essere risanati. Gli edifici nuovi e quelli riattati non dovrebbero superare un limite operativo di 400 Bq/m³.

A

Environmental Radioactivity and Radiation Doses in Switzerland in 2002: Summary

H. Völkle

Environmental Radioactivity Section (SUER)
Swiss Federal Office of Public Health (FOPH / BAG),
Chemin du Musée 3, CH-1700 FRIBOURG

(For further information: Tel. +41 (0)26 300 9161; e-mail: hansruedi.voelkle@bag.admin.ch)

Summary ¹⁾

This Part of the Report (Part A) summarises the results obtained from monitoring radioactivity in the environment in 2002:

- 1) Radioactivity in the environment,
- 2) External radiation,
- 3) Radiation doses.

In deciding on the programme of measurements, the sampling stations and the analytical techniques, due consideration is given to adequate redundancy in order to satisfy the objective of including all sources of natural and artificial radiation and of considering the most important transport and enrichment processes in the environment. What is involved is thus more than a straightforward monitoring programme, since it includes interdisciplinary research projects too. The reference parameters for assessing the results are the dose and ambient air-concentration limits as laid down in the Swiss Federal Radiological Protection Ordinance (StSV, Strahlenschutzverordnung) of 1994 and the tolerance and limit values for food laid down in the Swiss Federal Ordinance on Food Contents and Contaminants ("FIV", Fremd- und Inhaltsstoffverordnung).

The calculation of the population's radiation doses is based on the models and dose factors contained in the Radiological Protection Ordinance, which are based, in turn, on the recommendations of the International Commission for Radiological Protection (ICRP) and apply for people who may be considered as average members of the population in terms of their lifestyle and nutritional habits.

The ICRP recommends a way of catering for the risk resulting from radiation that is not distributed evenly: radiation-risk factors are established for the various irradiated human organs. These take into account:

- 1) death through cancer,

- 2) reduction in life expectancy (premature death) as a consequence of a disease,
- 3) reduction in the quality of life as the consequence of a disease,
- 4) sufferings with a genetic cause.

These risk factors have been derived primarily from investigations carried out on the survivors of the atomic bombs dropped on Hiroshima and Nagasaki. The working assumption is that radiation damage increases linearly from the lowest dose range up to high dose levels. There is no available means of verifying this assumption for the low end of the dose range. It is largely based on the recognised fact that even small doses can cause cell damage that may lead to illnesses. It makes sense to add these to the spontaneous damage that exists anyway, triggering spontaneous occurrences of cancer.

In Switzerland, both the values for radioactivity in the environment and the population's radiation doses from artificial radiation sources have to date always been way below the statutory limits, and the corresponding radiation risk is thus low. The situation is different as far as radon, a radiation source occurring naturally, is concerned, and its higher values in residential buildings (see chapter 2) are probably responsible for a few percent of the lung-cancer deaths in Switzerland.

1. Radioactivity in the environment

1.1. Atmosphere ²⁾

Artificial radionuclides in the atmosphere, such as ¹³⁷Cs (less than 0.1 mBq/m³), ²³⁹Pu and ²⁴¹Am, are only detectable at trace levels (if at all). In Klingnau (Canton Aargau), for instance, traces of ⁶⁵Zn and ^{110m}Ag from the Paul Scherrer Institute (PSI) incineration plant were detected as was ²⁴Na at CERN,

¹⁾ **References** to chapters in Part B of the present Report or to earlier annual reports are contained in square brackets; references to Part A (this part) are in round brackets. **Units** are listed on page A.24.

²⁾ For atmosphere, see: [sections 4.1 and 7.1; for Pu and Am: 7.2]

from its accelerators. With a mean of 1.3 Bq/m³, ⁸⁵Kr from the reprocessing of nuclear fuels (in the European facilities of La Hague in France and Sellafield in the United Kingdom) has displayed an increasing trend in recent years. Tritium (³H) reaches values of up to approximately 20 Bq/m³ in atmospheric moisture in the near vicinity of tritium-processing plant (which is 1% of the limit value for ambient concentrations laid down in the Swiss Federal Radiological Protection Ordinance). RADAIR, the automatic monitoring network for radioactivity in the atmosphere, functioned satisfactorily in 2002, with an availability in the range of 96–99%, without showing any unduly high values.

In the air (especially inside buildings) the principal component of radioactivity comes from the natural inert gas **radon**³⁾. Most of this penetrates the buildings from the subsoil, depending on how permeable it is. On the contrary, neither building materials nor water lead to increased radon concentrations in Switzerland. Radon's radioactive decay nuclides may trigger lung cancer through their alpha radiation. The Swiss radon database now contains measurements from some 47'000 residential buildings (with a total of 91'000 measurements, 53'500 of them in rooms regularly occupied). In 1960 regularly occupied rooms the measurements exceeded the guideline value (400 Bq/m³) and in 590 of them they exceeded the limit value (1000 Bq/m³). These figures do not include those buildings that have already had remedial work performed on them. The term "radon-affected areas" is applied to all regions with a mean value greater than 200 Bq/m³ or a single measurement in excess of the limit value. So far 2680 of the 2900 communes in Switzerland have had measurements made in them (the "commune" being the geographic unit of local government). Once corrections have been made to account for different floors in buildings and regional population concentrations, the resulting arithmetical mean for Switzerland as a whole is 75 Bq/m³, with a median value of 50 Bq/m³. Higher radon concentrations occur especially in the cantons of Graubünden (Grisons), Ticino (Tessin), Neuchâtel (Neuenburg) and Jura, with isolated occurrences in the Swiss Mittelland too. Dwellings with elevated radon values (a few thousand taking Switzerland as a whole) have remedial engineering work performed on them. Such work has already been carried out on a number of other buildings too, especially schools and kindergartens.

1.2. Precipitation⁴⁾

In precipitation, it is **tritium** (³H) that predominates

and today it still has a few Bq/l, reaching a maximum of 12 Bq/l in areas affected by industrial operations and nuclear facilities. Its natural component, produced by cosmic radiation, is a few tenths of a Bq/l. In the immediate vicinity of plant processing tritium or incinerating waste, values of just short of 1800 Bq/l have been recorded. For water to which the public has access, the ambient concentration limit laid down in the Swiss Federal Radiological Protection Ordinance is 12'000 Bq/l. The tolerance value for drinking water laid down in the Swiss Federal Ordinance on Food Contents and Contaminants ("*FIV*", *Fremd- und Inhaltsstoffverordnung*) is 1000 Bq/l.

Other **artificial radionuclides**, such as ¹³⁷Cs, displayed less than a few mBq/l in all the monthly samples. Naturally-occurring ⁷Be, which is produced by cosmic radiation, was between 0.1 and 1.5 Bq/l.

1.3. Aquatic systems

The **tritium content** of rivers is also generally only a few Bq/l. One exception to this was the River Rhine downstream of Basel, where a value of 8 Bq/l was determined in April. This was found to have been caused by the nuclear power station in Gösgen, but was still within its permitted limits (see page B.8.0.1). In the industrialised regions, a weak effect is detectable caused by local emitters. Tritium pollution from the clock and watch industry in and around La Chaux-de-Fonds has declined in recent years, one reason being that the use of tritium for fluorescent clock digits has declined and another being that waste containing tritium is now collected and less of it thus makes its way into the regional waste-incineration facilities.

In aggregate monthly samples taken from the rivers Aare, Rhine, Rhone and Ticino, the level of artificial radioactivity (without Tritium) was less than 7 mBq/l in 2002. Upstream of the nuclear installations, the only artificial radionuclide to be detected was ¹³⁷Cs from fallout and Chernobyl⁵⁾, whereas downstream of them there were also traces of ⁵⁸Co and ⁶⁰Co and isolated cases of ⁵⁴Mn too.

Sediment samples taken from the rivers downstream of the nuclear installations make it possible to draw up a balance of the liquid discharges from the nuclear-power stations (⁵⁴Mn: up to 6 Bq/kg, ⁶⁰Co: up to 56 Bq/kg, ⁵⁸Co: up to 4 Bq/kg and ¹³⁷Cs: up to 22 Bq/kg) and the contribution due to the Chernobyl reactor accident⁶⁾.

³⁾ For radon, see: [section 2]

⁴⁾ For rain, see: [sections 4.1, 7.1 and 9.1]

⁵⁾ See: [sections 4.2 and 4.4]

⁶⁾ See: [sections 4.2 and 4.4]

Effluents from the **sewage works** serving the larger conurbations show isolated traces of ^{131}I from nuclear medicine (< 1.5 Bq/l) and also tritium values of up to approximately 500 Bq/l; this latter is derived from industrial applications, tritium clocks and watches and miscellaneous waste containing tritium disposed of as general waste. At the waste-incineration facility in La Chaux-de-Fonds the amount of tritium discharged has declined steadily in recent years and was down at a level of 1.9 TBq in 2002, whereas in 1990 it was still as high as 42 TBq. In 2002, 13.5 TBq of ^3H were still being processed by industrial operations in the town of La Chaux-de-Fonds ⁷⁾.

1.4. Soil ⁸⁾

In the soil, which is a good integrator for all airborne deposits, the natural decay series of uranium (25-60 Bq/kg) and thorium (15-40 Bq/kg) vary according to the geological substrate. In the case of ^{40}K (200-1000 Bq/kg), which is also a naturally-occurring isotope, the application of potassium fertilisers plays a part. The artificial radionuclides display regional differences too, and these are linked to the fallout from the atmospheric nuclear-weapons tests and the Chernobyl reactor accident. It is noticeable that the Chernobyl component is less evenly distributed than the fallout component, which is explained by the differing amounts of precipitation at the time of that accident. The more strongly affected districts were Canton Ticino and the southern valleys of Canton Graubünden and, to a lesser extent, Canton Jura and parts of northeast Switzerland. The values of ^{137}Cs (up to 200 Bq/kg) and ^{90}Sr (up to 20 Bq/kg) are still higher in the Central and Southern Alps than in the Swiss Mittelland. Soil samples near Studen (Canton Schwyz) in the upper Sihl Valley showed up to 165 Bq/kg ^{137}Cs , 6.9-13.4 Bq/kg ^{90}Sr , 0.9-2.1 Bq/kg $^{239+240}\text{Pu}$ and 0.33-0.79 Bq/kg ^{241}Am . No evidence was found of the soil being affected by the nuclear installations. Amongst the artificial alpha sources, $^{239+240}\text{Pu}$ caused between 0.02 and 1.6 Bq/kg dry matter and ^{241}Am between 0.01 and 1.5 Bq/kg, with the values measured in the Swiss Mittelland being lower than those in the Jura and Alps. The mean $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ ratio was 0.028, whilst that of $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ was 0.41.

1.5. Plants and food ⁹⁾

In samples of **grass** and foodstuffs, it is the naturally-occurring ^{40}K that dominates. Artificial radionuclides, such as ^{137}Cs or ^{90}Sr from the Chernobyl reactor accident and/or the nuclear-weapons tests, which plants assimilate through their roots,

⁷⁾ See: [sections 4.1, 4.2 and 9.1]

⁸⁾ For soil, see: [sections 4.3 and 7.2]

⁹⁾ For grass and food respectively, see: [sections 4.3 and 5.1]

have now declined to trace levels only. There is no discernible evidence of any effect from the Swiss nuclear power stations or research facilities. The regional distribution of radioactivity matches the pattern for the soil, with up to 26 Bq/kg dry matter for ^{137}Cs in Ticino and up to 17 or 39 Bq/kg dry matter for ^{90}Sr in Ticino and the Alps respectively. In **milk**, the ^{137}Cs content was consistently below 2 Bq/l (with the exception of Ticino, with a maximum of 19 Bq/l). The ^{90}Sr content in milk in the Swiss Mittelland and Jura was between 0.02 and 0.16 Bq/l, in the Alps between 0.5 and 2.2 and in Ticino between 0.2 and 0.4 Bq/l. Sixteen **samples of cereals** yielded less than 0.6 Bq/kg for ^{137}Cs and between 0.2 and 0.8 Bq/kg for ^{90}Sr .

Amongst indigenous **fungi**, boletus and some other species are sometimes still showing higher values of up to approximately 300 Bq/kg fresh weight, although with a downwards trend. None of the samples exceeded the tolerance value of 600 Bq/kg. This also applies to imported fungi, whose ^{137}Cs values reached a maximum of 530 Bq/kg (hedgehog fungus, *Hydnum repandum*). Switzerland continued to require radioactivity certificates for imported fungi.

The measurements made on imported **venison** (roe deer and red deer) still produced ^{137}Cs values of up to 32 Bq/kg. An in situ sampling measurement with a dose-rate measuring device was made on the 188 wild boars shot in Canton Ticino in the winter of 2002/03, in order to give the cantonal veterinary surgeon the necessary information to decide on releasing them for human consumption. In the case of one animal, that had markedly higher values than all the others and had to be confiscated, the subsequent laboratory measurements produced a figure of 6950 Bq/kg ^{137}Cs . For all the other animals the values measured were very much lower, so no particular action needed to be taken.

1.6. Carbon-14 in plants ¹⁰⁾

^{14}C is taken up by plants when they assimilate carbon dioxide from the atmosphere during their growth phase. In the 1960s, the nuclear-weapons tests led to a doubling compared with natural ^{14}C produced by cosmic radiation. Today, its share is still around 80 % and is measured at the reference station just outside of Berne. Foliage from trees in the vicinity of the two boiling-water nuclear power stations, Mühleberg and Leibstadt, shows an additional increase of 40-240 %. No increase compared with the reference station was determined in the neighbourhood of the pressurised-water reactors in Beznau and Gösigen, the PSI and No-

¹⁰⁾ For ^{14}C measurements, see: [section 7.1]

vartis's incinerator in Basel, but there were higher values of up to 330 ‰ on the site formerly occupied by Sandoz and at Roche. The natural ^{14}C component in plants, which is caused by cosmic radiation, amounts to 227 Bq/kg C and leads to 0.013 mSv per annum. An additional ^{14}C activity of 100% leads to a hypothetical maximum (effective) dose of roughly one thousandth of a sievert per annum.

1.7. Radionuclides in the human body ¹¹⁾

Whole-body measurements and ^{90}Sr determinations in milk teeth and vertebrae are used to establish the actual uptake of radionuclides with food. Whole-body measurements on people in Basel showed ^{137}Cs activity of up to 23 Bq in women and up to 38 Bq in men. Amongst the 595 individuals at the PSI who were measured as part of the personnel monitoring programme the maximum value was around 300 Bq, whilst 96.6% of them were below the detection limit of 60 Bq. The naturally occurring ^{40}K amounts to around 3300 Bq in women and 4500 Bq in men. In human vertebrae and milk teeth, the ^{90}Sr content still stood at 0.03 Bq/g Ca.

2. External radiation doses

2.1. Natural radiation

The principal contributions to the external radiation dose come from terrestrial and cosmic radiation. The first of these comes from natural radionuclides in the soil and in building materials; the second depends on altitude above sea-level, since it is attenuated through the atmospheric layer that shrouds the Earth ¹²⁾.

The mean outdoor dose rate in Switzerland is around 90 nSv/h and varies within a range of 40 and approximately 230 nSv/h. The indoor dose is around 10% higher than the outdoor one on account of the natural radionuclides in building materials.

2.2. Artificial radioactivity

Today, the radioactive fallout from the Chernobyl reactor accident of April 1986 and the atmospheric nuclear-weapons tests accounts for only a few percent of the external dose rate, with the only exception being Canton Ticino, where this contribution still amounts to up to 30% ¹³⁾.

There are a few places right next to the perimeter fences around the nuclear power stations in Mühleberg and Leibstadt (^{16}N radiation from the boiling-water reactor), the PSI and CERN where values of up to a few hundred nSv/h occur at times as a result of direct radiation. Since people spend so little time in such locations, the resultant individual doses are insignificant ¹⁴⁾.

2.3. Aerial radiometry ¹⁵⁾

Every year, a NaI gamma spectrometer mounted onboard a Swiss army helicopter is used to measure selected regions from the air. The areas under investigation are flown over at an altitude of approximately 100 m in a grid pattern of parallel trajectories. The evaluation program then generates a radiation map of the territory flown over. Using the device, whose deployment is coordinated by the Swiss National Alarm Centre, it is possible to produce a map of contaminated territory quickly after an accident; it can also be used to look for any radiation sources that have been lost.

The areas surveyed in 2002 were the neighbourhoods of the nuclear power stations in Beznau and Leibstadt and the PSI. The results show no increase in radioactivity compared with earlier years. During an international measuring exercise (EC-COMAGS) in the southwest of Scotland in the summer of 2002, measurement teams with military aircraft from outside of the United Kingdom were not given flying permits by the U.K. Ministry of Defence, so that it proved impossible to make the planned measurements.

3. Population's radiation doses

3.1. Natural and cosmic radiation

The biggest single radiation-dose contribution comes from radon (^{222}Rn) and its decay products in residential and work premises. In terms of its origin, this radiation is natural, but the increased concentrations to which people are subjected indoors are caused by civilisation. Surveys carried out in around 47'000 residential buildings in Switzerland up until the year 2002 resulted in a weighted arithmetical mean of 75 Bq/m³ (and a median of 50 Bq/m³). Working on the assumptions that a person spends 7000 hours at home every year and 2000 hours at his or her place of work and that the dose factors are $2.44 \cdot 10^{-6}$ and $3.17 \cdot 10^{-6}$ mSv per Bq/m³ per hour for these two places respectively ¹⁶⁾, then the resulting mean

¹¹⁾ For radionuclides in the body, see: [sections 6.1 and 6.2]

¹²⁾ For cosmic radiation, see also the 1999 annual report, section 10.3:

http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_d.pdf

¹³⁾ For dose measurements, see: [sections 3.1 and 3.2]

¹⁴⁾ For measurements near the nuclear facilities see: [section 8.3]

¹⁵⁾ For aerial radiometry, see: [section 3.3]

¹⁶⁾ Cf. 1993 Annual Report, page B.2.3

radon dose for the Swiss population is 1.6 mSv per annum. This figure includes a 10% allowance for the short-lived natural radioactive inert gas thoron (²²⁰Rn). For about 1–2% of the population the dose stands at 10 mSv/a and for 0.2% at 25 mSv/a. According to conservative estimates, radon is likely to be responsible for a few percent of the lung-cancer deaths.

Naturally occurring radionuclides also make their way into the body in food and lead to mean annual doses of around 0.38 mSv, with ⁴⁰K accounting for about half of this. The rest comes from the nuclides of the natural decay series of uranium and thorium as well as from the cosmogenic radionuclides, tritium, ¹⁴C, ⁷Be, etc.

Naturally occurring radionuclides in the soil also contribute to the external radiation dose. Their actual contribution depends very much on the local radionuclide content of the soil and people's living habits. The natural terrestrial radiation dose outdoors in populated regions of Switzerland lies in the range of 0.35 to approximately 0.8 mSv per annum. Added to this is the contribution from cosmic radiation, which increases with altitude above sea-level; examples are: Locarno = 0.35, Zurich = 0.4 and St. Moritz = 0.75 mSv per annum. Inside dwellings, the dose is roughly 10% higher than outdoors. The total annual dose from natural sources is around 3 mSv.

Natural radiation sources (mSv/a)

Source	Mean	Value range
External radiation	0.9 ¹⁷⁾	0.5 – 2.0
Food	0.4 ¹⁸⁾	0.2 – 0.5
Radon in the home	1.6	0.3 – > 20 ¹⁹⁾
Total	3	1 – > 20

3.2. Doses due to artificial radioactivity

The contribution to the **external radiation dose** comes mainly from medical applications and exposure to radiation at the place of work in nuclear power stations, industries, trades and crafts, public services, research and medicine and also from so-called "minor sources". This latter category includes consumer and utilitarian goods that con-

tain minute amounts of radioactivity. It is not possible to do more than give an approximate indication of the contribution that artificial radionuclides in the soil make to the external dose. Working on the basis of conservative assumptions, a person spending the whole time outdoors receives between 0.01 and 0.5 mSv per annum. This large scatter band is a consequence of the regional differences in the ¹³⁷Cs deposits following the Chernobyl reactor accident. The Swiss nuclear power stations, the PSI and CERN do not make any significant contribution.

The **internal radiation dose** comes mainly from artificial radionuclides (principally from ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr) in food. Whole-body measurements made on school classes showed doses of incorporated ¹³⁷Cs of less than 1 micro-Sv per annum.

Taken as a whole, the annual radiation dose for the majority of people living in Switzerland caused by **artificial radioactivity** (but excluding medicine and minor sources) lies within the range of 0.01 to 0.05 mSv; in individual cases, it is up to 0.1 mSv p.a.

Chernobyl in Switzerland: see

<http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/cherno2003.pdf>

Artificial radiation sources (mSv/annum)

Source		Mean	Value range
Medicine	X-ray diagnosis ²⁰⁾	1	0–30
	Nuclear medicine ²¹⁾	0.04	0–80
"Minor sources"	Radioactive substances in utilitarian objects and consumer goods ²²⁾	0.1	0 - ?
Artificial radioactivity spread on a large scale	Chernobyl	0.01	up to 0.5
	Fallout from nuclear weapons		< 0.01
	⁸⁵ Kr from nuclear re-processing		0.02
Radioactive ambient concentrations	Industrial operations and nuclear installations	≈ 0	up to 0.015
Exposure to radiation at the workplace	65 079 individuals exposed to radiation on account of their occupation ²³⁾	0.07	< 20 ^{*)} 98. % < 1

*) A value between 20 and 50

¹⁷⁾ Including 0.35 mSv p.a. due to cosmic radiation at 300 m. A single flight between Switzerland and North America results in an additional 0.04 mSv; on average, airline crews and frequent fliers are subject to approximately 3 mSv p.a. on top of this; cf. 1999 Annual Report, section [10.3]: http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_d.pdf

¹⁸⁾ Including the following in micro-Sv per annum: ⁴⁰K = 200; ⁸⁷Rb = 6; ³H = 0.01; ⁷Be = 3; ¹⁴C = 12; ²²Na = 0.2; U, Th and Ra = 30; ²¹⁰Pb + ²¹⁰Bi + ²¹⁰Po = 120 micro-Sv p.a.

¹⁹⁾ In excess of 10 mSv/a for 1 to 2 % of the population and in excess of 25 mSv/a for 0.2% of the population.

²⁰⁾ IRA/FOPH survey 1996-99; cf. 1999 Annual Report, section [10.1]:

http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_d.pdf

²¹⁾ 1989/90 survey by J. Roth, Kantonspital Basel-Stadt

²²⁾ Examples include clocks/watches with tritium fluorescent digits, natural radionuclides in tiles, thorium in fluorescent lights or dental ceramics, ionising smoke detectors, ²¹⁰Po in cigarette smoke, etc.

²³⁾ In nuclear power stations, medicine, research, industry and public services. Source: FOPH Dosimetry Report for 2002, see also (in German):

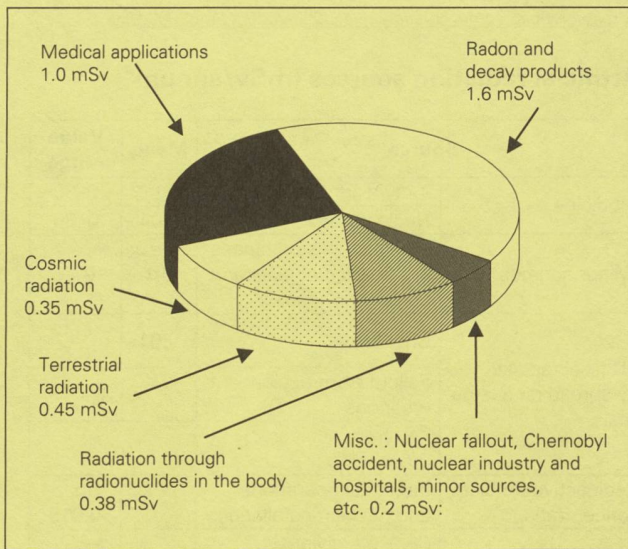
<http://www.bag.admin.ch/strahlen/ionisant/dosimetrie/pdf/2002-df.pdf>

Selected examples (mSv p.a.)

¹³⁷ Cs in milk	1 l/day with 10 Bq/l (= TV)	0.05
¹³⁷ Cs in wild fungi	200 g/week with 600 Bq/kg (= TV)	0.09
²²⁶ Ra in mineral water	1l/Tag with 1 Bq/l (= LV)	0.08
¹⁴ C in vegetables	200 g per day of vegetables grown near the hazardous-waste incineration plant in Basel ²⁴⁾	0.002
³ H in rainwater used as drinking water	2.2 l/day from the neighbourhood of a tritium-processing plant (1000 Bq/l)	0.01
¹³⁷ Cs in the soil in Ticino	Work during a whole year in a field with the highest Cs burden in Ticino	0.1
Direct radiation (vicinity of nuclear power stations)	1 hour/day at the perimeter fence of the Leibstadt nuclear power station	0.1

(LV = limit value and TV = tolerance value as laid down in "FIV", the Swiss Federal Ordinance on Food Contents and Contaminants)

Mean radiation exposure of the Swiss population in mSv p.a. (Total: 4 mSv p.a.):



Prefixes and their meaning

fBq	femto	10 ⁻¹⁵
pBq	pico	10 ⁻¹²
nBq	nano	10 ⁻⁹
µBq	micro	10 ⁻⁶
mBq	milli	10 ⁻³

kBq	kilo	10 ³
MBq	Mega	10 ⁶
GBq	Giga	10 ⁹
TBq	Tera	10 ¹²
PBq	Peta	10 ¹⁵

4. Definitions, units and regulations

Radioactivity is a property of instable atomic nuclei to change (undergoing radioactive decay) without external influences, and, in the process, to emit a characteristic (ionising) radiation in the form of alpha or beta particles as well as gamma quanta. Natural radioactive substances have always been present in the environment; artificial ones are released in nuclear-weapons explosions, but may also originate from nuclear power stations or factories or hospitals that process radionuclides.

The unit used for indicating the **radioactivity** of a substance is the Becquerel (Bq). One Becquerel corresponds to a single radioactive decay per second. The various prefixes that are used and their meanings are indicated in the table above. In the past, a unit called the "Curie" (Ci) used to be used; 1 nCi = 37 Bq and 1 Bq = 27 pCi.

In order to be able to assess the population's **radiation risk**, the **effective dose (E)** is determined in millisieverts (mSv) or microsieverts (µSv). This takes into consideration the fact that the various organs of the human body have different radiation sensitivities and that the various types of radiation have different biological effects. Determination of the effective dose starts with the radiation energy absorbed in the individual organs (*energy dose*). This is then weighted with a factor which considers the ionising density of the radiation (*radiation weighting factors, w_R*). In order to arrive at the effective dose, the individual doses of all irradiated organs are added together and weighted in accordance with their radiation sensitivity (*tissue weighting factors, w_T*). This provides us with a theoretical whole-body dose, which causes the same radiation risk as the individual organ doses. Each of the intermediate steps (energy dose, D, equivalent dose, H), as well as the weighting factors used, are explained on page C-1/2.

The Swiss **Federal Radiological Protection Ordinance** ("StStV", *Strahlenschutzverordnung*,) states that the doses for the population resulting from radioactivity caused by civilisation and radiation in the environment should not exceed 1 mSv per annum - a figure which does not include radon and medical applications. For people exposed to radiation as a result of their occupation, it lays down a maximum figure of 20 mSv per annum. It also establishes limit values for ambient concentrations in the atmosphere and water in places accessible to the public. If such limits are used to the full in terms of a continuous load in drinking water and the air breathed, they result in an additional approximately 0.2 mSv per annum each. For direct radiation, a limit of 5 mSv per annum applies to ambient doses in places accessible to the public, and 1 mSv per annum applies in the home, at the place of work and in other buildings where people congregate. Tolerance and limit values for radionuclides in food are published in the Swiss Ordinance on Food Contents and Contaminants ("FIV", *Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe*). What is of relevance from the radiological-protection point of view is the limit value, whereas the tolerance value represents a purely qualitative criterion and does not, of itself, represent a radiation risk. Radioactive substances may only be released into the environment in a controlled manner, and the licensing authority lays down discharge limits. For the nuclear power stations, for instance, these are chosen in such a way that no person in the immediate vicinity can be subject to an additional dose in excess of 0.2 mSv per annum (source-related dose as laid down in Article 7 of the Ordinance). For radon gas, the maximum value applicable to residential accommodation and other buildings in which people congregate is 1000 Bq/m³. If these maxima are exceeded, then remedial work must be performed on the buildings concerned. For new or converted buildings, the guideline value of 400 Bq/m³ should not be exceeded.

²⁴⁾ Hazardous-waste incineration plant Basel-Stadt