

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

Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz

Band: - (2000)

Rubrik: Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 2000 : Überblick = Synthèse de la radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse pour 2000 = Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera nel 2000 : riassunto = Environmental radioactivity and radiation doses in Switzerland in 2000 : summary

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 26.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

A

Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 2000: 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⁾

Dieses Kapitel fasst die Ergebnisse der Radioaktivitätsüberwachung in der Umwelt von 2000 zusammen: Kap. 1: Umweltradioaktivität, Kap. 2: externe Strahlung, Kap. 3: Strahlendosen der Bevölkerung.

Beim Messprogramm, der Wahl der Probenahmestellen und Analyseverfahren wird möglichst viel Redundanz angestrebt um alle Quellen natürlicher und künstlicher Radioaktivität zu erfassen und alle möglichen Transport- und Anreicherungsvorgänge in der Umwelt zu berücksichtigen. Es geht daher über ein reines Monitoringprogramm hinaus und beinhaltet auch interdisziplinäre Forschungsprojekte.

Die Strahlendosen der Bevölkerung werden mittels der Modelle und Dosisfaktoren der Schweizer Strahlenschutzverordnung (StSV) von 1994 (Revision 2000) berechnet, die auf den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) basieren und für Personen mit durchschnittlichen Lebens- und Ernährungsgewohnheiten gelten.

Um das Strahlensisiko einer nicht gleichmässigen Bestrahlung zu beurteilen, empfiehlt die ICRP für die verschiedenen bestrahlten, menschlichen Organe Risikofaktoren, welche die Verminderung der Lebenserwartung (vorzeitiger Tod) oder Lebensqualität durch Krebserkrankungen oder genetisch bedingte Leiden berücksichtigen. Diese Risikofaktoren wurden primär aus den Untersuchungen an den Überlebenden der Bombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki hergeleitet. Vorausgesetzt wird, dass die Strahlenschädigungen proportional 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 und es ist vernünftig, 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⁾

Die künstlichen Radionuklide in der Luft ¹³⁷Cs, ²³⁹Pu und ²⁴¹Am haben weiter abgenommen und sind, wenn überhaupt, nur noch in Spuren nachweisbar. ⁸⁵Kr aus der Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoff mit im Mittel 1.3 Bq/m³ zeigt eine steigende Tendenz. Tritium (³H) weist in der Nahumgebung von Tritium-verarbeitenden Betrieben in der Luftfeuchte bis rund 10 Bq/m³ auf (1 % des Immissionsgrenzwertes gemäss StSV).

In der Luft - vor allem im Hausinnern - besteht der Hauptteil der Radioaktivität aus dem natürlichen Edelgas **Radon** ³⁾ und dessen radioaktiven Tochternukliden. Diese können durch ihre Alphastrahlung Lungenkrebs auslösen. Die Schweizer Radon-Datenbank enthält jetzt Messwerte aus rund 41'000 Häusern (insgesamt 76'000 Messwerte wovon 45'000 in bewohnten Räumen). Bisher wurden 1'750 Werte über dem Richtwert (400 Bq/m³) und 510 über dem Grenzwert (1'000 Bq/m³) festgestellt. Bis Ende 2004 werden die meisten Kantone ihre Radongebiete (d.h. Mittel > 200 Bq/m³ oder ein Wert über dem Grenzwert) bestimmt haben. Erhöhte Radonkonzentrationen treten vor allem in den Kantonen Graubünden, Tessin, Neuenburg und Jura auf, vereinzelt auch im Mittelland. Das für die ganze Schweiz korrigierte und gewichtete arithmetische Mittel für bewohnte Räume beträgt 75 Bq/m³. Häusern mit erhöhten Radonwerten werden mit bautechnischen Massnahmen saniert.

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 A5.

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

³⁾ Radon siehe: [Kap. 2]

1.2. Niederschläge ⁴⁾

In den Niederschlägen dominiert **Tritium** (³H) mit heute noch wenigen Bq/l, im Einflussbereich von Industriebetrieben und Kernanlagen bis 10 Bq/l. Der natürliche Anteil, erzeugt durch die kosmische Strahlung beträgt wenige Zehntel Bq/l. In unmittelbarer Nähe von Tritium-verarbeitenden Betrieben oder Kehrlichtverbrennungsanlagen wurde bis einige Tausend 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 0.02 Bq/l. Das natürliche ⁷Be wies weniger als 1 Bq/l auf.

1.3. Gewässer

In den Flüssen beträgt der **Tritiumgehalt** ebenfalls wenige Bq/l. In den industrialisierten Regionen und im Doubs bei St-Ursanne 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 Tritium-haltige Abfälle eingesammelt werden und damit weniger in die regionale Kehrlichtverbrennungsanlage gelangen.

In den Flüssen Aare, Rhein, Rhone und Ticino, sowie im Luganersee wurden 2'000 neben natürlichen Radionukliden nur Spuren von ¹³⁷Cs und z.T. ⁶⁰Co bis 0.02 Bq/l gefunden. Oberhalb der Kernanlagen ist als künstliches Radionuklid nur ¹³⁷Cs vom Fallout und von Tschernobyl festgestellt worden ⁵⁾.

Sedimentproben aus den Flüssen unterhalb der Kernanlagen und im Luganersee erlauben die flüssigen Abgaben der Kernkraftwerke (⁵⁴Mn, ⁶⁰Co, ⁵⁸Co, ⁶⁵Zn und ¹³⁷Cs) und den Beitrag durch den Reaktorunfall Tschernobyl zu bilanzieren ⁶⁾.

Abwässer der **Kläranlagen** der grösseren Agglomerationen weisen vereinzelt Spuren von ¹³¹I aus der Nuklearmedizin auf sowie Tritium bis gegen 2000 Bq/l, letzteres aus industriellen Anwendungen oder von Tritium-Uhren die in den Hauskehrlicht gelangen. Bei der ARA La Chaux-de-Fonds hat der Tritiumabfluss in den letzteren Jahren stetig abgenommen und betrug 2'000 noch 4.2 TBq. 2'000 wurden in den Betrieben der Stadt La Chaux-de-Fonds noch 64.8 TBq ³H verarbeitet ⁷⁾.

1.4. Erdboden ⁸⁾

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 die Verwendung von Kalidünger eine Rolle. Die künstlichen Radionuklide zeigen ebenfalls regionale Unterschiede, die mit den Ablagerungen aus den oberirdischen Kernwaffenversuchen und dem Reaktorunfall Tschernobyl zusammenhängen. Die ¹³⁷Cs-, ⁹⁰Sr- und Pu-Werte sind in den Alpen und Südalpen (und z.T. im Jura) höher als im Mittelland. 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 der Tessin und die Bündner Südtäler, in geringerem Ausmass auch der Jura und Teile der Nordostschweiz. Ein Einfluss der Emissionen der Kernanlagen konnte im Boden mit einer Ausnahme (⁶⁰Co beim KKW Mühleberg bis 2 Bq/kg) nicht festgestellt werden. Bei den künstlichen Alphastrahlern ergaben ^{239/240}Pu 0.08 bis 2.0 und ²⁴¹Am 0.03 bis 0.8 Bq/kg T.S.; wobei die Messwerte im Mittelland tiefer sind als jene von Jura und Alpen. Das Verhältnis ²³⁹Pu/²³⁸Pu beträgt rund 35:1.

1.5. Pflanzen und Lebensmittel ⁹⁾

In Gras- und Lebensmittelproben dominiert das natürliche ⁴⁰K. Künstliche Radionuklide wie ¹³⁷Cs oder ⁹⁰Sr vom Reaktorunfall Tschernobyl bzw. den Kernwaffen-Versuchen die 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 100 Bq/kg T.S. für ¹³⁷Cs im Tessin und den Bündner Südtälern und bis knapp über 40 Bq/kg T.S. für ⁹⁰Sr im Tessin und in den Alpen. Bei der **Milch** lag der ¹³⁷Cs-Gehalt (ausser im Tessin mit Maximum 28 Bq/l und den Bündner Südtälern mit Maximum 4 Bq/l) durchwegs unter 2 Bq/l. Der ⁹⁰Sr-Gehalt betrug im Mittelland und Jura in der Milch zwischen 0.04 und 0.09 Bq/l, in den Alpen zwischen 0.07 und 0.45 und im Tessin zwischen 0.12 und 0.40 Bq/l. Getreideproben ergaben für ¹³⁷Cs weniger als 0.8 und für ⁹⁰Sr zwischen 0.2 und 0.8 Bq/kg.

Bei den einheimischen **Pilzen** zeigen nach wie vor Zigeuner und Maronenröhrlinge teilweise erhöhte Werte mit leicht abnehmendem Trend. Es wurden nur noch zwei Werte über dem Toleranzwert von 600 Bq/kg gemessen. Auch bei den importierten Wildpilzen ist noch teilweise ¹³⁷Cs nachweisbar; es

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. 4.2 und 9.1]

⁸⁾ Erdboden siehe: [Kap. 4.3 und 7.2]

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

lag jedoch kein Wert über dem Toleranzwert, was auch darauf zurückzuführen ist, dass für Pilzimporte seit Oktober 1999 ein Radioaktivitätszertifikat verlangt wird.

Importiertes **Wildfleisch** ergab ^{137}Cs -Werte bis 98 Bq/kg, die meisten Messwerte lagen jedoch unter 20 Bq/kg. Aus Osteuropa importierte **Süßwasserfische** zeigten zwischen 2 und 60 Bq/kg.

Schweizerische und importierte **Mineralwässer** werden weiterhin auf natürliche Radioaktivität untersucht. Alle im Handel und in Restaurants erhältlichen Mineralwässern erfüllen die gesetzlichen Limiten der Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe (FIV), siehe Kapitel 1.

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. Die Kernwaffenversuche führten in den 60er-Jahren zu einer Verdopplung gegenüber dem natürlichen ^{14}C . Dieser Anteil beträgt heute noch etwa 94 %. Baublätter aus der Umgebung der Kernkraftwerke zeigen eine zusätzliche Erhöhungen um 6-133, in der Region Basel bis 100 %. 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. Die in der Umgebung von Siedewasserreaktoren und in Basel gemessenen Erhöhungen führten zu einer zusätzlichen Dosis von einigen Tausendstel mSv 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 Gymnasiasten aus Basel und Genf ergaben ^{137}Cs -Aktivität meist unter 10 Bq/kg (Maximum 31 Bq/kg). Erstmals wurden auch Schulklassen aus dem Tessin untersucht. Sie ergaben bei einem Maximum von 118 Bq/kg und Medianwerten von 26 (Locarno) bzw. 29 (Lugano) etwas höhere Werte als die Alpennordseite. Das natürliche ^{40}K beträgt unverändert rund 3500 Bq bei den Frauen und 5000 Bq bei den Männern. In menschlichen Wirbelknochen betrug der ^{90}Sr -Gehalt 0.022 Bq/g Ca, in Milchzähnen 0.031 bis 0.047.

2. Externe Strahlendosen

2.1. Natürliche Strahlung

Die Hauptbeiträge zur externen Strahlendosis sind die terrestrischen und 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 230 nSv/h. Im Hausinnern ist die Dosis infolge der natürlichen Radionuklide im Baustoffen etwa 10 Prozent höher als im Freien.

2.2. Künstliche Radioaktivität

Der radioaktive Ausfall nach dem Reaktorunfall Tschernobyl vom April 1986 und die oberirdischen Kernwaffenversuche 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 (^{16}N -Strahlung aus dem Siedewasserreaktor), des PSI und des CERN treten zeitweise infolge Direktstrahlung bis einige 100 nSv/h auf. Da sich Personen nur kurze Zeit an diesen Stellen aufhalten, sind die daraus resultierenden Personendosen unbedeutend ¹⁴⁾. Die in (1.4) erwähnte Altlast in der Umgebung des Kernkraftwerkes Mühleberg ergibt - in 1 m Höhe über dem Boden - heute noch bis 3 nSv/h.

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 Auswerteprogramm erstellt danach eine Strahlenkarte des beflogenen Gebietes. Im Berichtsjahr wurden die Gegenden um die KKW Beznau und Leibstadt, jene um das Paul Scherrer Institut und die ehemalige Centrale Nucléaire expérimentale von Lucens (CNL) und verschiedene Gebiete im Tessin beflogen, im weiteren auch Deponien von Ausbruchmaterial des NEAT-Gotthardbasistunnels bei Amsteg und Sedrun. Während bei den KKW keine erhöhte Strahlung festgestellt wurde, ist in Lucens immer noch die Strahlung eines Containers mit Kompo-

¹²⁾ Kosmische Strahlung siehe auch Jahresbericht 1999 Kap. 10.3: <http://www.admin.ch/bag/strahlen/ion/umwelt/d/index.htm>

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]

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

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

nenten des demontierten Reaktors nachweisbar. Das NEAT-Ausbruchmaterial zeigte keine erhöhte Radioaktivität; im Tessin wurden dagegen weitere Hot-Spots entdeckt, allerdings von geringerer Aktivität als jene früherer Jahre.

3. Strahlendosen der Bevölkerung

3.1. Natürliche und kosmische Strahlung

Radon 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 2000 durchgeführte Erhebungen in rund 40'000 Häusern ergeben ein gewichtetes arithmetisches Mittel von 75 Bq/m^3 . Dieser Schätzwert dürfte wegen der gezielten Auswahl von Häusern und Regionen mit potenziell erhöhtem Radongehalt die tatsächlichen Verhältnisse eher überschätzen. Für die durchschnittliche Radon-Dosis der Bevölkerung wird daher, wie in früheren Berichten, von einem realistischen Mittel von 60 Bq/m^3 ausgegangen. Unter der Annahme einer Aufenthaltsdauer im Wohnbereich bzw. am Arbeitsplatz von 7000 bzw. 2000 Stunden pro Jahr und den Dosisfaktoren sind $2.44 \cdot 10^{-6}$ bzw. $3.17 \cdot 10^{-6} \text{ mSv pro Bq/m}^3$ und Stunde ¹⁶⁾ erhält man für die Schweizer Bevölkerung eine durchschnittliche Radondosis von 1.6 mSv pro Jahr. Darin inbegriffen ist ein Zuschlag von 10 Prozent durch das kurzlebige natürliche radioaktive Edelgas Thoron (^{220}Rn). In etwa 10 Prozent der Wohnräume liegt die Dosis beim Fünffachen davon, in etwa 5 Prozent beim Zehnfachen. Gemäss konservativen Schätzungen dürfte Radon für einige Prozent der Lungenkrebstodesfälle verantwortlich sein.

Natürliche Radionuklide gelangen auch über die Nahrung in den Körper und führen durchschnittlich zu etwa 0.38 mSv, wobei ^{40}K rund die Hälfte davon ausmacht. Der Rest kommt von den Nukliden der natürlichen Zerfallsreihen Uran und Thorium sowie von den kosmogenen Radionukliden Tritium ^3H , ^7Be etc. Der tägliche Konsum von einem Liter Mineralwasser mit $1 \text{ Bq/l } ^{226}\text{Ra}$, dem Grenzwert gemäss der FIV für ^{226}Ra , ergibt eine zusätzliche Dosis von etwa 0.1 mSv Jahr.

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.

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** kommt der grösste Teil von medizinischen Anwendungen und den sogenannten "Kleinquellen" sowie aus der beruflichen Strahlenexposition in Kernkraftwerken, Industrien, Handel, öffentlichem Dienst, Forschung und Medizin. 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 ^{137}Cs -Ablagerung nach dem Reaktorunfall Tschernobyl. Die Schweizer Kernkraftwerke, das PSI und das CERN tragen dazu nicht wesentlich bei.

Die **interne Strahlendosis** stammt von künstlichen Radionukliden - hauptsächlich ^{137}Cs und ^{90}Sr - in der Nahrung. Ganzkörpermessungen an Schulklassen ergaben Dosen durch inkorporiertes ^{137}Cs von 0.3 (Genf und Basel) bis 1 (Tessin) 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.

¹⁶⁾ vergleiche Jahresbericht 1993 Seite B.2.3

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.admin.ch/bag/strahlen/ion/umwelt/d/index.htm>

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

¹⁹⁾ über 20 mSv/Jahr in 2 Prozent der untersuchten Häuser

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	64'303 beruflich strahlenexponierte Personen ²³⁾	0.09	< 20 97.8% < 1

Präfixe und ihre Bedeutung

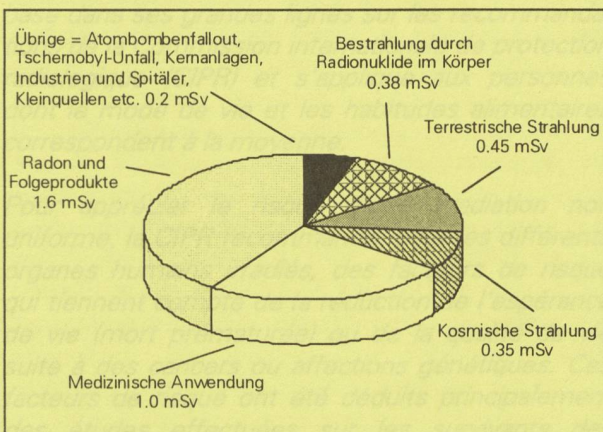
10 ⁻¹⁵	fBq	femto
10 ⁻¹²	pBq	pico
10 ⁻⁹	nBq	nano
10 ⁻⁶	μBq	micro
10 ⁻³	mBq	milli

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

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 Min-Wasser	1l/Tag mit 1 Bq/l (= GW)	0.08
¹⁴ C im Gemüse	200 g Gemüse pro Tag aus Nähe der SVA Basel ²⁴⁾	0.002
³ H im Regenwasser als Trinkwasser verwendet	2.2 l/Tag aus Umgebung eines tritiumverarbeitenden Betriebes	0.01
Direktstrahlung (Umgebung eines KKW)	1 Std/Tag am Zaun des KKL	0.1

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



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 der vorangehenden 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** 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**). Für die effektive Dosis werden die Einzeldosen aller bestrahlten Organe, gewichtet mit ihrer Strahlenempfindlichkeit summiert (**Gewebewichtungsfaktoren**). Dies liefert eine theoretische Ganzkörperdosis, die das gleiche Strahlenrisiko verursacht, wie die einzelnen Organdosen. Die einzelnen Zwischenstufen, Energiedosis, Äquivalentdosis, 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 Strahlenrisiko darstellt. Radioaktive Stoffe dürfen nur kontrolliert an die Umwelt abgegeben werden, wobei von der Bewilligungsbehörde Abgabegrenzen 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. 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.

²⁰⁾ Erhebung IRA/BAG 1996-99; siehe Jahresbericht 1999: Kap. 10.1; <http://www.admin.ch/bag/strahlen/ion/umwelt/d/index.htm>

²¹⁾ Erhebung von 1989/90, J. Roth, Kantonsspital 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 2000, siehe auch: <http://www.admin.ch/bag/strahlen/eks/d/taetig.htm>

²⁴⁾ Sondermüll-Verbrennungsanlage Basel-Stadt

A Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnement en Suisse pour 2000: 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 2000 (chap. 1: radioactivité de l'environnement; chap. 2, exposition externe; chap. 3: doses de rayonnement pour la population).

Les programmes de mesures, les prélèvements et méthodes d'analyse sont choisis et programmés avec le plus grand soin 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. La surveillance de la radioactivité dépasse donc les simples contrôles de routine et contient également des projets de recherche interdisciplinaires.

L'évaluation des doses de rayonnements à la population repose sur les modèles et les facteurs de dose de l'Ordonnance suisse de 1994 sur la Radioprotection (ORaP) - révision 2000 - qui se base dans ses grandes lignes sur les recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) et s'applique 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, des facteurs de risque qui tiennent compte de la réduction de l'espérance de vie (mort prématurée) ou de la qualité de vie suite à des cancers ou 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 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 aux dommages occasionnés par 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 rayonnements) mesurées dans des 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⁾

Les radionucléides présents dans l'air, ¹³⁷Cs, ²³⁹Pu et ²⁴¹Am, ont continué à diminuer; on n'en rencontre tout au plus que des traces. Le ⁸⁵Kr, issu du retraitement du combustible nucléaire, avec une concentration moyenne de 1.3 Bq/m³, montre une tendance à l'augmentation. Pour ce qui concerne le tritium (³H), les concentrations mesurées (environ 10 Bq/m³) dans l'humidité de l'air à proximité des entreprises qui l'utilisent correspondent à 1% de la limite d'immission admise selon l'ORaP.

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⁾ et de ses produits radioactifs qui, par leur rayonnement alpha, peuvent provoquer le cancer du poumon. La banque de données suisse sur le radon contient à ce jour des mesures de 41'000 bâtiments (76'000 mesures dont 45'000 dans des locaux habités). Jusqu'ici, on a relevé 1750 valeurs dépassant la valeur directrice (400 Bq/m³) et 510 valeurs dépass-

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 A11

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

³⁾ Radon [chap. 2]

sant la valeur-limite (1000 Bq/m³). D'ici à fin 2004, la plupart des cantons auront déterminé leurs régions radon (soit moyenne > 200 Bq/m³ ou une valeur supérieure à la valeur-limite). On rencontre des concentrations de radon accrues dans les cantons du Jura, des Grisons, de Neuchâtel et du Tessin, et de manière isolée sur le Plateau. La moyenne arithmétique dans les séjours (corrigée et pondérée pour toute la Suisse) est de 75 Bq/m³. Les maisons d'habitation présentant des valeurs élevées de radon sont assainies avec des mesures de technique de construction.

1.2. Précipitations ⁴⁾

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 des entreprises industrielles ou d'installations nucléaires. Alors que la part naturelle cosmogénique de tritium est de quelques dixièmes de Bq/l, on constate des concentrations à concurrence de quelques milliers de 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 de l'ordonnance sur les substances étrangères et les composants (OSEC) est de 1000 Bq/l.

D'autres **radionucléides artificiels**, comme le ¹³⁷Cs, ont donné pour chaque mesure mensuelle moins de 0.02 Bq/l. Le ⁷Be quant à lui atteint des valeurs de moins de 1 Bq/l.

1.3. Systèmes aquatiques

Comme dans les précipitations, la **teneur en tritium** dans les rivières s'est située à quelques Bq/l. Dans les régions industrielles, et dans le Doubs près de St-Ursanne, on reconnaît une influence de sources d'émission locales. Les immissions de tritium de l'industrie horlogère dans la région de la Chaux-de-Fonds ont diminué ces dernières années, dès lors que les déchets contenant du tritium sont désormais collectés séparément et parviennent moins souvent à l'usine d'incinération régionale.

Dans l'Aare, le Rhin, le Rhône et le Ticino, ainsi que dans le lac de Lugano, on n'a plus trouvé que des **traces** de ¹³⁷Cs et, partiellement de ⁶⁰Co (jusqu'à 0.02 Bq/l). En amont des centrales nucléaires, on a relevé, comme seul radionucléide artificiel, du ¹³⁷Cs provenant des retombées des essais nucléaires (fallout) et de Tchernobyl ⁵⁾

Des analyses de **sédiment** effectuées dans les rivières en aval des centrales nucléaires et dans le lac de Lugano ont permis de dresser le bilan des écoulements liquides des centrales nucléaires (⁵⁴Mn, ⁶⁰Co, ⁵⁸Co, ⁶⁵Zn et ¹³⁷Cs) et la contribution de l'accident du réacteur de Tchernobyl ⁶⁾.

Les eaux de rejet des **stations d'épuration** des grandes agglomérations ont indiqué dans certains cas des traces de ¹³¹I, attribuables à la médecine nucléaire, ainsi que du tritium (jusqu'à 2000 Bq/l), provenant d'applications industrielles ou de montres au tritium rejetées dans les déchets. A la STEP de la Chaux-de-Fonds, l'écoulement de tritium a constamment diminué; en 2000, il s'élevait à 4.2 TBq/année. En 2000, 64.8 TBq ³H ont été traités dans les entreprises de la ville ⁷⁾.

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 et du thorium varient en fonction de la géologie alors que pour le ⁴⁰K, 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. Les valeurs ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr et Pu sont plus importantes dans les Alpes et au sud des Alpes (et en partie dans le Jura) que sur le Plateau. 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. On n'a constaté aucune influence des émissions des centrales nucléaires à une exception près (⁶⁰Co < 2 Bq/kg à Mühleberg). Pour ce qui concerne les rayonnements alpha, on a mesuré 0.08 à 2.0 ^{239/240}Pu et 0.03 à 0.8 ²⁴¹Am Bq/kg, avec des valeurs plus faibles sur le Plateau que dans le Jura et les Alpes. Le rapport ²³⁹Pu/²³⁸Pu = 35:1.

⁴⁾ Pluie [chap. 4.1, 7.1 et 9.1]

⁵⁾ [chap. 4.2 et 4.4]

⁶⁾ [chap. 4.2 et 4.4]

⁷⁾ [chap. 4.2 et 9.1]

⁸⁾ sol: [chap. 4.3 et 7.2]

1.5. Végétaux et aliments ⁹⁾

Dans les échantillons d'herbe et d'aliments, c'est le ^{40}K naturel qui domine. On trouve encore des traces de radionucléides artificiels comme le ^{137}Cs et le ^{90}Sr . Le premier provient de Tchernobyl et des essais nucléaires atmosphériques ; il est transféré depuis le sol vers les plantes par les racines. 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 100 Bq/l TS pour ^{137}Cs au Tessin et dans les vallées méridionales des Grisons et des valeurs de ^{90}Sr légèrement supérieures à 40 Bq/l TS dans les Alpes et au Tessin.

Pour le **lait**, la teneur en ^{137}Cs était partout inférieure à 2 Bq/l, sauf au Tessin avec un maximum de 28 Bq/l et dans les vallées sud des Grisons, avec un maximum de 4 Bq/l. Pour ce qui est du ^{90}Sr , on a mesuré des valeurs de 0.04 à 0.09 Bq/l sur le Plateau et dans le Jura, entre 0.07 et 0.45 dans les Alpes et 0.12 et 0.40 Bq/l au Tessin. Quant aux échantillons de céréales, ils ont révélé moins de 0.8, et entre 0.2 et 0.8 Bq/kg respectivement, pour le ^{137}Cs et le ^{90}Sr .

Pour les **champignons** indigènes, ce sont encore les pholiotes ridées et les bolets bais qui accusent partiellement des valeurs plus élevées, mais avec une tendance générale à la baisse. On n'a plus relevé que deux valeurs dépassant la limite de tolérance de 600 Bq/kg. Dans les champignons importés, on a également détecté du ^{137}Cs , la valeur limite n'étant toutefois jamais dépassée, notamment depuis l'obligation de présenter un certificat de radioactivité pour les champignons dès octobre 1999.

Pour le **gibier** importé, on a mesuré des concentrations ^{137}Cs jusqu'à 98 Bq/kg, mais la plupart des valeurs étaient inférieures à 20 Bq/kg. Dans les **poissons d'eau douce** importés d'Europe de l'est, les valeurs ^{137}Cs fluctuaient entre 2 et 60 Bq/kg.

La radioactivité des **eaux minérales** suisses et étrangères fait l'objet d'un contrôle depuis plusieurs années. Toutes les marques disponibles sur le marché répondent aux limites légales fixées par l'OSEC (voir chap. 1).

1.6. Carbone-14 dans les plantes ¹⁰⁾

Le ^{14}C est assimilé par les plantes en phase de croissance à partir du CO_2 dans l'air. Dans les années 60, les essais nucléaires ont été la cause d'une augmentation de 100% du ^{14}C par rapport au

niveau naturel; aujourd'hui, cette part est encore de 94%. Les feuillages analysés à proximité des centrales nucléaires accusent des augmentations supplémentaires de 6 à 133 ‰ et dans la région de Bâle jusqu'à 100 ‰. La part naturelle de ^{14}C dans les plantes, due au rayonnement cosmique, est de 227 Bq/kg C, entraînant 0.013 mSv par année. Les concentrations accrues mesurées à proximité des réacteurs à eau bouillante ainsi qu'à Bâle sont responsables d'une dose additionnelle de quelques millièmes de mSv par an.

1.7. Radioactivité dans le corps humain ¹¹⁾

On peut déterminer l'incorporation de radionucléides avec la nourriture sur la base de mesures du corps entier et des analyses de ^{90}Sr dans les dents de lait et les vertèbres. Les mesures du corps entier de collégiens de Bâle et de Genève ont, dans la plupart des cas, révélé une activité de ^{137}Cs inférieure à 10 Bq/kg (max. 31 Bq/kg). Pour la première fois, on a également analysé des classes d'élèves du Tessin. Ces analyses ont révélé des concentrations un peu plus élevées que du côté nord des Alpes, avec un maximum de 118 Bq/kg et des valeurs médianes de 26 (Locarno) et de 29 (Lugano). Le ^{40}K naturel est demeuré constant à 3500 Bq/kg chez les femmes et 5000 Bq/kg chez les hommes. Dans les vertèbres, la teneur en ^{90}Sr était de 0.022 Bq/g Ca, dans les dents de lait, de 0.031 à 0.047.

2. Doses d'irradiation externe

2.1. Rayonnement naturel

L'exposition externe vient avant tout du rayonnement cosmique et terrestre. La source des rayonnements terrestres sont les radionucléides naturels présents dans le sol et dans les matériaux de construction. Le rayonnement cosmique dépend de l'altitude, vu 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.

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

¹²⁾ rayonnement cosmique [chap. 10.3 dans rapport 1999]
<http://www.admin.ch/bag/strahlen/ion/umwelt/f/index/htm>

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

¹⁰⁾ mesures ^{14}C [chap. 7.1]

2.2. Radioactivité artificielle

La contribution rémanente de l'accident de Tchernobyl d'avril 1986 et des essais atmosphériques des années 60 ne représente actuellement plus que quelques pour-cent de l'exposition externe globale, à l'exception du Tessin avec des contributions rémanentes pouvant atteindre jusqu'à 30% du débit de dose total 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 en ces endroits, les doses de rayonnements sont insignifiantes ¹⁴⁾. La contamination rémanente mentionnée au chapitre 1.4 dans le voisinage de la centrale nucléaire de Mühleberg ne dépasse plus aujourd'hui 3 nSv/h à 1 m au-dessus du sol.

2.3. Aéroradiométrie ¹⁵⁾

Des mesures sont effectuées chaque année à bord d'un hélicoptère 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. En 2000, les secteurs mesurés ont été le voisinage des centrales nucléaires de Beznau et Leibstadt, de l'PSI et de l'ancienne Centrale Nucléaire Expérimentale de Lucens/VD, diverses régions tessinoises, ainsi que des dépôts de matériaux provenant des chantiers NLFA (tunnel du Gotthard), près d'Amsteg et de Sedrun. Alors que l'environnement de Beznau et de Leibstadt n'a pas révélé de rayonnement accru, on trouve encore et toujours des traces du dépôt intermédiaire contenant des composantes radioactives de l'ancien réacteur de Lucens. Le matériau des chantiers NLFA n'a pas montré de radioactivité accrue. Au Tessin par contre, on a détecté d'autres hot-spots, mais moins actifs que ceux des années précédentes.

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 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 2000 en Suisse dans environ 40'000 habitations indiquent une moyenne (corrigée) de 75 Bq/m³. La valeur moyenne mentionnée pourrait être surestimée parce que le choix privilégiait les maisons et les régions à risque radon potentiellement accru. C'est pourquoi, le calcul de la dose se base, comme dans les rapports précédents, sur la moyenne de 60 Bq/m³ et sur un séjour moyen de 7000 heures par an dans l'habitation et de 2000 heures par an à la place de travail. Pour des facteurs de dose de $2.44 \cdot 10^{-6}$ respectivement $3.17 \cdot 10^{-6}$ mSv 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. Sont inclus un supplément de 10% pour le thoron (²²⁰Rn, demi-vie 55s), naturellement radioactif. Dans près de 10% des séjours, la dose est supérieure d'un facteur 5 à la moyenne et dans 5% des séjours environ, d'un facteur de 10. Selon des estimations conservatrices, le radon pourrait être responsable de quelque pour-cent des cas mortels de cancer des poumons.

Les radionucléides naturels parviennent aussi dans notre corps avec la nourriture et occasionnent des doses annuelles moyennes de l'ordre de 0.38 mSv ; environ la moitié provient du ⁴⁰K. Le reste provient des séries d'uranium et de thorium ainsi que des radionucléides cosmogènes tritium, ¹⁴C, ⁷Be, etc. La consommation quotidienne d'un litre d'eau minérale contenant 1 Bq/l de ²²⁶Ra - la valeur limite selon l'OSEC - ajouterait une dose proche de 0.1 mSv/an.

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.

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

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 des applications médicales et des sources dites faibles, ainsi que de l'exposition professionnelle aux rayons dans les centrales nucléaires, l'industrie, le commerce, les services publics, la recherche et la médecine.

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 conséquence des différences régionales quant au dépôt de ¹³⁷Cs consécutif à l'accident de Tchernobyl. Les centrales nucléaires suisses, l'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 de 0.3 (Genève et Bâle) et 1 (Tessin) 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.

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	64'303 personnes professionnellement exposées ²³⁾	0.09	< 20 (97.8% < 1)

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 SVA Bâle ²⁴⁾)	0.002
³ H dans l'eau de pluie (utilisée comme eau potable)	2.2 l/jour (des environs d'une entreprise traitant du tritium)	0.01
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)

¹⁷⁾ Dont rayonnement cosmique: 300 m 0,5 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⁾ Dont en microSv 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 20 mSv/an dans 2% des maisons analysées.

²⁰⁾ Nouveau sondage 1996/99 de l'IRA/OFSP [10.1]

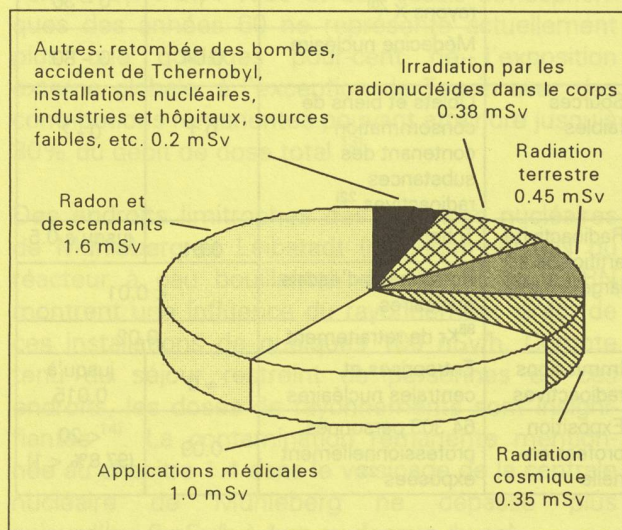
²¹⁾ Sondage de 1989/90, J. Roth, Hôp. Cant. BS

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 administration publique

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

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



Préfixes et leurs significations

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

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

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 manipulent 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 radiologique. 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.

A

Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera nel 2000: 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 costituisce un riassunto degli esiti della sorveglianza della radioattività ambientale nel 2000. Capitolo 1: radioattività ambientale. Capitolo 2: irradiazione esterna. Capitolo 3: dosi d'irradiazione della popolazione.

Programma di misura, punti di prelievo dei campioni e procedimenti d'analisi sono scelti in modo da ottenere un numero possibilmente elevato di dati, al fine di includere tutte le fonti naturali e artificiali di radioattività e di considerare tutti i modi possibili di trasporto e di arricchimento nell'ambiente. Al di là del semplice monitoraggio, il programma include perciò anche progetti di ricerca interdisciplinari.

Per calcolare le dosi d'irradiazione della popolazione, sono stati applicati i modelli e i fattori di dose indicati nell'Ordinanza federale sulla radioprotezione (ORaP) del 1994 (revisione nel 2000), che si fondano a loro volta sulle raccomandazioni della Commissione internazionale di radioprotezione (ICRP) e si riferiscono a persone con abitudini alimentari e di vita corrispondenti alla media.

Per valutare il rischio dovuto ad un'irradiazione non uniforme, la ICRP propone, per gli organi del corpo umano diversamente irradiati, fattori di rischio che tengono in considerazione la riduzione della speranza di vita (morte prematura), il deterioramento della qualità di vita (cancro) nonché le affezioni dovute a malformazioni genetiche. Tali fattori di rischio sono frutto, principalmente, delle ricerche svolte sui superstiti dei bombardamenti di Hiroshima e Nagasaki e si fondano sull'ipotesi che il danno dovuto all'irradiazione cresca proporzionalmente alla 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. 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⁾

La concentrazione dei radionuclidi artificiali nell'aria si è ulteriormente ridotta; del ¹³⁷Cs, ²³⁹Pu e ²⁴¹Am, non sono ormai accertabili altro che tracce. Tende invece a crescere la concentrazione media del ⁸⁵Kr, proveniente dalla rigenerazione di combustibile nucleare, attualmente pari a circa 1.3 Bq/m³. Nell'umidità dell'aria circostante le aziende di lavorazione del tritio si riscontrano fino a circa 10 Bq/m³ di ³H (1% del valore limite d'immissione secondo l'ORaP).

La componente principale della radioattività dell'aria – particolarmente all'interno degli edifici – è rappresentata dal gas nobile naturale **radon**³⁾ e dai suoi discendenti radioattivi, le cui radiazioni alfa possono causare il cancro polmonare. Nella banca svizzera dei dati sul radon sono attualmente registrati gli esiti di misure svolte in circa 41'000 case (76'000 misure in tutto, di cui 45'000 in locali abitati). Finora si sono riscontrati 1750 valori superiori a quello operativo di 400 Bq/m³ e 510 valori superiori al limite di 1000 Bq/m³. Entro la fine del 2004, la maggior parte dei Cantoni avrà determinato le proprie aree a concentrazione di radon, ossia quelle che presentano una media superiore a 200 Bq/m³ o un valore superiore al limite. Concentrazioni elevate di radon si ritrovano soprattutto nei Cantoni Grigioni, Ticino, Neuchâtel e Giura, ma sono state accertate in singoli casi anche nell'Altopiano. Complessivamente, in Svizzera, la media aritmetica corretta e ponderata della concentrazione nei locali abitati è uguale, secondo i calcoli, a

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 A17.

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

³⁾ Radon v. [cap. 2]

75 Bq/m³. Le case che presentano valori elevati di radon vengono risanate con provvedimenti di tecnica edilizia.

1.2. Precipitazioni ⁴⁾

Nelle precipitazioni predomina il **tritio** (³H), presente ormai in concentrazioni di alcuni Bq/l soltanto, con valori fino a 10 Bq/l nelle aree influenzate da aziende industriali e impianti nucleari. La parte del tritio naturale, proveniente dalla radiazione cosmica, ammonta a pochi decimi di Bq/l. Nelle immediate vicinanze di aziende di lavorazione del tritio o di impianti d'incenerimento si sono misurati valori fino ad alcune migliaia di Bq/l. Conformemente all'OraP, il limite d'immissione del tritio nelle acque pubblicamente accessibili è di 12'000 Bq; 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 a 0.02 Bq/l in tutti i campioni mensilmente prelevati. La concentrazione del ⁷Be, di origine naturale, ammontava a meno di 1 Bq/l.

1.3. Acque

L'acqua fiumana presenta anch'essa un **contenuto di tritio** di pochi Bq/l. Nelle regioni industrializzate e nel Doubs presso St.-Ursanne, si osserva l'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, poiché le scorie contenenti tritio vengono raccolte e giungono quindi più raramente nell'impianto regionale d'incenerimento dei rifiuti.

Nel 2000, si sono trovate nei fiumi Aar, Reno, Rodano e Ticino, nonché nel Ceresio – accanto ai radionuclidi naturali – soltanto tracce fino a 0.02 Bq/l di ¹³⁷Cs e, in parte, di ⁶⁰Co. 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 Cernobil ⁵⁾.

Campioni prelevati nei **sedimenti** fiumani a valle degli impianti nucleari e in quelli del Ceresio consentono di allestire un bilancio delle emanazioni liquide delle centrali nucleari (⁵⁴Mn, ⁶⁰Co, ⁵⁸Co, ⁶⁵Zn e ¹³⁷Cs) da un lato e dell'apporto dell'incidente nel reattore di Cernobil ⁶⁾ dall'altro.

In alcuni casi, nelle acque di scolo degli **impianti di depurazione** delle grandi agglomerazioni si ritrovano tracce dello ¹³¹I usato per la medicina

nucleare e concentrazioni di tritio fino a 2000 Bq/l. Queste ultime provengono da applicazioni industriali o da orologi al 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 4.2 TBq nel 2000. Nel medesimo anno, 64.8 TBq di tritio sono ancora stati lavorati nelle aziende della città di La Chaux-de-Fonds ⁷⁾.

1.4. Suolo ⁸⁾

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 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. La concentrazione di ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr e Pu è più elevata nelle Alpi e a Sud delle Alpi (in parte anche nel Giura) che nell'Altopiano. 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. Con una sola eccezione (fino a 2 Bq/kg di ⁶⁰Co presso la CN di Mühleberg), non si è constatato, nel suolo, alcun influsso delle emissioni di centrali nucleari. Per quanto riguarda gli emettitori alfa, si sono misurati da 0.08 a 2.0 Bq/kg di materia secca di ^{239/40}Pu e da 0.03 a 0.8 Bq/kg di ²⁴¹Am, con valori inferiori nell'Altopiano rispetto al Giura e alle Alpi. Il rapporto tra il ²³⁹Pu e il ²³⁸Pu è del 35:1 circa.

1.5. Piante e derrate alimentari ⁹⁾

Nei campioni di erba e di derrate alimentari prelevati predomina il ⁴⁰K, di origine naturale. I radionuclidi artificiali ¹³⁷Cs (proveniente dall'incidente nel reattore di Cernobil) e 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 nelle piante e derrate alimentari corrisponde a quella nel suolo, con massimi di 100 Bq/kg di materia secca per quanto riguarda il ¹³⁷Cs

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. 4.2 e 9.1]

⁸⁾ Suolo v. [cap. 4.3 e 7.2]

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

in Ticino e nelle vallate al Sud dei Grigioni e di 40 Bq/kg di materia secca per lo ^{90}Sr in Ticino e nelle Alpi. Il contenuto di ^{137}Cs nel **latte** è risultato sempre inferiore a 2 Bq/l, tranne che in Ticino (dove si è registrato un massimo di 28 Bq/l) e nelle vallate a Sud dei Grigioni (con un massimo di 4 Bq/l). Il contenuto di ^{90}Sr nel latte era compreso tra 0.04 e 0.09 Bq/l nell'Altopiano e nel Giura, tra 0.07 e 0.45 Bq/l nelle Alpi e tra 0.12 e 0.40 Bq/l in Ticino. Nei campioni di cereali si sono misurati valori inferiori a 0.8 Bq/kg per il ^{137}Cs e tra 0.2 e 0.8 Bq/kg per lo ^{90}Sr .

Tra i **funghi** di provenienza svizzera, gli agarici rugosi e i boleti dei castagni presentano tuttora valori in parte elevati, con tendenza leggermente decrescente. Soltanto in due casi si sono ancora misurate concentrazioni superiori al valore di tolleranza di 600 Bq/kg. Inoltre, la presenza ^{137}Cs è in parte tuttora accertabile nei funghi selvatici importati; non si sono tuttavia riscontrate concentrazioni superiori al valore di tolleranza, anche perché, da ottobre 1999, per l'importazione di funghi è richiesto un certificato sulla radioattività.

Nella **selvaggina** importata si sono riscontrati valori di ^{137}Cs fino a 98 Bq/kg; la maggior parte delle misure era tuttavia inferiore a 20 Bq/kg. I **pesci d'acqua dolce** importati dall'Europa orientale presentavano valori compresi tra 2 e 60 Bq/kg.

Proseguono inoltre le analisi riferite alla radioattività naturale **nelle acque minerali** svizzere e importate. Tutte le acque minerali che si possono acquistare in commercio o nei ristoranti sono conformi ai limiti prescritti dall'Ordinanza sulle sostanze estranee e sui componenti nelle derrate alimentari (OEC); v. capitolo 1.

1.6. Carbonio-14 nelle piante ¹⁰⁾

Le piante assorbono ^{14}C dall'aria quando ne assimilano l'anidride carbonica durante la fase di crescita. Negli anni sessanta, gli esperimenti con armi nucleari hanno causato un raddoppiamento del ^{14}C rispetto alla sua concentrazione naturale. Attualmente, la quota della componente artificiale è ancora del 94 % circa. Le foglie degli alberi nei dintorni delle centrali nucleari presentano inoltre concentrazioni supplementari del 6-133 %, nella regione di Basilea fino a 100 %. Il contenuto naturale di ^{14}C nelle piante, derivante dalla radiazione cosmica, è di 227 Bq/kg C e causa una dose di 0.013 mSv/anno. Gli aumenti della concentrazione misurati nei pressi di reattori ad acqua bollente e a Basilea hanno dato origine a una dose addizionale di alcuni millesimi di mSv per anno.

1.7. Radionuclidi nell'organismo umano ¹¹⁾

Misure dell'intero organismo e analisi del contenuto di ^{90}Sr nei denti di latte e nelle vertebre consentono di determinare la radioattività assorbita con l'alimentazione. Nelle misure del corpo intero svolte su liceali di Basilea e Ginevra si sono riscontrate concentrazioni di ^{137}Cs solitamente inferiori a 10 Bq/kg (massimo 31 Bq/kg). Per la prima volta, sono state esaminate anche classi di scuole ticinesi. I valori sono risultati leggermente superiori a quelli del Nord delle Alpi: un massimo di 118 Bq/kg e valori mediani di 26 (Locarno) e 29 (Lugano) Bq/kg. La concentrazione del ^{40}K , di origine naturale, è rimasta invariata: circa 3500 Bq nell'organismo delle donne e 5000 Bq in quello degli uomini. Nelle vertebre umane è stato misurato un contenuto di ^{90}Sr pari a 0.022 Bq/g Ca, nei denti di latte di 0.031 a 0.047 Bq/g Ca.

2. Dosi d'irradiazione esterna

2.1. Radiazione naturale

I contributi principali alle dosi 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'impatto ¹²⁾.

In media, l'intensità di dose all'aperto in Svizzera è di 90 nSv/h, con valori compresi tra 40 e 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 esterna ¹³⁾. 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 ^{16}N dal reattore ad acqua bollente), dell'PSI e del CERN possono talvolta salire fino ad alcune centinaia di nSv/h. Poiché nessuno si trattiene a lungo in questi luoghi, le dosi individuali che ne derivano sono

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

¹²⁾ Radiazione cosmica v. Rapporto annuale 1999, cap. 10.3
<http://www.admin.ch/bag/strahlen/ion/umwelt/d/index.htm>

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

¹⁰⁾ Misure del ^{14}C v. [cap. 7.1]

tuttavia irrilevanti¹⁴⁾. Ad un'altezza di un metro dal suolo, i residui di fuoriuscite avvenute in passato presso la centrale nucleare di Mühleberg, menzionati nel capitolo (1.4), causano ancora 3 nSv/h al massimo.

2.3. Aeroradiometria¹⁵⁾

Ogni anno, alcune regioni scelte sono oggetto di misure operate dall'aria per mezzo di uno spettrometro gamma al Nal 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. Nel 2000 sono state sorvolate le zone circostanti le CN di Beznau e Leibstadt, l'Istituto Paul Scherrer e la centrale nucleare sperimentale fuori esercizio di Lucens (CNL), diverse regioni del Ticino e i depositi del materiale di scavo della galleria di base del San Gottardo della NFTA presso Amsteg e Sedrun. Nei dintorni delle CN non si sono misurate radiazioni particolarmente elevate; a Lucens è invece tuttora accertabile la radiazione di un contenitore di componenti del reattore smantellato. Il materiale di scavo della NFTA non presenta radioattività elevata. In Ticino sono invece stati scoperti nuovi punti critici, seppure di minor rilievo di quelli rilevati negli anni precedenti.

3. Dosi d'irradiazione della popolazione

3.1. Radioattività naturale e radiazione cosmica

Il radon 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. In media aritmetica, la concentrazione ponderata risultante dalle misure svolte entro il 2000 in circa 40'000 case si aggira sui 75 Bq/m³. Poiché per le misure si sono scelti intenzionalmente edifici e regioni con un contenuto potenzialmente elevato di radon, questo valore rappresenta probabilmente una stima eccessiva per rapporto alle circostanze reali. Per calcolare la dose media d'irradiazione della popolazione derivante dal radon, applichiamo perciò, come nei rapporti passati, il valore medio di 60 Bq/m³ che consideriamo più realistico. 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 $2.44 \cdot 10^{-6}$ e

$3.17 \cdot 10^{-6}$ 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). Nel 10 per cento circa dei locali d'abitazione, la dose ammonta al quintuplo del valore indicato, nel cinque per cento al decuplo. Secondo stime conservative, il radon sarebbe all'origine di alcuni casi su cento di decesso per cancro ai polmoni.

Radionuclidi naturali penetrano inoltre nell'organismo umano attraverso l'alimentazione, causando 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. Il consumo giornaliero di un litro d'acqua minerale contenente 1 Bq/l di ²²⁶Ra (limite del contenuto di ²²⁶Ra secondo l'OEC) causa una dose addizionale di circa 0.1 mSv/anno.

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.

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.

Fonti radioattive naturali (mSv/anno)

Fonte	Media	Margine di variazione
Irradiazione esterna	0.9 ¹⁷⁾	da 0.5 a 2.0
Alimentazione	0.4 ¹⁸⁾	da 0.2 a 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 delle applicazioni mediche e delle cosiddette "fonti minori", nonché quello derivate dall'esposizione a radiazioni per motivi professionali nelle centrali nucleari, nell'industria, nel commercio, nei servizi pubblici, nella ricerca e nella medicina. La parte dei radionuclidi artificiali nel suolo alla dose d'irradiazione esterna può essere indicata soltanto 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, dell'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 varia da 0.3 microSv/anno (Ginevra e Basilea) a 1 microSv/anno (Ticino).

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.

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	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		
64'303 persone professionalmente esposte ²³⁾	0.09	<20 (97.8% <1)

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 prelevati nei pressi dell'impianto d'incenerimento dei rifiuti speciali di Basilea	0.002
³ H nell'acqua piovana impiegata come acqua potabile	2.2 l/giorno prelevati nei dintorni di un'azienda di lavorazione del tritio	0.01
Irradiazione diretta (dintorni di una centrale nucleare)	1 h/giorno presso il recinto della centrale nucleare di Leibstadt	0.1

²⁰⁾ Rilevazioni IRA/UFSP 1996-99 v. Rapporto annuale 1999 cap. 10.1: <http://www.admin.ch/bag/strahlen/ion/umwelt/d/index.htm>

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.

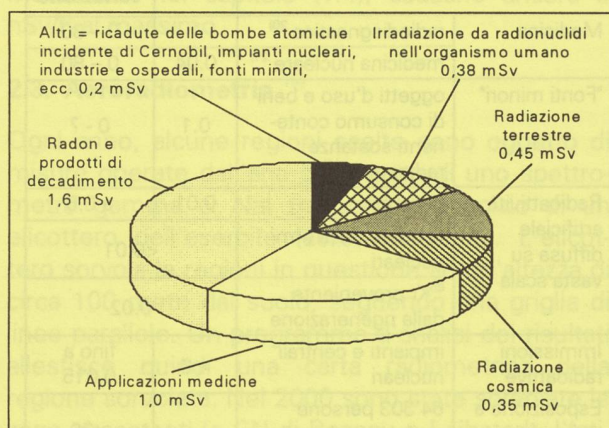
²³⁾ Nelle centrali nucleari, la ricerca, l'industria ed i servizi pubblici. Fonte: Rapporto sulla dosimetria dell'UFSP 2000; v inoltre <http://www.admin.ch/bag/strahlen/eks/d/taetiq.htm>.

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.admin.ch/bag/strahlen/ion/umwelt/d/index.htm>

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 20 mSv/anno nel 2 per cento delle case sottoposte a misura

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



Prefissi delle unità di misura

10^{-15}	fBq	femto
10^{-12}	pBq	pico
10^{-9}	nBq	nano
10^{-6}	μ Bq	micro
10^{-3}	mBq	milli

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

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 qui sopra. Una volta, l'unità in uso era il Curie (Ci); $1 \text{ nCi} = 37 \text{ Bq}$ o, rispettivamente, $1 \text{ Bq} = 27 \text{ pCi}$.

Per valutare il **rischio d'irradiazione** incorso dalla popolazione, si determina la **dose efficace** in mSv o μ Sv. 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*). Sommando le dosi di ogni organo, ponderate con un fattore riferito alla sensibilità di quest'ultimo alle radiazioni (*fattore di ponderazione del tessuto*) 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, equivalente di dose) 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 bevvesse 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 aggiuntiva superiore a 0,2 mSv all'anno. Il limite di concentrazione del radon nei locali d'abitazione e di soggiorno è fissato a 1000 Bq/m^3 . 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/m^3 .

A

Environmental Radioactivity and Radiation Doses in Switzerland in 2000: 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 26 300 9161; e-mail: hansruedi.voelkle@bag.admin.ch)

Summary ¹⁾

This Part of the Report summarises the results obtained from monitoring radioactivity in the environment in 2000. Chapter 1 deals with environmental radioactivity, Chapter 2 with external radiation and Chapter 3 with the population's radiation doses.

In deciding on the programme of measurements, the sampling stations and the analytical techniques, an effort is made to maximise redundancy in order to encompass all sources of natural and artificial radiation and to give proper consideration to all possible transport and enrichment processes in the environment. What is involved is thus more than a straightforward monitoring programme, since it also includes interdisciplinary research projects.

The population's radiation doses are calculated using the models contained in the Swiss Federal Radiological Protection Ordinance (StSV, Strahlenschutzverordnung) of 1994 (as amended in 2000), which is based on the recommendations of the International Commission for Radiological Protection (ICRP) and applies 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: risk factors are established for the various irradiated human organs and these take into account the reduction in life expectancy (premature death) or the quality of life or sufferings of genetic origin. These risk factors are 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 proportionately 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 small doses can also cause cell damage, and 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⁾

The artificial radionuclides in the atmosphere, ¹³⁷Cs, ²³⁹Pu and ²⁴¹Am, have diminished still further and, insofar as they are still detectable at all, they are now only found in trace amounts. ⁸⁵Kr from the reprocessing of nuclear fuels is on the increase, with a mean value of 1.3 Bq/m³. Tritium (³H) reaches values of up to approximately 10 Bq/m³ in atmospheric moisture in the near vicinity of tritium-processing plant. This corresponds to 1% of the limit value for ambient concentrations laid down in the Swiss Federal Radiological Protection Ordinance.

In the air - especially inside buildings - the principal component of radioactivity comes from the natural inert gas **radon** ³⁾ and its radioactive decay nuclides. These are liable to trigger lung cancer through their alpha radiation. The Swiss radon database now contains measurements from some 41 000 residential buildings (with a total of 76 000 measurements, 45 000 of them in rooms regularly occupied). To date, 1750 values have been recorded above the guideline value (400 Bq/m³)

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 are in round brackets. **Units** are listed on page A23.

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

³⁾ Radon, see section [2]

and 510 above the limit value (1000 Bq/m³). By the end of 2004 nearly all the Swiss cantons will have determined their radon-affected areas (which are defined as areas with a mean value greater than 200 Bq/m³ or a single measurement in excess of the limit value). Higher radon concentrations occur especially in the cantons of Graubünden (Grisons), Ticino (Tessin), Neuchâtel (Neuenburg) and Jura, with isolated occurrences in the Swiss Mittelland. The corrected and weighted mean for Switzerland as a whole is 75 Bq/m³. Dwellings with higher radon values have remedial building work performed on them.

1.2. Precipitation ⁴⁾

In precipitation, it is **tritium** (³H) that predominates and today it still has a few Bq/l. At locations directly affected by industrial operations and nuclear facilities, it can climb to 10 Bq/l. The 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 up to a few thousand Bq/l have been recorded. For water to which the public has access, the ambient concentration limits 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 recorded less than 0.02 Bq/l in all the monthly samples. Naturally-occurring ⁷Be was at less than 1 Bq/l.

1.3. Aquatic systems

The **tritium content** of rivers is also a few Bq/l. In the industrialised regions and in the river Doubs near St-Ursanne, there are detectable effects from local emission sources. Tritium pollution from the clock and watch industry in and around La Chaux-de-Fonds has declined in recent years, since waste containing tritium is now collected and less of it thus makes its way into the regional waste-incineration facilities.

In the rivers Aare, Rhine, Rhone and Ticino and in Lake Lugano, only trace amounts of ¹³⁷Cs and, in some instances, ⁶⁰Co of up to 0.02 Bq/l were found in 2000, along with naturally-occurring radionuclides. Upstream from the nuclear installations, the only artificial radionuclide to be detected was ¹³⁷Cs from fallout and Chernobyl ⁵⁾.

Sediment samples taken from the rivers downstream of the nuclear installations and in Lake

Lugano make it possible to draw up a balance of the liquid discharges from the nuclear-power stations (⁵⁴Mn, ⁶⁰Co, ⁵⁸Co, ⁶⁵Zn and ¹³⁷Cs) and the contribution due to the Chernobyl reactor accident ⁶⁾.

Effluents from the **sewage works** serving the larger conurbations show isolated traces of ¹³¹I from nuclear medicine and also tritium values of up to nearly 2000 Bq/l; the latter are derived from industrial applications and clocks or watches containing tritium disposed of as household 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 4.2 TBq in 2000. In the same year, 64.8 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 air-borne 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 ⁴⁰K (200-1000 Bq/kg), which is also a naturally-occurring isotope, the application of potassium fertilisers also 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. The ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr and Pu values are higher in the central and southern Alpine ranges (and in parts of the Jura) than they are in the Swiss Mittelland. The Chernobyl component here has a more heterogeneous distribution than that from the weapons fallout, which is related to the different amounts of precipitation at the time of the reactor accident. The most 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. No evidence was found of the soil being affected by the nuclear installations – with one exception (⁶⁰Co at the Mühleberg nuclear power station, with values up to 2 Bq/kg). Amongst the artificial alpha sources, ^{239/240}Pu caused between 0.08 and 2.0 Bq/kg dry matter and ²⁴¹Am between 0.03 and 0.8 Bq/kg, with the values measured in the Swiss Mittelland being lower than those in the Jura and Alps. The ²³⁹Pu/²³⁸Pu ratio is around 35:1.

⁴⁾ Precipitation, 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].

⁷⁾ See sections [4.2] and [9.1].

⁸⁾ Soil, see sections [4.3] and [7.2].

1.5. Plants and food ⁹⁾

In samples of grass and foodstuffs, it was the naturally-occurring ^{40}K that dominated. Artificial radionuclides, such as ^{137}Cs or ^{90}Sr from the Chernobyl reactor accident and the nuclear-weapons tests, which the plants assimilate through their roots, 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 100 Bq/kg dry matter for ^{137}Cs in Ticino and the southern valleys of Canton Graubünden and up to just over 40 Bq/kg dry matter for ^{90}Sr in Ticino and the Alps. In **Milk**, the ^{137}Cs content was consistently below 2 Bq/l (with the exceptions of Ticino, with a maximum of 28 Bq/l, and the southern valleys of Canton Graubünden, with a peak of 4 Bq/l). The ^{90}Sr content in milk in the Swiss Mittelland and Jura was between 0.04 and 0.09 Bq/l; in the Alps, the range was 0.07 to 0.45; and in Ticino it lay between 0.12 and 0.40. Samples of cereals yielded less than 0.8 Bq/kg for ^{137}Cs and between 0.2 and 0.8 Bq/kg for ^{90}Sr .

Amongst indigenous **fungi**, gypsy mushrooms (*Rozites caperata*) and bay-coloured boletes (*boletus badius*) are sometimes still showing higher values, although with a slight downwards trend. In 2000, only two values were measured above the tolerance limit of 600 Bq ^{137}Cs /kg. Some imported fungi harvested in the wild also still contain detectable amounts of ^{137}Cs ; none of the measurements, however, exceeded the tolerance limit, which may be explained, inter alia, by the fact that, since October 1999, radioactivity certificates have been required for imported fungi.

The measurements made on imported **venison** produced ^{137}Cs values of up to 98 Bq/kg, but most of the measurements, however, were below 20 Bq/kg. **Fresh-water fish** imported from Eastern Europe had values between 2 and 60 Bq/kg.

Swiss and imported **mineral waters** continue to be inspected for natural radioactivity. All the mineral waters tested in the trade and restaurants satisfy the statutory limits laid down in the Swiss Federal Ordinance on Food Contents and Contaminants ("FIV"); see Section 1.

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 . Today, its share is still around 94 %. Foliage from

trees in the vicinity of the nuclear power stations shows a further increase of 6 to 133 %, those from Basel up to 100 %. 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. The increased levels measured in the vicinity of boiling-water reactors and in Basel led to an additional dose of a few thousandths of a mSv 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 performed on grammar-school students in Basel and Geneva showed ^{137}Cs activity generally below 10 Bq/kg (with a maximum of 31 Bq/kg). For the first time, school classes from Ticino were also examined. These were found to have somewhat higher values than those observed north of the Alps, with a maximum of 118 Bq/kg and medians of 26 (in Locarno) and 29 (in Lugano). The natural level of ^{40}K remains unchanged at around 3500 Bq in women and 5000 Bq in men. The ^{90}Sr level in human vertebrae was 0.022 Bq/g Ca and in milk teeth it ranged between 0.031 and 0.047.

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 to 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⁾.

¹¹⁾ Radionuclides in the human body, see sections [6.1] and [6.2]

¹²⁾ Cosmic radiation, see also the 1999 Annual Report, section [10.3]:

<http://www.admin.ch/bag/strahlen/ion/umwelt/d/index.htm>

¹³⁾ Dose measurements, see sections [3.1] and [3.2]

⁹⁾ Grass/food, see sections [4.3] and [5.1]

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

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⁾. The contamination that occurred in the past near Mühleberg nuclear power station (referred to in 1.4) today still causes up to 3 nSv/h at 1 m above ground level.

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. The areas surveyed in 2000 were the neighbourhoods of the nuclear power stations in Beznau and Leibstadt, the former *Centrale Nucléaire expérimentale* in Lucens (CNL) and various districts in Ticino; aerial radiometry was also conducted above the tailings dumped near Amsteg and Sedrun from the tunnelling work on the new trans-alpine railway route (NEAT), i.e. the Gotthard Base Tunnel. Whereas no increased radiation was detected near the operational nuclear power stations, there is still a measurable amount of radiation being given off in Lucens by a container with components from the dismantled reactor. The tunnelling tailings from the NEAT project showed no increased radioactivity. In Ticino, on the other hand, further hot spots were discovered, although with a lower level of activity than those of previous years.

3. Population radiation dose

3.1. Natural and cosmic radiation

The biggest single radiation-dose contribution comes from radon 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 40 000 residential buildings up until the year 2000 resulted in a weighted arithmetical mean of 75 Bq/m³. If anything, it seems likely that this estimated value is higher than the real situation, given the deliberate selection of houses and regions with potentially higher radon levels. For the population's average radon dose, the realistic mean figure of 60 Bq/m³, as published in earlier reports,

continues to be assumed. 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 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 (^{220}Rn). In around 10% of residential accommodation, the dose is around five times higher than this mean, and in around 5% it is ten times higher. According to conservative estimates, radon is likely to be responsible for a few percent of 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, whereby ^{40}K accounts 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, ^{14}C , ^7Be , etc. The daily consumption of a litre of mineral water with 1 Bq/l ^{226}Ra (the limit value for that isotope according to the Swiss Federal Ordinance on Food Contents and Contaminants, "FIV") results in an additional dose of approximately 0.1 mSv p.a.

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.

¹⁴⁾ Measurements in the neighbourhood of nuclear power stations, see section [8.3]

¹⁵⁾ For aerial radiometry see section [3.3]

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

Natural radiation sources (mSv p.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 caused by artificial radioactivity

The contribution to the external dose comes mainly from **medical applications** and the so-called "**minor sources**" as well as from exposure to radiation at the place of work in nuclear power stations, industries, commerce, public services, research and medicine. 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 result 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 ranging from 0.3 micro-Sv per annum (Geneva and Basle) up to 1 micro-Sv per annum (Ticino).

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.

Artificial radiation sources (mSv p.a.)

Source	Mean	Value range
Medicine	X-ray diagnosis ²⁰⁾	1
	Nuclear medicine ²¹⁾	0.04
"Minor sources"	Radioactive substances in utilitarian objects and consumer goods ²²⁾	0.1
Artificial radioactivity distributed on a large scale	Chernobyl	0.01
	Fallout from nuclear weapons	< 0.01
	⁸⁵ Kr from nuclear reprocessing	0.02
Radioactive immissions	Industrial operations and nuclear installations	≈ 0
		Up to 0.015
Exposure to radiation at the workplace	64 303 individuals exposed to radiation on account of their occupation ²³⁾	0.09
		< 20 97.8% < 1

Selected examples (mSv p.a.):

¹³⁷ Cs in milk	1 l/day with 10 Bq/l (= tolerance value)	0.05
¹³⁷ Cs in wild fungi	200 g/week with 600 Bq/kg (= tolerance value)	0.09
²²⁶ Ra in mineral water	1 l/day with 1 Bq/l (= limit value)	0.08
¹⁴ C in vegetables	200 g /day of vegetables from the neighbourhood of the Basel-Stadt hazardous-waste incineration facility ²⁴⁾	0.002
³ H in rainwater used as drinking water	2.2 l/day from the neighbourhood of a tritium-processing plant	0.01
Direct radiation (vicinity of nuclear power stations)	1 hour/day at the perimeter fence of the Leibstadt nuclear power station	0.1

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. Annual Report for 1999, section [10.3]: <http://www.admin.ch/bag/strahlen/ion/umwelt/d/index.htm>

¹⁸⁾ Including the following in micro-Sv per year: 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 20 mSv p.a. in 2% of the dwellings investigated.

²⁰⁾ IRA/FOPH survey 1996-99; cf. Annual Report for 1999, section [10.1]; <http://www.admin.ch/bag/strahlen/ion/umwelt/d/index.htm>

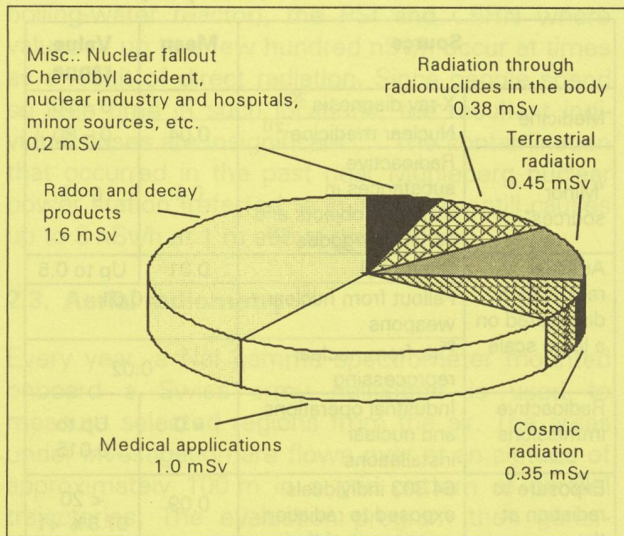
²¹⁾ 1989/90 survey by J. Roth, Kantonspital Basel-Stadt

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 2000, see (in German): <http://www.admin.ch/bag/strahlen/eks/d/taetig.htm>

²⁴⁾ The Basel-Stadt hazardous-waste incineration facility

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



Prefixes and their meaning

10^{-15}	fBq	femto	10^3	kBq	kilo
10^{-12}	pBq	pico	10^6	MBq	Mega
10^{-9}	nBq	nano	10^9	GBq	Giga
10^{-6}	μ Bq	micro	10^{12}	TBq	Tera
10^{-3}	mBq	milli	10^{15}	PBq	Peta

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; $1 \text{ Ci} = 37 \text{ Bq}$ and $1 \text{ Bq} = 27 \text{ pCi}$.

In order to be able to assess the population's **radiation risk**, the **effective dose** is determined in millisieverts (mSv) or microsieverts (μ Sv). 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*). 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*). 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, equivalent dose), as well as the weighting factors used are explained on page C-1.

The Swiss **Federal Radiological Protection Ordinance** ("StSV" *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 concentration 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, constitute 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. For radon gas, the maximum value applicable to residential accommodation and other buildings in which people congregate is 1000 Bq/m^3 . If this maximum is exceeded, then remedial work must be performed on the buildings concerned. For new or converted buildings, the guideline value of 400 Bq/m^3 should not be exceeded.