

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: - (1999)

Rubrik: Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 1999 : Überblick = Synthèse de la radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse pour 1999 = Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera nel 1999 : riassunto = Environmental radioactivity and radiation doses in Switzerland in 1999 : summary

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 06.01.2026

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

A

Übersicht

Sommaire

Riassunto

Summary

A

Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 1999 Übersicht	A.1
Synthèse de la radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse pour 1999 - vue d'ensemble	A.8
Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera nel 1999 Riassunto	A.15
Environmental Radioactivity and Radiation Doses in Switzerland in 1999 Summary	A.23

A

Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 1999: 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)

Einleitung ¹⁾

Dieses Kapitel fasst die Ergebnisse der Radioaktivitätsüberwachung in der Umwelt von 1999 zusammen. Kapitel 1 enthält die Resultate der Umweltmessungen gemäss Überwachungsprogramm, Kapitel 2 die Messungen der externen Strahlung und Kapitel 3 die daraus resultierenden Strahlendosen der Bevölkerung.

Keine Überwachung ist lückenlos. Messprogramme, Probenahmestellen und Analyseverfahren sind daher im Hinblick auf grösstmögliche Redundanz zu planen bzw. auszuwählen. Dazu müssen die Quellen der natürlichen und künstlichen Radioaktivität sowie die Transport- und Anreicherungsvorgänge in der Umwelt bekannt sein. Deshalb sollen die Überwachungsmessungen nicht nur aus einem einfachen Monitoringprogramm bestehen, sondern auch interdisziplinäre Forschungsprojekte beinhalten.

Zur Berechnung der Strahlendosen der Bevölkerung werden die Modelle und Dosisfaktoren der Schweizer Strahlenschutzverordnung (StSV) von 1994 benutzt. Diese basieren auf den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) und gelten für Personen, die bezüglich Lebens- und Ernährungsgewohnheiten sowie Metabolismus dem Bevölkerungsdurchschnitt entsprechen. Beim Konsumverhalten, das stark vom Durchschnitt abweicht, oder bei häufigem Aufenthalt an Orten mit erhöhter Bestrahlung (z.B. im Gebirge) können die Werte höher sein.

Das Strahlenrisiko kann anhand der Risikofaktoren der ICRP beurteilt werden. Dabei werden die folgenden, durch ionisierende Strahlung ausgelösten Beeinträchtigungen berücksichtigt: genetisch bedingte Missbildungen, Tod durch Krebserkrankung, sowie Verminderung von Lebenserwar-

tung oder Lebensqualität infolge Krebserkrankungen. Diese Risikofaktoren basieren u.a. auf den Untersuchungen an den Überlebenden der Atombombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki und sind nur als grobe Schätzwerte zu betrachten. Dabei ist das Strahlenrisiko immer zu den übrigen Risiken des täglichen Lebens in Bezug zu setzen.

In unserem Land waren 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 ist.

1. Natürliche und künstliche Radioaktivität in der Umwelt

1.1. Luft ²⁾

Bei den künstlichen Radionukliden in der Luft weist ⁸⁵Kr aus der Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoff mit im Mittel 1.3 Bq/m³ eine steigende Tendenz auf. Beim Tritium (³H) treten in der Nahumgebung von Tritiumverarbeitenden Betrieben in der Luftfeuchte Werte bis rund 10 Bq/m³ auf. Dies entspricht einem Prozent des Immisionsgrenzwertes gemäss Strahlenschutzverordnung. ¹³⁷Cs, ²³⁹Pu und ²⁴¹Am haben weiter abgenommen und sind nur noch in Spuren nachweisbar.

In der Luft - vor allem im Hausinnern - besteht der Hauptteil der Radioaktivität aus dem natürlichen Edelgas **Radon** ³⁾ und seinen radioaktiven Tochternukliden. Die Ablagerung der letzteren in der Lunge kann durch deren Alphastrahlung zu

¹⁾ Hinweise auf Kapitel im Teil B oder in früheren Jahresberichten sind in eckigen, solche für den Teil A in runden Klammern angegeben

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

³⁾ Radon siehe: [Kap. 2]

Lungenkrebs führen. Bisher wurden in der Schweiz 37'000 Häuser auf Radon untersucht mit insgesamt 69'000 Messungen, davon 40'000 in bewohnten Räumen. Ausser im Kanton Freiburg, wo Erhebungen für 2001 geplant sind, wurde in allen Kantonen gemessen. Gesamtschweizerisch gelten über 2000 von 2900 Gemeinden als genügend erfasst. Grössere Gebiete mit erhöhter Radongas-Konzentration befinden sich in den Kantonen Jura, Graubünden, Neuenburg und Tessin. Vereinzelt erhöhte Werte kommen auch im Mittelland vor. In bewohnten Räumen beträgt das arithmetische Mittel nach Korrektur bezüglich Stockwerk und regionaler Bevölkerungsverteilung 75 Bq/m³. Aus der repräsentativen Summenhäufigkeitsverteilung lässt sich abschätzen, dass ein bis zwei Prozent der Bevölkerung Konzentrationen von über 400 Bq/m³ (Richtwert) ausgesetzt sind und 0.3 Prozent solchen von über 1000 Bq/m³ (Grenzwert). In einigen tausend Häusern ist der Wert von 1000 Bq/m³ überschritten. Eine Reihe von Häusern mit erhöhten Radonwerten wurden mit bautechnischen Massnahmen saniert. Die Sanierungstechniken werden in Zusammenarbeit mit spezialisierten Firmen weiterentwickelt wobei das BAG Hausbesitzer und Baufachleute berät.

1.2. Niederschläge ⁴⁾

In den Niederschlägen dominiert **Tritium** (³H) mit heute noch wenigen Bq/l. Es stammt hauptsächlich aus industriellen Anwendungen. Südlich der Alpen sind die Werte geringfügig tiefer als auf der Alpennordseite. Das natürliche, von der kosmischen Strahlung erzeugte Tritium beträgt einige Zehntel Bq/l. Im Einflussbereich von Industriebetrieben und Kernanlagen werden Werte bis etwa 10 Bq/l festgestellt, in unmittelbarer Nähe von Tritiumverarbeitenden Betrieben, oder Verbrennungsanlagen wo tritiumhaltige Abfälle verbrannt werden, bis einige Tausend Bq/l. Für öffentliche Gewässer beträgt der Immissionsgrenzwert gemäss StSV 12'000 Bq/l; der Toleranzwert für Trinkwasser liegt gemäss Fremd- und Inhaltsstoffverordnung (FIV) bei 1000 Bq/l.

Weitere **künstliche Radionuklide**, wie etwa ¹³⁷Cs ergaben in allen Monatsproben weniger als 0.02 Bq/l. Das natürliche ⁷Be wies - ausser in der Umgebung des CERN - weniger als 1 Bq/l auf.

1.3. Gewässer

Der **Tritiumgehalt** in den Flüssen lag wie bei den Niederschlägen, bei einigen Bq/l. Ein geringfügiger Einfluss lokaler Emittenten ist in den industrialisierten Regionen zu erkennen: Im Alpenraum d.h.

in der Rhone im Wallis, der Aare oberhalb Mühleberg und im Ticino bei Contone liegt der mittlere Tritiumgehalt der letzten sieben Jahre bei 2.2 Bq/l. In der Aare bei Brugg bei etwa 5.3 und in der Rhone unterhalb Genf bei 3.3 Bq/l. Leicht erhöhte Werte bis 8 Bq/l treten noch im Doubs bei St. Ursanne/JU auf. Dieses Tritium kommt aus der Uhrenindustrie der Region La Chaux-de-Fonds. In den letzten Jahren zeigt der Doubs einen Rückgang der Aktivität, da Tritium-haltige Abfälle eingesammelt werden und damit weniger in die Kehrlichtverbrennungsanlage von La Chaux-de-Fonds gelangen. Das Jahresmittel sank von 90 Bq/l im Jahr 1990 auf unter 10 Bq/l in 1999 und der jährliche Tritium-Jahresabfluss von 105 auf weniger als 10 TBq ⁵⁾.

In den Flüssen Aare, Rhein, Rhone und Ticino, sowie im Luganersee wurden 1999 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 ⁶⁾.

Untersuchungen von **Sediment** werden in den Flüssen unterhalb der Kernanlagen und im Luganersee durchgeführt. Sie erlauben einerseits die flüssigen Abgaben der Kernkraftwerke (⁵⁴Mn, ⁶⁰Co, ⁵⁸Co, ⁶⁵Zn und ¹³⁷Cs) und andererseits den Eintrag durch den Reaktorunfall Tschernobyl zu bilanzieren ⁷⁾.

Abwässer der **Kläranlagen** der Städte Zürich, Basel, Bern und Lausanne wiesen vereinzelt geringe Mengen (bis wenige Bq/l) an ¹³¹I aus der Nuklearmedizin auf. Der Tritiumgehalt am Ausfluss von Kläranlagen betrug maximal 160 Bq/l (Basel), ausser bei jener von Biel mit bis 8000 Bq/l (Abklärungen laufen) bzw. von La Chaux-de-Fonds mit bis 3600 Bq/l. Das Tritium der letzteren stammt hauptsächlich aus der Rauchgas-Waschanlage der regionalen Kehrlichtverbrennungs-Anlage wo noch teilweise Tritiumhaltige Abfälle verbrannt werden. Der Tritium-Abfluss über die Kläranlage nahm von 1990 auf 1999 von 42 auf 9 TBq/Jahr ab. 1999 wurden in den Betrieben der Stadt La Chaux-de-Fonds 112 TBq ³H verarbeitet ⁸⁾.

1.4. Erdboden ⁹⁾

Der Erdboden ist ein guter Integrator für sämtliche Ablagerungen aus der Luft. Die natürlichen Radionuklide der Uran- und Thoriumreihen variieren je

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

⁵⁾ Flüsse siehe: [Kap. 4.2 und 7.1]

⁶⁾ [Kap. 4.2 und 4.5]

⁷⁾ [Kap. 4.2 und 4.5]

⁸⁾ [Kap. 4.2 und 9.1]

⁹⁾ Erdboden siehe: [Kap. 4.3 und 7.2]

nach geologischem Untergrund, während beim ebenfalls natürlichen ^{40}K die Verwendung von Kalidünger eine Rolle spielt.

Natürliche Radionuklide im Boden (Bq/kg TS)

Nuklid	^{40}K	U-Reihe	Th-Reihe
Wertebereich	200 - 1000	25 - 60	15 - 40

Auch die Verteilung der künstlichen Radionuklide zeigt regionale Unterschiede. Diese kommen von den Ablagerungen aus den oberirdischen Kernwaffen-Explosionen sowie vom Reaktorunfall Tschernobyl. Die ersteren erstreckten sich von den 50er- bis in die 70er-Jahre und deren Verteilung korreliert mit den regionalen jährlichen Niederschlagsmengen. Sie sind somit für ^{137}Cs , ^{90}Sr und Pu in den Alpen und Südalpen (und z.T. im Jura) höher als im Mittelland. Das Fallout-Caesium im Erdboden nahm im Mittelland u.a. wegen der dickeren Humusschicht und der stärkeren Nutzung des Bodens mit einer effektiven Halbwertszeit von etwa 5 Jahren ab, in den Alpen mit bis 20 Jahren. Die Ablagerung des ^{137}Cs nach dem Unfall Tschernobyl im Mai 1986 dauerte dagegen nur ein bis zwei Wochen und beschränkte sich bei den langlebigen Radionukliden im wesentlichen auf ^{137}Cs , während ^{90}Sr weniger weit transportiert wurde und in Westeuropa nur etwa 1 Prozent der abgelagerten Cs-Aktivität ausmachte. Der Tschernobyl-Anteil ist wesentlich heterogener verteilt als jener des Bomben-Fallout, was mit den unterschiedlichen Niederschlagsmengen zur Zeit des Tschernobyl-Unfalls. Hauptsächlich betroffen waren der Tessin und die Bündner Südtäler, in geringerem Ausmass auch der Jura und Teile der Nordostschweiz. Der grösste Teil dieser künstlichen Radioaktivität befindet sich noch immer in den oberen 30 cm des Erdbodens und ergab 1999 die Wertebereiche in der folgenden Tabelle. Ein Einfluss der Emissionen der Kernanlagen konnte im Boden mit einer Ausnahme nicht festgestellt werden. Nur beim Kernkraftwerk Mühleberg sind noch Spuren von ^{60}Co (< 2 Bq/kg) nachweisbar, die von einer Emission radioaktiver Harze über die Abluft im Jahr 1986 stammen ¹⁰⁾.

Künstliche Radionuklide im Boden (Bq/kg TS)

Schicht: 0 - 5 cm	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239/240}\text{Pu}$	^{241}Am
	Wertebereich 1999 Bq/kg TS			
Unterland	2 - 58	0.9 - 4.3	0.08 - 0.9	0.04 - 0.11
Alpen	33 - 62	2 - 12	0.4 - 1.4	0.2 - 1.2
Tessin	70-610	4 - 9	0.6 - 3.2	

1.5. Pflanzen und Lebensmittel ¹¹⁾

In Gras- und Lebensmittelproben dominiert das natürliche ^{40}K . Künstliche Radionuklide wie ^{137}Cs oder ^{90}Sr sind nur noch in Spuren vorhanden. ^{137}Cs stammt vom Reaktorunfall Tschernobyl und von den oberirdischen Kernwaffen-Versuchen. Ein Einfluss der Schweizer Kernanlagen oder Forschungsbetriebe ist nicht feststellbar. ^{137}Cs gelangt aus dem Boden über die Wurzeln in die Pflanzen. Die regionale Verteilung der Aktivitäten entspricht jener im Erdboden (siehe oben). Die etwas höheren ^{90}Sr -Werte in den Alpen und im Tessin liegen daran, dass diese Regionen mit höheren Niederschlagsmengen auch vom Fallout stärker betroffen waren als das Mittelland.

Gras, Milch und Getreide (Bq/kg od. Bq/L)

Probe	Region	^{40}K	^{137}Cs	^{90}Sr
Gras	Alpen-nordseite	430	0.3 - 9	0.8 - 6
	Tessin und Südbünden	bis	bis 84	4 - 29
	Alpen/Jura	1160	bis 30	2 - 41
Milch	Unterland		$< 1 - < 3$	bis 0.1
	Alpen, Südalpen und Tessin	50 (1.6 g K/l)	bis 20	0.15 - 0.45
Getreide	Alpen-nordseite	118 (4g K/kg)	< 0.8	0.35
	Tessin			0.7

Beim importierten Wildfleisch hat der ^{137}Cs -Gehalt weiter abgenommen und liegt in allen untersuchten Proben unter dem Toleranzwert von 600 Bq/kg. In rund 90 Prozent der Proben beträgt der ^{137}Cs -Gehalt weniger als 100 Bq/kg.

Bei den Pilzen der Alpennordseite zeigen nach wie vor Zigeunerpilze und Semmelstoppelpilze teilweise Werte über dem Toleranzwert von 600 Bq ^{137}Cs /kg, bezogen auf Frischgewicht; der Grenzwert war jedoch nie überschritten. Bei den Zigeunerpilzen ist eine leichte Abnahme der Aktivität zu erkennen. Auch Maronenröhrlinge sind immer noch mit Caesium belastet. Bei importierten Pilzen traten die höchsten Werte bei Semmelstoppelpilzen aus Osteuropa auf, mit einer Häufung der Werte zwischen 200 und 500 Bq/kg Frischgewicht. Dabei lagen 12 Proben über dem Toleranzwert von 600 Bq/kg wovon 5 gar über dem Grenzwert von 1250 Bq/kg. Warenposten mit Grenzwertüberschreitungen wurden aus dem Verkehr gezogen. Seit Oktober 1999 verlangt die Schweiz daher für Pilze aus Osteuropa ein Radioaktivitätszertifikat. Pfifferlinge und Steinpilze lagen in der Regel unter 200 Bq/kg.

¹⁰⁾ [Kap. 8.3]

¹¹⁾ Gras bzw. Lebensmittel siehe: [Kap. 4.4 bzw. 5.1]

Schweizerische und importierte Mineralwässer werden seit Jahren auf natürliche Radioaktivität untersucht. Von 63 im Handel und in Restaurants erhältlichen Mineralwässern erfüllen alle die gesetzlichen Limiten der Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe (FIV). Ein importiertes Wasser, dessen Radiumgehalt knapp darüber lag, wurde 1994 aus dem Handel genommen ¹²⁾.

1.6. Kohlenstoff-14 in Pflanzen ¹³⁾

¹⁴C wird bei der Assimilation von Kohlensäure von den Pflanzen aus der Luft während der Wachstumsphase aufgenommen. Zur natürlichen, durch die kosmische Strahlung erzeugten ¹⁴C-Aktivität von 227 Bq/kg Kohlenstoff in den Pflanzen kommt der Betrag der Kernwaffen-Versuche hinzu. Dieser Anteil war in den 60er-Jahren etwa gleich gross wie der natürliche und beträgt heute noch, gemessen an einer Referenzstation in der Nähe von Bern, 99 Promille davon. 1999 wurden in der Nähe des Kernkraftwerkes Leibstadt in Baumblättern Werte gefunden, die bis 225 Promille über dem Referenzwert lagen, beim KKW Gösgen bis 85 Promille. In der Nähe des stillgelegten Forschungsreaktors Saphir des Paul-Scherrer-Institutes und des im Bau befindlichen Zwischenlagers (ZWILAG) beträgt die Erhöhung bis 40 Promille.

In der Stadt Basel werden in der neuen Sondermüll-Verbrennungsanlage unter anderem ¹⁴C-haltige Abfälle aus der chemischen Forschung verbrannt. Das führt bei den Proben von Baumblättern aus der Umgebung zu einer Erhöhung gegenüber dem Referenzwert um bis zu 100 Promille.

Der Gehalt an natürlichem ¹⁴C in Nahrungsmitteln 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. Radioaktivität im Körper ¹⁴⁾

Mit Ganzkörpermessungen und ⁹⁰Sr-Bestimmungen an Milchzähnen und Wirbelknochen wird die Aufnahme von Radionukliden über die Nahrung erfasst. Ganzkörpermessungen an Gymnasiasten aus Basel und Genf ergaben keine erhöhte ¹³⁷Cs-Aktivität; die Messwerte lagen meistens unter der Nachweisgrenze.

Radionuklide im menschlichen Körper

Nuklid / Organ	Einheit	Frauen	Männer
⁴⁰ K natürlich (Ganzkörper)	Bq	3400	4900
¹³⁷ Cs (Ganzkörper)	Bq	< 25	< 30
⁹⁰ Sr in Milchzähnen	Bq/g Ca	0.04	
⁹⁰ Sr in Wirbelknochen		0.02	

2. Externe Strahlendosen

2.1. Natürliche Strahlung

Die externe Strahlendosis kommt weitgehend von der kosmischen und der terrestrischen Strahlung. Die Quelle der letzteren sind die natürlichen Radionuklide im Erdboden und in Baumaterialien. Entsprechend der örtlichen Verteilung von ⁴⁰K und den Nukliden der Uran- und Thoriumreihen im Boden treten deutliche regionale Unterschiede auf. Die Intensität der kosmischen Strahlung - man unterscheidet eine solare und eine galaktische Komponente - hängt von der Höhe ab, da die Strahlung durch die Lufthülle der Erde abgeschwächt wird ¹⁵⁾.

Die Dosisleistung im Freien liegt in der Schweiz im Mittel bei 90 nSv/h, mit Werten zwischen 40 nSv/h und 230 nSv/h. Im Hausinnern wird der kosmische und terrestrische Anteil durch die Gebäudehülle teilweise abgeschirmt. Andererseits führen natürliche Radionuklide im Baumaterial zu einer zusätzlichen Strahlung, die diese Abschirmung meist mehr als kompensiert. Bei einem Wertebereich von 50 nSv/h bis 260 nSv/h liegt der Mittelwert im Hausinnern bei 100 nSv/h, also etwa 10 Prozent höher als im Freien. Ergebnisse von Dosisleistungsmessungen im ganzen Land befinden sich im Teil B ¹⁶⁾.

2.2. Künstliche Radioaktivität

Die Ablagerungen des Reaktorunfalles Tschernobyl vom April 1986 und der oberirdischen Kernwaffenversuche tragen - mit Ausnahme des Tessins, wo sie noch bis 30 Prozent betragen - heute nur noch einige Prozente zur externen Dosisleistung bei ¹⁷⁾.

An einigen Stellen an der Umzäunung der Kernkraftwerke Mühleberg und Leibstadt (¹⁶N-Strahlung aus dem Siedewasserreaktor), des PSI und des CERN treten zeitweise infolge Direktstrahlung bis einige 100 nSv/h auf. In der zugänglichen näheren Umgebung ist dieser Beitrag jedoch in Anbetracht

¹²⁾ Lebensmittel siehe: [Kap. 5.1], FIV siehe [Kap. 1]

¹³⁾ ¹⁴C-Messungen siehe: [Kap. 7.1]

¹⁴⁾ Radionuklide im Körper siehe: [Kap. 6.1 und 6.2]

¹⁵⁾ Kosmische Strahlung siehe: [10.3]

¹⁶⁾ Dosismessungen siehe: [3.1 bis 3.4]

¹⁷⁾ Dosismessungen siehe [Kap. 3.1 und 3.2]

Stellen unbedeutend ¹⁸⁾. 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 ¹⁹⁾

Mit einem NaI-Gamma-Spektrometer an Bord eines Super-Puma-Helikopters der Armee werden jedes Jahr ausgewählte Gebiete vermessen (Aeroradiometrie). Dabei wird das zu untersuchende Gebiet in einem Raster aus parallelen Fluglinien (je nach Aufgabenstellung 100 bis 500 m auseinander) in einer Höhe von rund 100 m abgeflogen. Mit einem Auswerteprogramm wird danach eine Strahlenkarte des beflogenen Gebietes erstellt. Die 1999 vermessenen Gegenden waren die Umgebung der Kernanlagen Mühleberg, Gösgen, die deutsche Seite beim Kernkraftwerk Leibstadt, die Umgebung des ehemaligen Versuchsreaktors Lucens/VD sowie verschiedene Gebiete im Tessin und - in einer gemeinsamen Übung mit einer deutschen Gruppe des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) - ein Gebiet im Schwarzwald. Bei den Siedewasserreaktoren Leibstadt und Mühleberg ist die ¹⁶N-Strahlung - diese ist zwar zur Seite, nicht aber nach oben abgeschirmt - messbar, beim ehemaligen Reaktor Lucens ist noch zwischengelagertes, radioaktives Material nachweisbar. Im Tessin wurden Hot-Spots der Tschernobyl-Ablagerungen erfasst. Die Messungen im Schwarzwald (bei der ehemaligen Uranerzgrube Kunkelbach bei Menzenschwand) dienten der Überprüfung der Methode und dem praktischen Vergleich der in beiden Ländern verwendeten Instrumente und Auswerteprogramme. Parallel dazu wurden am Boden Messungen mit dem in-situ-Gammaspektrometer durchgeführt.

3. Strahlendosen der Bevölkerung

3.1. Natürliche Radioaktivität und kosmische Strahlung

Radon und seine Folgeprodukte in Wohn- und Arbeitsräumen ergeben den grössten Beitrag zur Strahlendosis. Radon ist von seiner Entstehung her zwar natürlich, die erhöhten Konzentrationen, denen der Mensch im Hausinnern ausgesetzt ist, sind jedoch zivilisationsbedingt. In der Schweiz bis 1999 durchgeführte Erhebungen ergeben als (korrigiertes) Mittel etwa 75 Bq/m³, wobei 50 Prozent der Werte unter 40 Bq/m³ liegen. Ein bis zwei Prozent sind höher als der Richtwert von 400

Bq/m³ und 0.3 Prozent höher als der Grenzwert von 1000 Bq/m³. Der genannte Mittelwert dürfte wegen der gezielten Auswahl von Häusern und Regionen mit potenziell erhöhtem Radongehalt die tatsächlichen Verhältnisse überschätzen. Für die durchschnittliche Radon-Dosis der Bevölkerung wird daher das in früheren Berichten genannte Mittel von 60 Bq/m³ verwendet. Für die Dosisberechnung wird eine Aufenthaltsdauer im Wohnbereich bzw. am Arbeitsplatz von 7000 bzw. 2000 Stunden pro Jahr angenommen. Die entsprechenden Dosisfaktoren sind $2.44 \cdot 10^{-6}$ bzw. $3.17 \cdot 10^{-6}$ mSv pro Bq/m³ und Stunde ²⁰⁾. Die Dosis durch das kurzlebige natürliche radioaktive Edelgas Thoron (²²⁰Rn, Halbwertszeit 55 s) - für das in der Schweiz keine Messwerte im Wohnbereich vorliegen - wird mit einem Zuschlag von 10 Prozent berücksichtigt. Man erhält so eine mittlere jährliche Dosis durch Radon für die Schweizer Bevölkerung von etwa 1.6 mSv. In etwa 10 Prozent der Wohnräume liegt die Dosis beim Fünffachen davon, in etwa 5 Prozent beim Zehnfachen. Ein Aufenthalt von einem Tag in einer Höhle mit 5000 Bq/m³ führt vergleichsweise zu etwa 0.4 mSv.

Natürliche Radionuklide gelangen auch über die Nahrung in den Körper und führen durchschnittlich zu etwa 0.38 mSv, wobei ⁴⁰K rund die Hälfte davon ausmacht. Der Rest kommt von den Nukliden der natürlichen Zerfallsreihen Uran und Thorium sowie von den kosmogenen Radionukliden Tritium, ¹⁴C, ⁷Be etc. Der tägliche Konsum von einem Liter Mineralwasser mit 1 Bq/l ²²⁶Ra, dem Grenzwert gemäss der FIV für ²²⁶Ra, ergibt eine zusätzliche Dosis von etwa 0.1 mSv/a.

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. Bisherige Messungen ergeben, dass in der Schweiz die externe Dosis im Hausinnern etwa 10 Prozent höher ist als im Freien.

¹⁸⁾ Messungen Umgebung der KKW siehe: [Kap. 8.3]

¹⁹⁾ Zur Aeroradiometrie siehe: [Kap. 3.3]

²⁰⁾ vergleiche Jahresbericht 1993 Seite B.2.3

Natürliche Strahlenquellen (mSv/Jahr)

Quelle	Mittel	Wertebereich
externe Bestrahlung	0.9 ²¹⁾	0.5 – 2.0
Nahrung	0.4 ²²⁾	0.2 – 0.5
Radon im Wohnbereich	1.6	0.3 – über 20 ²³⁾
Summe	3	1 bis über 20

Für die **Schweizer Bevölkerung** beträgt die Jahresdosis aus **natürlichen Quellen** gesamthaft etwa 3 mSv. Die Zusammensetzung ist aus der obenstehenden Tabelle ersichtlich.

3.2. Zivilisationsbedingte Strahlendosen

Der Beitrag zur externen Strahlendosis kommt zum grössten Teil von **medizinischen Anwendungen** und den sogenannten **„Kleinquellen“**. Ein weiterer Beitrag kommt von der beruflichen Strahlenexposition in Kernkraftwerken, Industrien, Handel, öffentlichem Dienst, Forschung und Medizin.

Die **interne Bestrahlung** wird durch künstliche Radionuklide - hauptsächlich ¹³⁷Cs und ⁹⁰Sr - in der Nahrung verursacht. Ganzkörpermessungen an Schulklassen aus Genf und Basel ergaben Dosen durch inkorporiertes ¹³⁷Cs von deutlich unter 1 Tausendstel mSv pro Jahr. In den Alpen und im Tessin sowie für kleine Bevölkerungsgruppen mit vom Durchschnitt wesentlich abweichenden Lebens- und Ernährungsgewohnheiten dürften die Dosen bis zehn mal höher liegen. Der Beitrag zur **externen Strahlendosis** durch künstliche Radionuklide kann nur approximativ angegeben werden. Bei dauerndem Aufenthalt im Freien erhält man unter konservativen Annahmen zwischen 0.01 und 0.5 mSv pro Jahr. Dieser grosse Streubereich ist eine Folge der regionalen Unterschiede bei der ¹³⁷Cs-Ablagerung nach dem Reaktorunfall Tschernobyl. Die Schweizer Kernkraftwerke, das PSI und das CERN tragen dazu nicht wesentlich bei.

Künstliche Strahlenquellen (mSv/Jahr)

Quelle		Mittel	Wertebereich
Medizin	Röntgendiagnostik ²⁴⁾	1	0 – 30
	Nuklearmedizin ²⁵⁾	0.04	0 – 80
"Kleinquellen"	radioaktive Stoffe in Gebrauchsgegenständen und Konsumgütern ²⁶⁾	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	62'416 beruflich strahlenexponierte Personen ²⁷⁾	0.12	< 20 (97% < 1)

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.

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/Tag aus Nähe der SVA Basel ²⁸⁾	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

²¹⁾ davon durch kosmische Strahlung auf 300 m 0.35 mSv/Jahr. Ein Flug Schweiz-Nordamerika ergibt zusätzlich etwa 0.04 mSv; Flugpersonal und Vielflieger erhalten zusätzlich durchschnittlich etwa 3 mSv/Jahr; siehe [10.3]

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

²³⁾ über 20 mSv/Jahr in 2 Prozent der untersuchten Häuser

²⁴⁾ Neue Untersuchung IRA/BAG 1996-99; siehe [10.1]

²⁵⁾ Erhebung von 1989/90, J. Roth, Kantonsspital Basel-Stadt

²⁶⁾ z.B. Uhren mit Leuchtziffern auf Tritiumbasis, natürliche Radionuklide in Fliesen, Th in Glühstrümpfen oder Zahnkeramik, Ionisations-Rauchmelder, ²¹⁰Po im Zigarettenrauch, etc.

²⁷⁾ in KKW, Medizin, Forschung, Industrie und öffentlichen Diensten. Quelle Dosimetriebericht BAG 1999

²⁸⁾ Sondermüll-Verbrennungsanlage Basel-Stadt

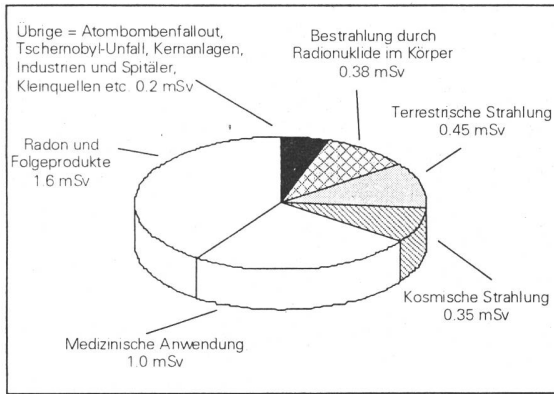


Abb. 1: Durchschnittliche Beiträge zur Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung (Gesamtdosis: 4 mSv/Jahr)

Präfixe und ihre Bedeutung

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. 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 $1 \text{ nCi} = 37 \text{ Bq}$ bzw. $1 \text{ Bq} = 27 \text{ pCi}$.

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 Abgabelimits 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/m^3 . Bei Überschreiten dieser Grenzwerte sind die Gebäude zu sanieren. Bei Neu- oder Umbauten soll ein Richtwert von 400 Bq/m^3 nicht überschritten werden.

A Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse pour 1999: 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 1999. Le chapitre 1 porte sur les résultats des mesures environnementales selon le programme de surveillance, le chapitre 2 sur les mesures de l'exposition externe, et le chapitre 3 sur les doses de rayonnement qui en résultent pour la population.

Une surveillance exhaustive n'est pas possible. Les programmes de mesures, les prélèvements et méthodes d'analyse doivent donc être choisis et programmés avec le plus grand soin afin de recenser avec suffisamment de précision les voies principales d'exposition. Il faut également connaître parfaitement les sources naturelles et artificielles de radioactivité mais aussi les phénomènes régissant leur transfert et leur enrichissement dans l'environnement. C'est pourquoi la surveillance de la radioactivité ne doit pas seulement être le fait de simples contrôles de routine mais aussi s'inscrire dans le cadre de 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) qui se base dans ses grandes lignes sur les recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR). Celles-ci s'appliquent aux personnes dont le mode de vie, les habitudes alimentaires et le métabolisme correspondent en moyenne à ceux de la population. Néanmoins, pour certains comportements de consommation ou en cas de séjours fréquents à des endroits à plus fort rayonnement (montagne), les valeurs peuvent être plus élevées.

Le risque d'irradiation peut être apprécié sur la base des facteurs de risque de la CIPR. Ces facteurs tiennent compte des atteintes à la santé

suivantes, induites par le rayonnement ionisant : risque de malformations génétiques, décès ou réduction de l'espérance ou de la qualité de vie, suite aux cancers. Ces facteurs de risque, qui résultent entre autres des études effectuées sur les survivants des bombes atomiques de Hiroshima et Nagasaki, sont à considérer comme des estimations grossières. L'appréciation du risque radio-induit doit également se faire en regard des autres risques de la vie quotidienne.

En Suisse, la radioactivité mesurée dans l'environnement ainsi que les doses d'irradiation à la population attribuables à des sources artificielles de rayonnements ont été jusqu'ici nettement inférieures aux limites légales. Le risque associé apparaît donc insignifiant. 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 naturelle et artificielle dans l'environnement

1.1. Air ²⁾

En ce qui concerne les radionucléides présents dans l'air, 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 pour-cent de la limite d'immission admise selon l'Ordonnance sur la radioprotection. ¹³⁷Cs, ²³⁹Pu et ²⁴¹Am ont continué à diminuer : on n'en rencontre plus que des traces.

La plus grande partie de la radioactivité dans l'air – en particulier à l'intérieur des bâtiments – est à mettre sur le compte du gaz **radon** ³⁾ d'origine naturelle et de ses produits radioactifs. En se

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.

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

³⁾ Radon, voir [chap. 2]

déposant dans les poumons, ces derniers peuvent déclencher un cancer du poumon (rayonnement alpha). Jusqu'ici 37'000 maisons ont été examinées en Suisse, ce qui représente 69'000 mesures dont 40'000 dans des locaux habités. Tous les cantons ont été examinés à l'exception du canton de Fribourg où des mesures sont prévues en 2001. Au niveau national, 2000 des 2900 communes sont considérées comme suffisamment recensées. On rencontre dans les cantons du Jura, des Grisons, de Neuchâtel et du Tessin de grandes régions qui accusent des concentrations de radon accrues. Il en va de même, de manière isolée dans le Plateau. Après corrections en fonction des étages et de la répartition régionale de la population, la moyenne arithmétique dans les séjours est de 75 Bq/m³. On peut donc estimer, sur la base de la somme de distribution des fréquences cumulées représentatives, qu'un à deux pour-cent de la population est exposée à des concentrations de plus de 400 Bq/m³ (valeur directrice) et que 0,3 pour-cent de la population est exposée à des concentrations supérieures à 1000 Bq/m³ (Valeur limite), soit quelques milliers de maisons. Une série d'habitations présentant des valeurs élevées de radon ont déjà été assainies avec succès. Les techniques d'assainissement continuent à être développées en collaboration avec des firmes spécialisées, et l'OFSP conseille les propriétaires de maison ainsi que les spécialistes de la construction.

1.2. Précipitations ⁴⁾

Dans les précipitations, c'est le **tritium** (³H) qui domine aujourd'hui avec encore quelques Bq/l, principalement en raison de son utilisation industrielle. Au sud des Alpes, les valeurs sont légèrement inférieures à celles mesurées au nord des Alpes. Alors que la part naturelle cosmogénique de tritium est de quelques dixièmes de Bq/l, on constate dans les bassins d'influence des entreprises industrielles ou d'installations nucléaires des concentrations jusqu'à environ 10 Bq/l et, à proximité immédiate d'entreprises traitant du tritium ou d'usines d'incinération de déchets contenant du tritium, ces valeurs peuvent atteindre quelques milliers de Bq/l. 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, donnent pour chaque mesure mensuelle, moins de 0,02 Bq/l. Le ⁷Be quant à lui atteint des valeurs de moins de 1 Bq/l à l'exception des environs du CERN.

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, on reconnaît une faible influence de sources d'émission locales. Dans l'espace alpin, soit dans le Rhône (VS), dans l'Aare en amont de Mühleberg et dans le Ticino près de Contone, la teneur moyenne en tritium mesurée ces sept dernières années est de 2,2 Bq/l; dans l'Aare près de Brugg, elle s'élève à quelque 5,3 Bq/l et dans le Rhône en aval de Genève à environ 3,3 Bq/l. On a relevé des valeurs légèrement supérieures (jusqu'à 8 Bq/l) dans le Doubs près de St-Ursanne/JU. Ce tritium provient de l'industrie horlogère de la région de la Chaux-de-Fonds. Au cours des dernières années, le Doubs accuse un recul de l'activité : les déchets contenant du tritium sont désormais collectés séparément et atterrissent moins à l'usine d'incinération de la Chaux-de-Fonds. La moyenne annuelle a baissé de 90 Bq/l en 1990 à moins de 10 Bq/l en 1999, et l'écoulement annuel de tritium de 105 à 10 TBq ⁵⁾.

Dans les rivières, Aare, Rhin, Rhône et 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 ⁶⁾.

Des analyses de **sédiment** sont effectuées dans les rivières en aval des centrales nucléaires et dans le lac de Lugano. Elles ont permis de dresser le bilan des écoulements liquides des centrales nucléaires (⁵⁴Mn, ⁶⁰Co, ⁵⁸Co, ⁶⁵Zn et ¹³⁷Cs) et les contributions de l'accident nucléaire de Tchernobyl ⁷⁾.

Les eaux de rejet des **stations d'épuration** des villes de Zurich, Bâle, Berne et Lausanne ont indiqué dans des cas isolés quelques Bq/l de ¹³¹I, attribuables à la médecine nucléaire. La teneur en tritium des eaux de rejet de STEP s'est élevée au maximum à 160 Bq/l (Bâle) exception faite de Bienne (8000 Bq/l) pour laquelle une enquête est en cours, et La Chaux-de-Fonds avec jusqu'à 3600 Bq/l. Ce tritium provient principalement du lavage des fumées de l'installation d'incinération de déchets de la région où des déchets contenant en partie du tritium sont encore incinérés. Entre 1990 et 1999, l'écoulement de tritium correspondant a passé de 42 à 9 TBq/année. En 1999, 112 TBq ³H ont été traités par les entreprises de la ville ⁸⁾.

⁴⁾ pluie, voir [chap. 4.1, 7.1 et 9.1]

⁵⁾ rivières, voir [chap. 4.2 et 7.1]

⁶⁾ chap. 4.2 et 4.5]

⁷⁾ [chap. 4.2 et 4.5]

⁸⁾ [chap. 4.2 et 9.1]

1.4. Sols ⁹⁾

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.

Radionucléides naturels dans le sol (en Bq/kg TS)

Nucléide	⁴⁰ K	Série U	Série Th
Domaine de valeur	200 - 1000	25 - 60	15 - 40

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 premières étant à mettre en corrélation avec les précipitations locales entre 1950 et 1970. Cela explique notamment que l'intensité des dépôts ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr et Pu est plus importante dans les Alpes et au sud des Alpes (et en partie dans le Jura) que sur le Plateau. Le Cs dû au Fallout a baissé sur le Plateau, notamment en raison de la couche d'humus plus épaisse et de l'utilisation plus intensive du sol, avec une demi-vie effective de 5 ans environ, (jusqu'à 20 ans dans les Alpes). Par contre, les dépôts dus à Tchernobyl, en mai 1986, dont la composante à long terme se restreint pratiquement au ¹³⁷Cs, n'ont duré qu'une à deux semaines alors que le ⁹⁰Sr, transporté moins loin, ne représentait qu'un pour-cent environ de l'activité Cs en Europe occidentale. 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. La majeure partie de cette radioactivité artificielle se trouve dans les 30 premiers cm du sol : le tableau ci-dessous indique les valeurs pour 1999. On n'a constaté aucune influence des émissions des centrales nucléaires à une exception près. A Muhleberg, on rencontre en effet encore des traces de ⁶⁰Co (< 2 Bq/kg), qui proviennent d'une émission en 1986 de résines radioactives par la cheminée ¹⁰⁾.

Radionucléides artificiels dans le sol (Bq/kg TS)

Couche : 0 - 5 cm	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	^{249/240} Pu	²⁴¹ Am
	Domaine de valeur 1999 Bq/kg TS			
Plateau	2 - 58	0.9 - 4.3	0.08 - 0.9	0.04 - 0.11
Alpes	33 - 62	2 - 12	0.4 - 1.4	0.2 - 1.2
Tessin	70 - 610	4 - 9	0.6 - 3.2	

1.5. Végétaux et aliments ¹¹⁾

Dans les échantillons d'herbe et d'aliments, c'est le ⁴⁰K naturel qui domine. On trouve encore des traces de radionucléides artificiels comme le ¹³⁷Cs et le ⁹⁰Sr. Le premier provient de Tchernobyl et des essais nucléaires atmosphériques ; il est transféré depuis le sol vers les plantes par voie racinaire. On ne constate aucune influence des installations ou des centres de recherche nucléaires suisses. La distribution régionale de l'activité des plantes reflète celle du sol, voir ci-dessus. Les valeurs ⁹⁰Sr plus élevées dans les Alpes et au Tessin confirment que ces régions, où la pluviosité annuelle est plus importante, ont été plus fortement marquées par le Fallout que le Plateau suisse.

Echantillons d'herbe, de lait et de céréales (Bq/kg ou Bq/l)

Ech.	Region	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Herbe	Nord des Alpes	430	0.3 - 9	0.8 - 6
	Tessin + sud des Grisons	bis	jusqu'à 84	4 - 29
	Alpes/Jura	1160	jusqu'à 30	2 - 41
Lait	Plateau		< 1 - < 3	jusqu'à 0.1
	Alpes+sud des Alpes +Tessin	50 (1.6 g K/l)	jusqu'à 20	0.15 - 0.45
Céréales	Nord des Alpes	118	< 0.8	0.35
	Tessin	(4g K/kg)		0.7

Pour le gibier importé, les concentrations ¹³⁷Cs ont encore légèrement diminué ; dans tous les échantillons analysés, elles étaient inférieures à la valeur de tolérance de 600 Bq/kg. Dans près de 90 pour cent des échantillons, la teneur en ¹³⁷Cs était inférieure à 100 Bq/kg.

Pour les champignons du nord des Alpes, ce sont encore les pholiotés ridées et les pieds-de-mouton qui accusent partiellement des valeurs dépassant la valeur de tolérance (rapportée au poids frais) de 600 Bq/kg ¹³⁷Cs, la valeur limite n'étant toutefois jamais dépassée. On constate une légère baisse de l'activité pour les pholiotés ridées. Les bolets pied

⁹⁾ sols, voir [chap. 4.3 et 7.2]

¹⁰⁾ [chap. 8.3]

¹¹⁾ Herbe resp. aliments, voir [chap. 4.4 resp. 5-1]

rouge sont toujours touchés par le césium. Pour les champignons importés, on rencontre les valeurs les plus élevées dans les pieds-de-mouton d'Europe de l'Est avec de fréquentes valeurs entre 200 et 500 Bq/kg. 12 échantillons ont dépassé la valeur de tolérance de 600 Bq/kg et 5 de ces échantillons ont dépassé la valeur limite de 1250 Bq/kg. Les lots incriminés ont été immédiatement retirés du marché.

Suite à cette situation, la Suisse exige, depuis octobre 1999, un certificat de radioactivité pour les champignons en provenance de l'Europe de l'Est. En règle générale, les chanterelles et les bolets se situaient en dessous de 200 Bq/kg.

La radioactivité des eaux minérales suisses et étrangères fait l'objet d'un contrôle depuis plusieurs années. Les 63 marques disponibles sur le marché répondent aux limites légales fixées par l'OSEC. Une eau minérale importée dont la teneur en radium dépassait légèrement cette limite a été retirée de la vente en 1998 ¹²⁾.

1.6. Carbone-14 dans les plantes ¹³⁾

Le ¹⁴C est assimilé par les plantes en phase de croissance à partir du CO₂ dans l'air. Au ¹⁴C provenant du rayonnement cosmique, estimé à 227 Bq/kg de carbone, s'ajoute celui issu des essais nucléaires. Cette contribution voisine de la part naturelle dans les années 60 en représente aujourd'hui 99 pour mille (mesures effectuées dans une station de référence près de Berne). En 1999, on a mesuré dans des feuillages prélevés, des valeurs dépassant la valeur de référence : jusqu'à 225 pour mille à proximité de la centrale nucléaire de Leibstadt et 85 pour mille près de celle de Gösgen. Cette augmentation se monte jusqu'à 40 pour mille auprès du réacteur de recherche Saphir de l'Institut Paul Scherrer (désaffecté) et près du dépôt intermédiaire en chantier (ZWILAG).

A Bâle, des déchets contenant du ¹⁴C provenant de la recherche chimique sont incinérés dans la nouvelle station d'incinération des déchets spéciaux de la ville. Il en résulte une augmentation par rapport à la valeur de référence jusqu'à près de 100 pour mille dans les échantillons de feuillages avoisinants.

La teneur en ¹⁴C naturel des aliments occasionne 0.013 mSv par an. Les augmentations enregistrées au voisinage 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 ¹⁴⁾

On peut déterminer l'incorporation de radionucléides avec la nourriture sur la base de mesures du corps entier et des analyses de ⁹⁰Sr dans les dents de lait et les vertèbres. Les mesures du corps entier des collégiens de Bâle et de Genève n'ont signalé, à quelques exceptions près, aucune activité mesurable de ¹³⁷Cs.

Radionucléides dans le corps humain

Nucléide / organe	Unité	femmes	hommes
⁴⁰ K naturel (corps entier)	Bq	3400	4900
¹³⁷ Cs (corps entier)	Bq	< 25	< 30
⁹⁰ Sr dans les dents de lait	Bq/g Ca	0.04	
⁹⁰ Sr dans les vertèbres		0.02	

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. La grande variabilité régionale du ⁴⁰K et des séries de l'uranium et du thorium se répercute évidemment sur les débits de dose qui en résultent. Le rayonnement cosmique – on distingue ici la composante solaire et une composante galactique –, partiellement atténué par l'atmosphère, augmente par conséquent selon l'altitude ¹⁵⁾.

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, le rayonnement cosmique et la radioactivité du sol sont en partie atténués par les structures de construction. D'un autre côté, les radionucléides naturels des matériaux de construction constituent une source additionnelle de rayonnements qui surcompense en général cette atténuation. Pour un domaine allant de 50 à 260 nSv/h, la valeur moyenne obtenue à l'intérieur des maisons de 100 nSv/h se situe environ 10% au-dessus de celle en plein air. Un tableau synoptique des mesures de dose sur l'ensemble du pays se trouve dans la partie B ¹⁶⁾.

¹²⁾ aliments, voir [chap. 5.1], OSEC, voir [chap.1]

¹³⁾ mesure de ¹⁴C, voir [chap. 7.1]

¹⁴⁾ radionucléides dans le corps humain, voir [chap. 6.1 et 6.2]

¹⁵⁾ rayonnement cosmique, voir [10.3]

¹⁶⁾ mesures de doses, voir [3.1 à 3.4]

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 ¹⁷⁾.

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. Dans le voisinage facilement accessible au public, cette contribution reste, néanmoins faible et n'occasionne pas de doses de rayonnements notables compte tenu du séjour restreint de personnes en ces endroits ¹⁸⁾. 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 ¹⁹⁾

Des mesures sont effectuées chaque année à bord d'un hélicoptère à l'aide d'un spectromètre gamma NaI. Le secteur à surveiller est quadrillé à 100 m d'altitude, en espaçant les lignes de vol de 100 à 500 m en fonction du type de mesure souhaité. Un programme de traitement des données permet ensuite d'établir la carte du rayonnement du territoire étudié. En 1999, les secteurs mesurés ont été le voisinage des centrales nucléaires de Mühleberg et de Gösgen, la partie sur territoire allemand jouxtant Leibstadt, les environs de l'ancien réacteur expérimental de Lucens/VD, diverses régions dans le Tessin ainsi qu'un secteur de la Forêt-Noire, dans le cadre d'un exercice conjoint avec un groupe du *BfS Bundesamtes für Strahlenschutz*. Pour les réacteurs à eau bouillante de Leibstadt et de Mühleberg, le rayonnement ¹⁶N est mesurable (blindage latéral, pas de blindage vertical), à proximité de l'ancien réacteur de Lucens, on trouve encore des traces de dépôt intermédiaire de matériel radioactif. Au Tessin, on a mesuré des pointes dues aux retombées de Tchernobyl. Les mesures dans la Forêt-Noire (à proximité de l'ancienne mine d'uranium de Krunkelbach près de Menzenschwand) ont permis de vérifier la méthode et de comparer sur le terrain les instruments et les programmes de traitement des données utilisés par les deux pays. En parallèle à

cela, des mesures au sol ont été réalisées avec un spectromètre gamma in-situ.

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 1999 en Suisse indiquent une moyenne (corrigée) de 75 Bq/m³; à noter que 50% des valeurs sont inférieures à 40 Bq/m³, 1 à 2% sont supérieures à la valeur directrice de 400 Bq/m³, 0,3% excédant la valeur limite des 1000 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. Les facteurs de dose sont $2.44 \cdot 10^{-6}$ respectivement $3.17 \cdot 10^{-6}$ mSv par Bq/m³ et par heure ²⁰⁾. Pour la dose de l'autre gaz rare, le thoron (²²⁰Rn, demi-vie 55s), naturellement radioactif lui aussi et pour lequel il n'existe aucune mesure dans les bâtiments suisses, on tient compte d'une augmentation des valeurs d'environ 10%. Il en résulte ainsi en moyenne une dose annuelle attribuable au radon et au thoron voisine de 1.6 mSv. 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. A titre de comparaison, une journée passée dans une grotte avec 5000 Bq/m³ correspond approximativement à 0.4 mSv.

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

¹⁷⁾ mesures de doses, voir [ch. 3.1 et 3.2]

¹⁸⁾ mesures à proximité des centrales nucléaires, voir [chap. 3.3]

¹⁹⁾ aéroradiométrie, voir [chap. 3.3]

²⁰⁾ voir rapport annuel 1993, page B.2.3

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). Les mesures faites jusqu'ici montrent en moyenne que la dose à l'intérieur est supérieure d'environ 10% à celle en plein air.

Sources de rayonnement naturel (mSv/an)

Source	Moyenne	Domaine
Rayonnement externe	0.9 ²¹⁾	0.5 - 2.0
Aliments	0.4 ²²⁾	0.2 - 0.5
Habitations (radon)	1.6	0.3 - plus de 20 ²³⁾
Somme	3	1 à plus de 20

Au total, la **population suisse** est soumise annuellement à près de 3 mSv **d'origine naturelle**, qui se répartissent comme indiqué ci-dessus.

3.2. Doses induites par la civilisation

La part prépondérante des rayonnements externes provient des **applications médicales** et des **sources dites faibles**. Une autre contribution provient d'une exposition professionnelle aux rayons dans les centrales nucléaires, l'industrie, le commerce, les services publics, la recherche et la médecine.

Les radionucléides artificiels incorporés avec la nourriture - ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr surtout - occasionnent une **irradiation interne**. Des mesures du corps entier de collégiens de Genève et de Bâle, ont mis en évidence des doses nettement inférieures à 1 millième de mSv par an. Dans les Alpes et au Tessin, ainsi que pour certains petits groupes de la population dont le mode de vie et les habitudes alimentaires s'écartent significativement du comportement habituel, cette contribution à la dose pourrait être dix fois supérieure. 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'IPS et le CERN ne contribuent pas de façon significative à cette irradiation.

Sources de rayonnement artificiel (mSv/an)

Source	Moyenne	Domaine
Médecine		
Diagnostic par rayons X ²⁴⁾	1	0 - 30
Médecine nucléaire ²⁵⁾	0.04	0 - 80
Sources faibles	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	≈ 0	jusqu'à 0.015
Exposition professionnelle	0.12	< 20 (97% < 1)

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.

Quelques exemples (mSv/an)

¹³⁷ Cs dans le lait	1 l/jour avec 20 Bq/l (=TW)	0.1
¹³⁷ Cs dans les champignons	200 g/semaine avec 600 Bq/kg	0.09
¹⁴ C dans les légumes	200 g/jour (des environs de SVA Bâle ²⁸⁾)	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

²¹⁾ dont rayonnement cosmique: 300 m 0.35 mSv/an. Un vol Suisse-Amérique du Nord, dose supplémentaire de 0.04 mSv; pour le personnel volant et les personnes voyageant fréquemment en avion, dose supplémentaire moyenne de 3 mSv/an [10.3].

²²⁾ dont en millième mSv par an: 40K = 200; 87Rb = 6; 3H = 0.01; 7Be = 3; 14C = 12; 22Na = 0.2; U, Th et Ra = 30; 210Pb + 210Po = 120.

²³⁾ plus de 20 mSv/an dans 2% des maisons analysées.

²⁴⁾ Nouveau sondage 1996/99 de l'IRA/OFSP voir [10.1]

²⁵⁾ Sondage de 1989/90, J. Roth, Hôp. Cant. BS

²⁶⁾ Par ex. montres avec aiguilles phosphorescentes 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.

²⁷⁾ Centrales nucléaires, médecine, recherche, industrie et administration publique

²⁸⁾ Usine d'incinération de déchets spéciaux, Bâle-Ville.

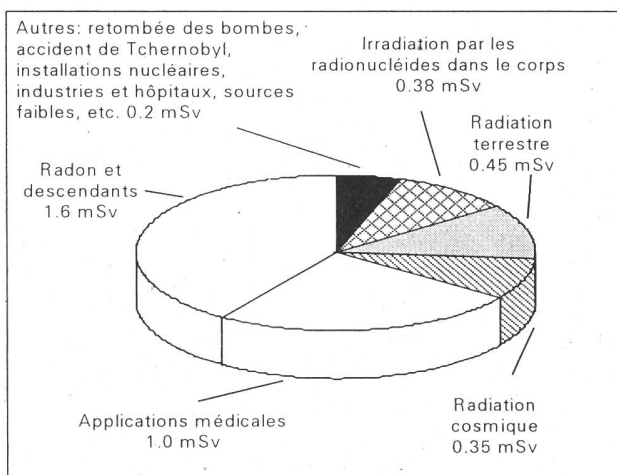


Figure 1: Contributions moyennes à l'exposition aux rayonnements de la population suisse (dose globale: 4 mSv/an)

4. 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 μ Sv. 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-1.

Préfixes et leurs significations

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

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 m^3 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/ m^3 ne doit pas être dépassée.

A

Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera nel 1999: Riassunto

H. Völkle

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

Introduzione ¹⁾

In questa parte del rapporto gli esiti della sorveglianza della radioattività ambientale nel 1999 sono presentati in forma riassuntiva. Il primo capitolo concerne i risultati delle misure operate nell'ambiente per il programma di sorveglianza, il secondo le misure relative all'irradiazione esterna e il terzo le dosi d'irradiazione che ne derivano per la popolazione.

Una sorveglianza senza lacune è ovviamente impossibile. Si tratta perciò di stabilire e scegliere programmi di misura, punti di prelievo dei campioni e procedimenti d'analisi in modo tale da ottenere un numero possibilmente elevato di dati. A tale scopo, è necessario conoscere le fonti naturali e artificiali di radioattività, nonché i modi di trasporto e di arricchimento nell'ambiente. Al di là di un semplice programma di monitoraggio, le misure operate per la sorveglianza devono perciò includere progetti di ricerca interdisciplinari.

Il calcolo delle dosi d'irradiazione della popolazione si fonda sui modelli e fattori di dose ritenuti nell'Ordinanza federale sulla radioprotezione (ORaP) del 1994. Questi modelli e fattori di dose corrispondono alle raccomandazioni della Commissione internazionale di radioprotezione (ICRP) e si riferiscono a persone con abitudini alimentari e di vita medi e un metabolismo normale per rapporto alla media della popolazione. Se il consumo di determinati prodotti alimentari si scosta parecchio dalla media o se una persona si trattiene spesso in luoghi particolarmente esposti a radiazioni (ad esempio in montagna) i valori effettivi possono essere più elevati.

Riferendosi ai fattori di rischio dell'ICRP, è possibile valutare i pericoli legati all'irradiazione. Questi fattori tengono in considerazione i seguenti danni dovuti a radiazioni ionizzanti: malformazioni genetiche, morte per cancro e di riduzione della durata o della qualità di vita per cancro. Essi si fondano tra altro su ricerche svolte sui superstiti

dei bombardamenti di Hiroshima e Nagasaki e sono da considerarsi valori di stima assai approssimativi. Per valutare correttamente il rischio legato all'irradiazione, bisogna inoltre sempre considerarlo in relazione agli altri rischi della vita quotidiana.

Nel nostro Paese, i valori della radioattività ambientale e le dosi d'irradiazione della popolazione da fonti radioattive artificiali sono finora sempre rimasti parecchio 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 naturale e artificiale nell'ambiente

1.1. Aria ²⁾

Tra i radionuclidi artificiali, tende a crescere la concentrazione del ⁸⁵Kr, proveniente dalla rigenerazione di combustibile nucleare, attualmente pari a circa 1,3 Bq/m³. Per quanto riguarda il tritio (³H), nell'umidità dell'aria circostante le aziende di lavorazione del tritio si riscontrano, valori fino a circa 10 Bq/m³, pari all'uno per cento del valore limite d'immissione secondo l'Ordinanza sulla radioprotezione. La concentrazione di ¹³⁷Cs, ²³⁹Pu e ²⁴¹Am si è ulteriormente ridotta; di questi radionuclidi artificiali non sono ormai accertabili altro che tracce.

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. Quando questi ultimi si sedimentano nei polmoni, le radiazioni alfa emesse possono causarvi il cancro. Con le 69'000 misure operate, di cui 40'000 in locali abitati, si è finora esaminata la presenza di radon in 37'000 case svizzere. Ad eccezione di Friburgo, dove si

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.

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

³⁾ Radon v. [cap. 2]

prevedono rilevamenti nel 2001, si sono svolte misure in tutti i Cantoni. Esistono rilevamenti sufficienti per 2000 dei 2900 comuni svizzeri. Nel Giura, nei Grigioni, nel Cantone di Neuchâtel e in Ticino si trovano regioni estese con alte concentrazioni di radon. In singoli casi, si sono misurati valori elevati anche nell'Altopiano. La media aritmetica della concentrazione nei locali abitati calcolata tenendo conto del numero di piani e della ripartizione geografica della popolazione è di 75 Bq/m³. Dalla distribuzione cumulata delle frequenze significative si deduce che l'1 a 2 per cento della popolazione è esposto a concentrazioni superiori a 400 Bq/m³ (valore operativo), lo 0,3 per cento a concentrazioni superiori 1000 Bq/m³ (valore limite). La concentrazione di radon supera questo limite in alcune migliaia di case. Diverse case che presentavano valori elevati di radon sono state risanate con provvedimenti di tecnica edilizia. In cooperazione con ditte specializzate, si continuano a sviluppare le diverse tecniche di risanamento; l'UFSP funge da consulente per proprietari di case e professionisti dell'edilizia.

1.2. Precipitazioni ⁴⁾

Nelle precipitazioni predomina il **tritio** (³H), presente ormai in concentrazioni di alcuni Bq/l soltanto. Il tritio proviene principalmente da applicazioni industriali. A sud delle Alpi, i valori sono leggermente inferiori a quelli misurati a nord delle Alpi. Il tritio naturale, proveniente dalla radiazione cosmica, ammonta a pochi decimi di Bq/l. Nelle aree influenzate da aziende industriali e impianti nucleari si trovano valori fino a 10 Bq/l circa, nelle immediate vicinanze di aziende di lavorazione del tritio o di impianti d'incenerimento dove si bruciano scorie contenenti tritio, i valori salgono fino ad alcune migliaia di Bq/l. Il limite d'immissione del tritio nelle acque pubblicamente accessibili conformemente all'ORaP è di 12'000 Bq/l; il valore di tolleranza per le acque potabili secondo l'Ordinanza sulle sostanze estranee e sui componenti nelle derrate alimentari (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. Tranne che nei paraggi dell'CERN, la concentrazione di ⁷Be, di origine naturale, ammontava sempre a meno di 1 Bq/l.

1.3. Acque

Come le precipitazioni, anche l'acqua fiumana presentava un contenuto di **tritio** di alcuni Bq/l. Nelle regioni industrializzate, si osserva un influsso modesto di emittenti locali: nelle regioni alpine,

ossia nel Rodano nel Canton Vallese, nell'Aar a monte di Mühleberg e nel Ticino presso Contone, il contenuto medio di tritio degli ultimi sette anni è stato di 2,2 Bq/l; nell'Aar presso Brugg è stato di circa 5,3 e nel Rodano a valle di Ginevra di 3,3 Bq/l. Nel Doubs presso St. Ursanne/JU si sono ancora riscontrati valori leggermente più elevati, fino a 8 Bq/l. Questo tritio proviene dall'industria orologiera nella regione di La Chaux-de-Fonds. Nel corso degli ultimi anni la concentrazione di radioattività nel Doubs è decresciuta, poiché le scorie contenenti tritio vengono raccolte e non giungono più così spesso nell'impianto d'incenerimento dei rifiuti di La Chaux-de-Fonds. La media annuale è scesa da 90 Bq/l nel 1990 a meno di 10 Bq/l nel 1999 e il deflusso annuale di tritio è calato da 105 a 10 TBq ⁵⁾.

Accanto ai radionuclidi naturali, nel 1999 si sono trovate nei fiumi Aar, Reno, Rodano e Ticino, nonché nel Ceresio, 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 ⁶⁾.

Analisi dei **sedimenti**, svolte nei fiumi a valle degli impianti nucleari come anche nel 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 d'altro lato ⁷⁾.

Nelle acque di scolo degli **impianti di depurazione** delle città di Zurigo, Basilea, Berna e Losanna, si sono trovate in singoli casi quantità modeste (fino a pochi Bq/l) di ¹³¹I proveniente dalla medicina nucleare. Il contenuto massimo di tritio negli effluenti di impianti di depurazione è stato di 160 Bq/l (Basilea), con due eccezioni: a Bienne si sono misurati valori fino a 8000 Bq/l (indagini in merito sono in corso) e a La Chaux-de-Fonds, si sono riscontrati massimi di 3600 Bq/l. In quest'ultimo caso, il tritio proviene soprattutto dal gorgogliatore di lavaggio del gas combusto dell'impianto regionale di incenerimento dei rifiuti, dove si bruciano ancora in parte scorie contenenti tritio. Dal 1990 al 1999, il deflusso annuale di tritio dall'impianto di depurazione delle acque è sceso da 42 a 9 TBq/anno. Nel 1999 sono stati lavorati nelle aziende della città di La Chaux-de-Fonds 112 TBq di tritio ⁸⁾.

⁴⁾ Pioggia v. [cap. 4.1.7.1. e 9.1.]

⁵⁾ Fiumi v. [cap. 4.2 e 7.1]

⁶⁾ [cap. 4.2 e 4.5]

⁷⁾ [cap. 4.2 e 4.5]

⁸⁾ [cap. 4.2 e 9.1]

1.4. Suolo ⁹⁾

Il suolo è un buon integratore di tutti i sedimenti dell'aria. La concentrazione dei radionuclidi naturali delle catene di decadimento dell'urano e del torio varia a seconda della struttura geologica del sottosuolo, mentre quella del ⁴⁰K, anch'esso naturale, dipende dall'impiego di concimi potassici.

Radionuclidi naturali nel suolo

(Bq/kg di materiale secco)

radionuclide	⁴⁰ K	catena dell'urano	catena del torio
marginale di variazione	200 - 1000	25 - 60	15 - 40

La distribuzione dei radionuclidi artificiali nel suolo presenta anch'essa differenze regionali. Queste ultime sono riconducibili alla diversa sedimentazione della radioattività proveniente dalle esplosioni in superficie di armi nucleari e dall'incidente nel reattore di Cernobil. Le prime sono perdurate dagli anni cinquanta fino agli anni settanta e la loro distribuzione rispecchia la ripartizione delle precipitazioni annuali sulle diverse regioni. La concentrazione di questi sedimenti di ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr e Pu è perciò più elevata nelle Alpi e a Sud delle Alpi (in parte anche nel Giura) che nell'Altopiano. Il tempo di dimezzamento effettivo del cesio proveniente dalle ricadute delle bombe atomiche è risultato di circa 5 anni nell'Altopiano, dove lo strato di humus è più spesso e lo sfruttamento del suolo più intenso, e di fino a 20 anni nelle Alpi. La sedimentazione di radioattività dopo l'incidente di Cernobil nel maggio del 1986, è invece durata soltanto da una a due settimane e, per quanto riguarda i radionuclidi di lunga durata, si è limitata essenzialmente al ¹³⁷Cs; l'attività dello ⁹⁰Sr, trasportato meno lontano, corrisponde invece soltanto sull'uno per cento circa di quella del Cs depositato nell'Europa occidentale. Per effetto del diverso volume delle precipitazioni registrate dopo l'incidente, la parte dovuta a Cernobil è ripartita in modo assai più eterogeneo che quella derivante dalle ricadute delle bombe atomiche. Ne sono stati particolarmente colpiti il Ticino e le valli grigionesi a sud delle Alpi, nonché, in misura minore, il Giura e parti della Svizzera nord-orientale. La maggior parte di questa radioattività artificiale si trova ancora in uno strato di 30 cm dalla superficie del terreno, con una concentrazione compresa, nel 1999, entro i limiti indicati nella tabella sottostante. Con una sola eccezione, non si è constatato, nel suolo, alcun influsso delle emissioni di centrali nucleari. Soltanto presso la centrale nucleare di Mühleberg si sono accertate tracce ⁶⁰Co (< 2 Bq/kg), provenienti dall'emissione di resine

radioattive attraverso l'aria di ventilazione nel 1986 ¹⁰⁾.

Radionuclidi artificiali nel suolo

(Bq/kg di materiale secco)

strato: 0 - 5 cm	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	^{239/240} Pu	²⁴¹ Am
marginale di variazione 1999 in Bq/kg di materiale secco				
Altopiano	2 - 58	0,9 - 4,3	0,08 - 0,9	0,04 - 0,11
Alpi	33 - 62	2 - 12	0,4 - 1,4	0,2 - 1,2
Ticino	70 - 610	4 - 9	0,6 - 3,2	

1.5. Piante e derrate alimentari ¹¹⁾

Nei campioni di erba e derrate alimentari prelevati era predominante il ⁴⁰K, di origine naturale. Dei radionuclidi artificiali ¹³⁷Cs e ⁹⁰Sr non si sono accertate che tracce. Il ¹³⁷Cs proviene dall'incidente nel reattore di Cernobil e dagli esperimenti in superficie con armi nucleari. Non è accertabile alcun influsso delle centrali nucleari o degli impianti di ricerca svizzeri. Il ¹³⁷Cs contenuto nel suolo penetra nelle piante attraverso le radici. La ripartizione regionale della radioattività nelle piante e derrate alimentari corrisponde a quella nel suolo (v. sopra). I valori leggermente più elevati dello ⁹⁰Sr nelle Alpi e nel Ticino sono riconducibili al fatto che queste zone di forti precipitazioni sono state più colpite che l'Altopiano dalle ricadute delle bombe atomiche.

Erba, latte e cereali (Bq/kg o Bq/l)

Campione	Regione	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
erba	Nord delle Alpi	430 a 1160	0,3 - 9	0,8 - 6
	Ticino e Sud dei Grigioni		fino a 84	4 - 29
	Alpi/Giura		fino a 30	2 - 41
latte	Altopiano	50 (1,6 g K/l)	<1 - <3	bis 0,1
	Alpi, Sud delle Alpi e Ticino		fino a 20	0,15 - 0,45
cereali	Nord delle Alpi	118 (4g K/kg)	<0,8	0,35
	Ticino			0,7

La concentrazione di ¹³⁷Cs nella selvaggina importata è ulteriormente diminuita; in tutti i campioni analizzati è inferiore al valore di tolleranza di 600 Bq/kg. Nel 90 per cento dei casi, il contenuto di ¹³⁷Cs è risultato inferiore a 100 Bq/kg.

Tra i funghi raccolti al Nord delle Alpi, gli agarici rugosi (rozites caperata) e i gallinacci spinosi (hydnum repandum) presentano tuttora concentrazioni di ¹³⁷Cs in parte superiori al valore di

⁹⁾ Suolo v. [cap. 4.3 e 7.2]

¹⁰⁾ [cap. 8.3]

¹¹⁾ Erba v. [cap. 4.4]

Derrate alimentari v. [cap. 5.1]

tolleranza 600 Bq/kg; il valore limite non è tuttavia mai stato superato. Per quanto riguarda gli agarici rugosi, si nota una leggera diminuzione della radioattività. Anche nei boleti dei castagni (*xerocomus badius*) è ancora presente cesio. La concentrazione più elevata tra i funghi importati è stata riscontrata nei gallinacci spinosi provenienti dall'Europa orientale, per i quali i valori più frequenti sono compresi tra 200 e 500 Bq/kg di funghi freschi. In dodici campioni la concentrazione è stata superiore al valore di tolleranza di 600 Bq/kg, in cinque di essi superava addirittura il valore limite di 1250 Bq/kg. Le partite di merci dove si sono constatati superamenti del valore limite sono state ritirate dalla circolazione. Dall'ottobre del 1999, la Svizzera richiede perciò, per i funghi provenienti dall'Europa orientale, un certificato sulla radioattività. Nei gallinacci e nei porcini, la radioattività era di regola inferiore a 200 Bq/kg.

Da diversi anni, la radioattività naturale nelle acque minerali svizzere e importate è sottoposta ad esame. In tutte e 63 le acque minerali che si possono acquistare in commercio o nei ristoranti, la radioattività è contenuta nei limiti prescritti dall'Ordinanza sulle sostanze estranee e sui componenti nelle derrate alimentari (OEC). Un'acqua importata, il cui contenuto di radio è risultato appena superiore a tale limite, è stata tolta dalla circolazione nel 1994 ¹²⁾.

1.6. Carbonio-14 nelle piante ¹³⁾

Le piante assorbono ¹⁴C dall'aria quando ne assimilano l'anidride carbonica durante la fase di crescita. Ai 227 Bq ¹⁴C per kg di carbonio presenti nelle piante per la radioattività naturale derivante dalla radiazione cosmica si aggiunge il contributo degli esperimenti svolti con le armi nucleari. Negli anni sessanta, questa parte equivaleva approssimativamente a quella naturale; oggi, secondo i valori misurati in una stazione di riferimento vicino a Berna, ne comporta circa il 99 per mille. Nel 1999, nelle foglie colte nelle vicinanze delle centrali nucleari, il valore di riferimento per la concentrazione di ¹⁴C è stato superato del 225 per mille al massimo presso la centrale nucleare di Leibstadt e del 85 per mille presso quella di Gösgen. Vicino al reattore di ricerca fuori esercizio Saphir dell'Istituto Paul Scherrer e al deposito intermedio in costruzione, l'aumento è del 40 per mille al massimo.

Nel nuovo impianto d'incenerimento dei rifiuti speciali della città di Basilea si bruciano, tra altro, rifiuti provenienti dalla ricerca chimica e contenenti

¹⁴C. Nei campioni di foglie d'alberi prelevati presso l'impianto ne risulta un superamento del valore di riferimento che può raggiungere anche il 100 per mille.

Il contenuto di ¹⁴C naturale nelle derrate alimentari causa una dose d'irradiazione di 0,013 mSv per anno. Gli aumenti della concentrazione misurati nei pressi di reattori ad acqua bollente e a Basilea danno origine a una dose addizionale di alcuni millesimi di mSv per anno.

1.7. Radioattività nell'organismo ¹⁴⁾

Per mezzo di misure dell'intero organismo e di analisi del contenuto di ⁹⁰Sr nei denti di latte e nelle vertebre si determina la radioattività assorbita con l'alimentazione. Le misure del corpo intero svolte su liceali di Basilea e Ginevra non hanno rivelato alcuna attività elevata del ¹³⁷Cs; nella maggior parte dei casi, i valori misurati erano inferiori al limite accertabile.

Radionuclidi nell'organismo umano

Radionuclide e organo	Unità	Donne	Uomini
⁴⁰ K naturale (organismo intero)	Bq	3400	4900
¹³⁷ Cs (organismo intero)	Bq	< 25	< 30
⁹⁰ Sr nei denti di latte	Bq/g Ca	0,04	
⁹⁰ Sr nelle vertebre		0,02	

2. Dosi d'irradiazione esterna

2.1. Radiazione naturale

La dose d'irradiazione esterna deriva in buona parte dalla radiazione cosmica e terrestre. Fonte di quest'ultima sono i radionuclidi naturali contenuti nel suolo e nei materiali di costruzione. Le nette differenze regionali riflettono la ripartizione geografica del ⁴⁰K e dei nuclidi della catena dell'urano e del torio. La radiazione cosmica – costituita da una componente solare e una componente galattica – aumenta con l'altitudine, dato che l'involucro atmosferico della terra ne attenua l'impatto ¹⁵⁾.

In media, l'intensità di dose all'aperto in Svizzera è di 90 nSv/h, con valori che oscillano tra 40 e 230 nSv/h. All'interno delle case, il contributo della radiazione cosmica e terrestre è in parte attenuato dall'involucro dell'edificio. D'altra parte, i radionuclidi naturali contenuti nel materiale di costruzione causano una radiazione supplementare che, il più delle volte, supera questo effetto schermante. Con valori compresi tra 50 e 260 nSv/h, l'intensità di

¹²⁾ Derrate alimentari v. [cap. 5.1]

OEC v. [cap. 1]

¹³⁾ Misure del ¹⁴C v. [cap. 7.1]

¹⁴⁾ Radionuclidi nell'organismo v. [cap. 6.1 e 6.2]

¹⁵⁾ Radiazione cosmica v. [cap. 10.3]

valori compresi tra 50 e 260 nSv/h, l'intensità di dose in casa ammonta perciò in media a 100 nSv/h, superando del 10 per cento circa quella all'aperto. Nella parte B sono riportati gli esiti di misure dell'intensità di dose svolte in tutto il Paese ¹⁶⁾.

2.2. Radioattività artificiale

I depositi provenienti dall'incidente nel reattore di Cernobil nell'aprile del 1986 e dagli esperimenti in superficie con armi nucleari contribuiscono soltanto ancora con una piccola percentuale all'intensità di dose esterna ¹⁷⁾. Il Ticino costituisce un'eccezione: qui il loro contributo ammonta tuttora fino al 30 per cento dell'intensità di dose esterna complessiva.

In alcuni punti presso il recinto delle centrali nucleari di Mühleberg e Leibstadt (radiazione di ¹⁶N dal reattore ad acqua bollente), dell'PSI e del CERN si riscontrano talvolta valori fino ad alcune centinaia di nSv/h, dovuti alle radiazioni dirette. Nelle vicinanze accessibili, questo contributo è tuttavia irrilevante, vista la breve permanenza delle persone in questi luoghi ¹⁸⁾. Ad un'altezza di un metro dal suolo, i residui di fuoriuscite avvenute in passato presso la centrale nucleare di Mühleberg, che abbiamo già menzionato nel capitolo (1.4), causano ancora 3 nSv/h al massimo.

2.3. Aeroradiometria ¹⁹⁾

Ogni anno, alcune regioni scelte sono oggetto di misure svolte per mezzo di uno spettrometro gamma al Nal a bordo di un elicottero Super-Puma dell'esercito (aeroradiometria). L'elicottero sorvola la regione in questione ad un'altezza di circa 100 metri dal suolo, seguendo una griglia di linee parallele ad una distanza di 100 a 500 m l'una dall'altra, a seconda del compito assegnato. Un programma d'analisi dei risultati consente quindi di allestire una carta radiometrica della regione sorvolata. Nel 1999 il programma di aeroradiometria includeva i dintorni delle centrali nucleari di Mühleberg e Gösgen, la parte tedesca della regione circostante la centrale nucleare di Leibstadt, la regione attorno al reattore sperimentale fuori esercizio di Lucens/VD, diverse regioni ticinesi, nonché una zona della Foresta nera, esaminata in cooperazione con un gruppo tedesco dell'Ufficio federale di radioprotezione. Presso i reattori ad acqua bollente di Mühleberg e Leibstadt si sono misurate radiazioni provenienti dal decadimento del ¹⁶N (la cui diffusione è impedita da schermi laterali ma non verso l'alto),

presso il reattore di Lucens è ancora accertabile la presenza di un deposito intermedio di materiale radioattivo. Nel Ticino si sono rilevati i punti dove la sedimentazione di materiale proveniente da Cernobil è stata più intensa. L'obiettivo delle misure svolte nella Foresta Nera (vicino alla miniera di uranio abbandonata di Krunkelbach presso Menzenschwand) era quello di una verifica metodologica e di un confronto pratico degli strumenti e programmi d'analisi in uso nei due Paesi. Parallelamente si sono effettuate misure in situ al suolo con lo spettrometro gamma.

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, il radon è di origine naturale; le concentrazioni elevate alle quali gli esseri umani si trovano esposti all'interno degli edifici sono tuttavia dovute alla cultura. Dalle misure svolte in Svizzera fino al 1999 risulta una concentrazione media (corretta) di circa 75 Bq/m³. Il 50 per cento dei valori misurati è inferiore a 40 Bq/m³, l'1 a 2 per cento superiore al limite operativo di 400 Bq/m³ e lo 0,3 per cento superiore al limite di 1000 Bq/m³. Poiché per le misure si sono scelti intenzionalmente edifici e regioni con un contenuto potenzialmente elevato di radon, il valore medio rappresenta probabilmente una stima eccessiva per rapporto alle circostanze reali. Per il calcolo della dose media d'irradiazione della popolazione dovuta al radon, applichiamo perciò il valore medio di 60 Bq/m³, indicato in rapporti passati. Il calcolo della dose si fonda sull'ipotesi di una permanenza di 7000 ore all'anno nei locali d'abitazione e di 2000 ore sul posto di lavoro. I fattori di dose corrispondenti sono di $2,44 \cdot 10^{-6}$ e $3,17 \cdot 10^{-6}$ mSv all'ora per Bq/m³ ²⁰⁾. Al risultato ottenuto si aggiunge un supplemento del 10 per cento per tenere conto della dose derivante dal toron (²²⁰Rn), gas nobile naturale radioattivo di breve durata (tempo di dimezzamento 55 secondi) per il quale non si hanno, in Svizzera, misure relative ai locali d'abitazione. Si ottiene così una dose media annuale causata dal radon di circa 1,6 mSv. Nel 10 per cento circa dei locali d'abitazione, la dose ammonta al quintuplo di questo valore, nel cinque per cento al decuplo. A titolo di confronto: un giorno di permanenza in una grotta con 5000 Bq/m³ causa una dose di circa 0,4 mSv.

I radionuclidi naturali penetrano nell'organismo umano anche attraverso l'alimentazione causandovi

¹⁶⁾ Misure della dose v. [cap. 3.1 a 3.4]

¹⁷⁾ Misure della dose v. [cap. 3.1 e 3.2]

¹⁸⁾ Misure nel dintorni delle CN v. [cap. 8.3]

¹⁹⁾ Aeroradiometria v. [cap. 3.3]

²⁰⁾ cfr. Rapporto annuale 1993, pag. B.2.3.

in media una dose annuale di circa 0,38 mSv, di cui circa la metà rappresenta il contributo del ^{40}K . Il resto proviene dai radionuclidi delle catene di decadimento naturali dell'urano e del torio, nonché da quelli di origine cosmica: tritio, ^{14}C , ^7Be , ecc. Il consumo giornaliero di un litro d'acqua minerale contenente 1 Bq/l di ^{226}Ra (limite del contenuto di ^{226}Ra secondo l'OEC) causa una dose addizionale di circa 0,1 mSv/anno.

Contribuiscono inoltre alla dose d'irradiazione esterna anche i radionuclidi contenuti nel suolo. Il loro contributo 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 0,75 a St. Moritz. Dalle misure svolte finora, risulta che in Svizzera la dose d'irradiazione esterna in casa supera quella all'aperto del 10 per cento circa.

Fonti radioattive naturali (mSv/anno)

Fonte	Media	Margine di variazione
Irradiazione esterna	0,9 ²¹⁾	0,5 – 2,0
Alimentazione	0,4 ²²⁾	0,2 – 0,5
Radon nei locali abitati	1,6	da 0,3 a oltre 20 ²³⁾
Totale	3	da 1 a oltre 20

Complessivamente, la dose annuale d'irradiazione **della popolazione svizzera da fonti naturali** ammonta a circa 3 mSv. La tabella ne indica la ripartizione.

3.2. Dosi d'irradiazione d'origine antropogena

Il maggior contributo antropogeno alla dose d'irradiazione esterna è quello delle **applicazioni**

mediche e delle cosiddette **"fonti minori"**. A queste viene ad aggiungersi il contributo dell'esposizione a radiazioni per motivi professionali nelle centrali nucleari, nell'industria, nel commercio, nei servizi pubblici, nella ricerca e nella medicina.

L'**irradiazione interna** è causata principalmente dai radionuclidi artificiali assorbiti con l'alimentazione, in primo luogo dal ^{137}Cs e dallo ^{90}Sr . Secondo le misure dell'intero organismo svolte su studenti di Ginevra e Basilea, le dosi dovute al ^{137}Cs incorporato sono nettamente inferiori a un millesimo di mSv per anno. Nelle Alpi, in Ticino e per piccoli segmenti della popolazione con abitudini alimentari e di vita assai divergenti, sono possibili dosi fino a dieci volte più elevate. Per quanto riguarda il contributo dei radionuclidi artificiali alla dose d'irradiazione **esterna**, si possono indicare soltanto valori approssimativi. 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 ^{137}Cs dopo l'incidente nel reattore di Cernobil. I contributi delle centrali nucleari svizzere, dell'IPS e del CERN non sono di rilievo.

Fonti radioattive artificiali (mSv/anno)

Fonte		Media	Margine di variazione
Medicina	radiodiagnostica ²⁴⁾	1	0 – 30
	medicina nucleare ²⁵⁾	0,04	0 – 80
"Fonti minori"	oggetti d'uso e beni di consumo contenenti sostanze radioattive ²⁶⁾	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	62'416 persone professionalmente esposte ²⁷⁾	0,12	<20 (97% <1)

²¹⁾ 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 i persone che volano spesso subiscono una dose addizionale di 3 mSv/anno v. [10.3].

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

²³⁾ oltre 20 mSv/anno nel 2 per cento delle case sottoposte a misura

²⁴⁾ Nuovi studi IRA/UFSP 1996-99 v. [cap. 10.1].

²⁵⁾ Dati rilevati nel 1989/90, J. Roth, Hosp. Cant. BS.

²⁶⁾ Ad esempio: orologi con cifre luminescenti a base di tritio, radionuclidi naturali nelle piastrelle, Th in reticelle e ceramica dentaria, avvisatori di fumo a ionizzazione, ^{210}Po nel fumo delle sigarette, ecc.

²⁷⁾ Nelle centrali nucleari, la ricerca, l'industria ed i servizi pubblici. Fonte: Rapporto sulla dosimetria dell'UFSP 1999

Complessivamente, la dose d'irradiazione dovuta alla **radioattività artificiale** (senza la medicina e le fonti minori) varia, per la maggioranza della popolazione svizzera, tra 0,01 e 0,05 mSv/anno e raggiunge in casi estremi punte di 0,1 mSv/anno.

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 ²⁸⁾	0,002
^3H 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 nei dintorni di una centrale nucleare	1 h/giorno presso il recinto della centrale nucleare di Leibstadt	0,1

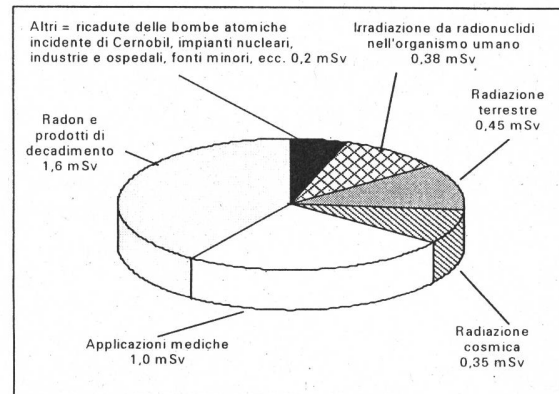


Fig. 1: Contributi medi all'esposizione a radiazioni della popolazione svizzera (dose complessiva 4 mSv/anno)

Prefissi delle unità di misura

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

4. Unità di misura e regolamentazione legale

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 μSv . Quest'ultima tiene conto del fatto che gli organi umani sono variamente sensibili all'irradiazione e che i diversi tipi di radiazioni non producono tutti i medesimi effetti biologici. Per determinare la dose efficace, si stabilisce dapprima l'energia radioattiva assorbita nei singoli organi (*dose energetica*), ponderata con un fattore riferito alla densità di ionizzazione della radiazione (*fattore di ponderazione della radiazione*). 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 bevesse sempre acqua o respirasse aria appena conformi alle norme subirebbe, per ognuno di questi mezzi, un'irradiazione di $0,2 \text{ mSv}$ 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 comporterà alcun rischio. L'evacuazione di sostanze radioattive nell'ambiente deve, in ogni caso, essere controllata. L'autorità cui compete il rilascio delle licenze fissa i limiti d'immissione. Per gli impianti nucleari, questi sono ad esempio scelti in modo tale che, anche nelle immediate vicinanze, nessuno subisca una dose addizionale superiore a $0,2 \text{ mSv}$ 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 1999: Summary

H. Völkle

Environmental Radioactivity Section (SUER)
Swiss Federal Office of Public Health, Chemin du Musée 3, CH-1700 FRIBOURG
(For further information: Tel. +41 26 300 9161; e-mail: hansruedi.voelkle@bag.admin.ch)

Introduction ¹⁾

This Part of the Report summarises the results obtained from monitoring radioactivity in the environment in 1999. Its chapter 1 contains the results of environmental measurements carried out in accordance with the monitoring programme; Chapter 2 deals with the measurements of external radiation; and Chapter 3 presents the resulting radiation doses for the population.

No form of monitoring is entirely free of gaps. Measurement programmes, sampling stations and analytical techniques must thus be planned and/or selected in such a way as to maximise redundancy. This calls for a thorough knowledge of the sources of both natural and man-made radioactivity as well as the processes of transport and accumulation in the environment. For that reason the monitoring measurements should not be limited to a simple monitoring programme, but should include interdisciplinary research projects too.

The calculation of the population's radiation doses is based on the models and dose factors set out in the Swiss Federal Radiological Protection Ordinance (StSV, Strahlenschutzverordnung,) of 1994. These doses are based on the recommendations of the International Commission for Radiological Protection (ICRP) and apply for people who may be considered as average members of the population in terms of their lifestyle, nutritional habits and metabolism. Any deviation from the average concerning the consumption of certain foodstuffs or the frequentation of places with higher levels of radiation (such as mountains) may lead to higher values.

It is possible to assess the radiation risk using the risk factors proposed by the ICRP. In doing so, consideration is given to the following impairments caused by ionising radiation: genetically determined malformations, death through cancer and reductions in life expectancy or quality of life caused by cancer. These risk factors are based, inter alia, on investigations carried out on the survivors of the atomic bombs dropped on Hiroshima and Nagasaki and cannot be considered as anything more than very rough estimates. The radiation risk should always be considered in relation to the other risks of daily life.

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. Natural and man-made radioactivity in the environment

1.1. Atmosphere ²⁾

Amongst the artificial radionuclides in the atmosphere, ⁸⁵Kr from the reprocessing of nuclear fuels, with a mean of 1.3 Bq/m³, is on the increase. For tritium (³H), values of up to approximately 10 Bq/m³ occur in atmospheric moisture in the near vicinity of tritium-processing plant. This corresponds to 1% of the immission limit value laid down in the Swiss Federal Radiological Protection Ordinance. ¹³⁷Cs,

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

²⁾ Atmosphere, see sections [4.1], [7.1] and [7.2] for Pu and Am

^{239}Pu and ^{241}Am have declined still further and are now only detectable at trace levels.

In the air - especially inside buildings - the principal component of radioactivity comes from the natural inert gas **radon** ³⁾ and its radioactive decay nuclides. When the latter are deposited in the lungs, alpha radiation may lead to lung cancer. To date, 37 000 residential buildings have been examined for radon in Switzerland, and a total of 69 000 measurements have been made, 40 000 of them in rooms regularly occupied. Measurements have now been carried out in all the Swiss cantons, with the exception of Canton Fribourg, where surveys are planned for 2001. Taking the country as a whole, more than 2000 of the total of 2900 communes (local government areas) are regarded as having been adequately measured. More extensive territories with higher concentrations of radon gas are to be found in the cantons of Jura, Graubünden, Neuchâtel and Ticino. Isolated higher values are also to be found in the Swiss Mittelland. In rooms in which people actually live, the arithmetical mean is 75 Bq/m³, once corrections have been made for the different floors in buildings and the regional population distribution. From the representative cumulative frequency distribution, it can be deduced that 1-2% of the population is exposed to concentrations in excess of 400 Bq/m³ (guideline value) and 0.3% to values greater than 1000 Bq/m³ (limit value). The value of 1000 Bq/m³ is exceeded in a few thousand dwellings. A number of houses with higher radon values have already had remedial building work performed on them. The remediation techniques are being further developed in co-operation with specialist businesses, and the Swiss Federal Office of Public Health provides advice to house owners and specialists from the building trade.

1.2. Precipitation ⁴⁾

In precipitation, it is **tritium** (^3H) that dominates and today it still has a few Bq/l. It originates mainly from industrial applications. To the south of the Alps the values are marginally lower than to the north. Natural tritium, which is created by cosmic radiation, reaches a few tenths of a Bq/l. In the areas affected by industrial operations and nuclear plant, values of up to around 10 Bq/l are recorded; in the immediate vicinity of tritium-processing works or incineration plant burning refuse containing tritium, these values may climb as high as a few thousand Bq/l. For water to which the public has access, the immission limit value 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 **man-made radio nuclides**, such as ^{137}Cs , recorded less than 0.02 Bq/l in all the monthly samples. Natural ^7Be was recorded at less than 1 Bq/l - with the sole exception of the neighbourhood of the CERN.

1.3. Aquatic systems

The **tritium content** of rivers was a few Bq/l - similar to precipitation. A minor influence from local sources of emission is detectable in the industrialised districts: in the Alpine region (i.e. the Rhône in Valais, the Aare upstream of Mühleberg and in Canton Ticino around Contone), the mean tritium level over the last seven years has been 2.2 Bq/l; in the Aare near Brugg, the figure has been approximately 5.3; and in the Rhône downstream of Geneva it has been 3.3 Bq/l. Slightly increased values of up to 8 Bq/l still occur in the River Doubs by St. Ursanne (Canton Jura). This tritium originates in the watch industry in the region around La Chaux-de-Fonds. In recent years, the Doubs has shown a decline in activity, since waste containing tritium is now collected and thus less of it is making its way into the waste incineration facility at La Chaux-de-Fonds. The annual mean has fallen from 90 Bq/l in 1990 to less than 10 Bq/l in 1999, and the annual tritium discharge from 105 to less than 10 TBq ⁵⁾.

In the rivers Aare, Rhine, Rhône and Ticino as well as in Lake Lugano, no more than **traces** of ^{137}Cs and, partly, of ^{60}Co of up to 0.02 Bq/l were found along with naturally occurring radionuclides. Upstream from the nuclear installations, the only man-made radionuclide to be detected is ^{137}Cs from fallout and Chernobyl ⁶⁾.

Investigations of **sediment** are carried out in the rivers downstream of the nuclear installations and also in Lake Lugano. They make it possible to produce balances for both the liquid discharges from the nuclear power stations (^{54}Mn , ^{60}Co , ^{58}Co , ^{65}Zn and ^{137}Cs) and the contribution from the Chernobyl reactor accident ⁷⁾.

Waste water from the municipal **sewage works** in Zurich, Basle, Berne and Lausanne occasionally contains minor quantities (up to a few Bq/l) of ^{131}I

³⁾ Radon, see section [2]

⁴⁾ Rain, see sections [4.1], [7.1] and [9.1].

⁵⁾ Rivers, see sections [4.2] and [7.1]

⁶⁾ Sections [4.2] and [4.5]

⁷⁾ Sections [4.2] and [4.5]

coming from nuclear medicine. The tritium content in the outflows from sewage works reached a maximum of 160 Bq/l (Basle), with two exceptional cases: Biel/Bienne sewage works with up to 8000 Bq/l (the cause of which is in the process of investigation) and La Chaux-de-Fonds with up to 3600 Bq/l. The tritium found in this latter case derives mainly from the flue-gas scrubber installed on the regional waste-incineration plant, which still sometimes has waste containing tritium to burn. The tritium discharge through the sewage plant fell from 42 TBq p.a. in 1990 to 9 TBq p.a. in 1999. In 1999, 112 TBq ^3H were processed by the facilities of the town's industries ⁸⁾.

1.4. Soil ⁹⁾

The soil is a good integrator for all deposits from the atmosphere. The naturally occurring radionuclides of the uranium and thorium decay series vary according to the geological substrate, whereas the overall level of ^{40}K , which also occurs naturally, is affected by the use of potassium fertilisers.

Natural radionuclides in soil (Bq/kg dry matter)

Nuclide	^{40}K	U decay series	Th decay series
Range of values	200 - 1000	25 - 60	15 - 40

The distribution of man-made radionuclides displays regional differences too. These are caused by the deposits from the atmospheric explosions of nuclear weapons as well as the Chernobyl reactor accident. The former lasted from the 1950s to the 1970s and correlate with the regional distribution of precipitation. They are thus higher for ^{137}Cs , ^{90}Sr and Pu in the central and southern Alpine ranges (and, in part, in the Jura) than in the Swiss Mittelland. The fallout caesium in the soil in the Swiss Mittelland declined with an effective half-life of around five years, due, inter alia, to the thicker humus layer and the more intensive use of the soil; whereas the half-life in the Alps is up to 20 years. The deposition of ^{137}Cs following the Chernobyl accident of May 1986, on the other hand, only lasted one-to-two weeks and, as far as the long-lived radionuclides are concerned, it was limited basically ^{137}Cs , whereas ^{90}Sr was not transported over such long distances and accounted for only around 1% of the total Cs activity deposited in western Europe. The Chernobyl component is

distributed less uniformly than that of the bomb fallout, which correlates with the different quantities of precipitation at the time of the reactor accident. The areas most affected were Canton Ticino and the southern valleys of Canton Graubünden - and to a lesser extent Canton Jura and parts of northern Switzerland. The majority of this man-made radiation is still to be found in the top 30 cm of the soil and resulted in the value ranges given in the following tables for 1999. No affect of the emissions from the nuclear installations were detected in the soil, with just one exception. It is only at the Mühleberg nuclear power station that traces of ^{60}Co (< 2 Bq/kg) are still detectable, resulting from an emission of radioactive resins in the waste air in 1986 ¹⁰⁾.

Man-made radionuclides in soil (Bq/kg dry matter)

Layer:	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239/240}\text{Pu}$	^{241}Am
0 - 5 cm	Range of values for 1999 in Bq/kg dry matter			
Swiss Unterland	2 - 58	0.9 - 4.3	0.08 - 0.9	0.04 - 0.11
Alps	33 - 62	2 - 12	0.4 - 1.4	0.2 - 1.2
Tessin	70-610	4 - 9	0.6 - 3.2	

1.5. Plants and food ¹¹⁾

In samples of grass and foodstuffs, it was the naturally-occurring ^{40}K that dominated. Artificial radionuclides, such as ^{137}Cs or ^{90}Sr , are now only present at trace levels. ^{137}Cs comes from the Chernobyl reactor accident and also from the above-ground nuclear-weapons tests. No influence is detectable from Swiss nuclear power stations or research operations. ^{137}Cs makes its way from the soil into plants via their root systems. The regional distribution of radioactivity reflects that in the soil (see above). The somewhat higher ^{90}Sr values in the Alps and in Canton Ticino are the result of the fact that these regions with higher levels of precipitation were also more affected by the fallout than was the Swiss Mittelland.

⁸⁾ Sections [4.2] and [9.1]

⁹⁾ Soil, see sections [4.3] and [7.2]

¹⁰⁾ Section [8.3]

¹¹⁾ Grass and food, see sections [4.4] and [5.1] respectively]

Grass, milk and cereals (Bq/kg or Bq/L)

Sample	Region	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Grass	Northern Alpine slopes	430 to 1160	0.3 - 9	0.8 - 6
	Ticino and southern Graubünden		up to 84	4 - 29
	Alps/ Jura		up to 30	2 - 41
Milk	Swiss Unterland	50 (1.6 g K/l)	< 1 - < 3	up to 0.1
	Alps, Southern Alpine slopes and Ticino		up to 20	0.15 - 0.45
Cereals	Northern Alpine slopes	118 (4g K/kg)	< 0.8	0.35
	Ticino			0.7

The ¹³⁷Cs content in imported venison has declined still further and in all the specimens examined it is now below the tolerance value of 600 Bq/kg. In around 90% of the specimens, the ¹³⁷Cs level is less than 100 Bq/kg.

Amongst the fungi growing on the northern slopes of the Alps, gypsy mushrooms (*Rozites caperata*) and hedgehog fungi (*Hydnum repandum*) are sometimes still showing radiation levels above the tolerance value of 600 Bq ¹³⁷Cs/kg, expressed in terms of fresh weight; the limit value was, however, never exceeded. In gypsy mushrooms there are signs of a slight decrease in activity. Bay-coloured boletes (*Xerocomus badius*) are also still contaminated with caesium. Determinations on imported fungi revealed the highest values for hedgehog fungi from eastern Europe, with a cluster of values between 200 and 500 Bq/kg fresh weight. Twelve samples were above the tolerance value of 600 Bq/kg, and five of these were even above the limit value of 1250 Bq/kg. Consignments in excess of the limit values were removed from the market. Since October 1999 Switzerland has thus been demanding a radioactivity certificate for fungi imported from eastern Europe. Chanterelles (*Cantharellus cibarius*) and cepes (*Boletus edulis*) were generally below 200 Bq/kg.

Both Swiss and imported mineral waters have been examined for natural radioactivity for years. Of the thirty different mineral waters available in the trade and in restaurants, all satisfy the statutory limits laid down in the Swiss Federal Ordinance on Food Contents and Contaminants ("FIV"). One imported water, whose radium level

was slightly above the limit, was withdrawn from circulation in 1994 ¹²⁾.

1.6. Carbon-14 in plants ¹³⁾

¹⁴C is taken up by plants through the assimilation of carbon dioxide from the atmosphere during their growth phase. On top of the naturally occurring ¹⁴C activity of 227 Bq/kg carbon in plants, that is caused by cosmic radiation, comes the contribution from the nuclear-weapons tests. Back in the 1960s, this component was roughly equal to the natural one, but has now declined to 99 ppt (parts per thousand) of it measured at a reference station near Berne. In 1999, values were found in the leaves of trees near the nuclear power station of Leibstadt that were up to 225 ppt above the reference value and near the Gösigen nuclear power station, they reached 85 ppt. In the vicinity of the decommissioned Saphir research reactor at the Paul Scherrer Institute and the interim storage facility ("ZWILAG"), that is in the process of being built, the increase was up to 40 ppt.

In the city of Basle, the new hazardous-waste incineration facility handles, inter alia, waste products from chemical research containing ¹⁴C. This leads to an increased level in samples from the leaves of nearby trees of up to 100 ppt compared with the reference value.

The content of naturally occurring ¹⁴C in food leads to a annual dose of 0.013 mSv. The increased levels measured in the vicinity of boiling-water reactors and in the city of Basle lead to an additional annual dose of a few thousandths of a millisievert.

1.7. Radioactivity in the human body ¹⁴⁾

Whole-body measurements and ⁹⁰Sr 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 Basle and Geneva showed no measurable ¹³⁷Cs activity; most of the determinations were below the detectability limit.

¹²⁾ Food, see section [5.1];
for the "FIV" ordinance, see chapter [1]

¹³⁾ ¹⁴C measurements, see section [7.1]

¹⁴⁾ Radionuclides in the human body, see sections [6.1] and [6.2]

Radionuclides in the human body

Nuclide / Organ	Unit	Females	Males
⁴⁰ K natural (whole body)	Bq	3400	4900
¹³⁷ Cs (whole body)	Bq	< 25	< 30
⁹⁰ Sr in milk teeth	Bq/g Ca	0.04	
⁹⁰ Sr in vertebrae		0.02	

2. External radiation doses

2.1. Natural radiation

Nearly all of the external radiation dose comes from cosmic and terrestrial radiation. The source of the latter is the natural radionuclides in the soil and building materials. Since ⁴⁰K and the nuclides from the uranium and thorium decay chains show very definite regional differences in their distribution in the soil, this also causes marked regional differences. The intensity of cosmic radiation (a distinction is made between a solar component and a galactic one) depends on altitude, given that radiation is attenuated by the atmosphere enveloping the Earth ¹⁵⁾.

The mean outdoor dose rate in Switzerland is around 90 nSv/h, with values ranging from 40 to 230 nSv/h. Inside dwellings, the shell of the building provides a partial shield against cosmic and terrestrial radiation. On the other hand, natural radionuclides in building materials cause additional radiation, which, in most cases, more than offsets this shielding effect. The mean value inside Swiss dwellings is around 100 nSv/h, i.e. about 10% higher than outdoors, and values range from 50 to 260 nSv/h. Results of dose-rate measurements from the whole of Switzerland are to be found in Part B of the Report ¹⁶⁾.

2.2. Artificial radioactivity

Today, the deposits from the Chernobyl reactor accident of April 1986 and the atmospheric nuclear-weapons tests only account for a few percent of the external dose rate, with the only exception being Canton Ticino, where this contribution still amounts to up to 30% ¹⁷⁾.

There are a few places right next to the perimeter fences around the nuclear power stations in Mühleberg and Leibstadt (¹⁶N 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. In the acces-

sible part of the immediate neighbourhood, this contribution is negligible, given the fact that people spend so little time in such locations ¹⁸⁾. The contamination that occurred in the past near Mühleberg nuclear power station (referred to in 1.4) today causes a maximum of 3 nSv/h at 1 m above ground level.

2.3. Aerial radiometry ¹⁹⁾

Every year, a NaI gamma spectrometer mounted onboard a Swiss army Super-Puma helicopter is used to measure selected territories (aerial radiometry). The area under investigation is flown over at an altitude of approximately 100 m in a grid pattern of parallel flight trajectories (which are 100-500 m apart, depending on the precise application). An evaluation program is then used to generate a radiation map of the area flown over. The areas surveyed in 1999 were the vicinities of the nuclear power stations in Mühleberg and Gösgen, the German side of the Leibstadt nuclear power station, the neighbourhood of the former experimental reactor in Lucens (Canton Vaud), plus a number of districts in Canton Ticino. Part of the Black Forest was also surveyed in a joint operation with a German group from the German Federal Office for Radiological Protection (*BfS, Bundesamt für Strahlenschutz*). Above the boiling-water reactors in Leibstadt and Mühleberg, it is possible to measure the ¹⁶N radiation (for which there is lateral shielding but no top shielding); at the former Lucens reactor it is still possible to detect the radioactive material that is in an interim store there. In Ticino, hot spots of Chernobyl deposits were recorded. The measurements in the Black Forest (at the former uranium mine in Krunkelbach near Menzenschwand) were used for checking the method and for making a practical comparison between the instruments and evaluation programs used in the two countries. In parallel, ground measurements were also made with the in-situ gamma spectrometer.

3. Population radiation doses

3.1. Natural radioactivity 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, radon is natural, but the increased concentrations to which people are subjected are caused

¹⁵⁾ Cosmic radiation, see section [10.3]

¹⁶⁾ Dose measurements, see sections [3.1-3.4]

¹⁷⁾ Dose measurements, see sections [3.1] and [3.2]

¹⁸⁾ Measurements in the neighbourhood of nuclear power stations, cf. [section 8.3]

¹⁹⁾ Aerial radiometry, cf. [section 3.3]

by civilisation. Surveys carried out in Switzerland up until 1999 showed that the (corrected) mean value was approximately 75 Bq/m³, although 50% of values are below 40 Bq/m³. Some 1-2% are higher than the guideline value of 400 Bq/m³, and 0.3% exceed the limit value of 1000 Bq/m³. It would appear likely that the mean value indicated here overestimates the real situation, given the deliberate selection of dwellings and regions with potentially higher radon levels. We thus continue to use the figure of 60 Bq/m³ for the population's mean radon dose, as published in earlier reports. The dose calculation is based on the assumption that people spend 7000 hours a year inside dwellings and 2000 hours a year at their place of work. The corresponding dose factors for the two locations are thus $2.44 \cdot 10^{-6}$ and $3.17 \cdot 10^{-6}$ mSv per Bq/m³ and per hour²⁰⁾. Allowance is made for the dose caused by the short-lived natural radioactive inert gas thoron (²²⁰Rn, half-life: 55 s), for which no values for residential buildings exist for Switzerland, by adding on an extra 10%. All of this results in a mean annual dose caused by radon of around 1.6 mSv. In some 10% of dwellings, the dose is five times that figure and in about 5% of them, ten times. By way of comparison, spending a whole day in a cave with 5000 Bq/m³ leads to a dose of about 0.4 mSv.

Naturally occurring radionuclides also make their way into the body in food and lead to mean annual doses of around 0.38 mSv, whereby ⁴⁰K makes the biggest contribution. The rest comes from the nuclides of the natural decay series of uranium and thorium as well as from the cosmogenic radionuclides, tritium, ¹⁴C, ⁷Be, etc. The daily consumption of a litre of mineral water with 1 Bq/²²⁶Ra results in an additional dose of approximately 0.1 mSv/year.

Naturally occurring radionuclides in the soil also contribute to the external radiation dose. The 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 p.a. 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 p.a. Measurements made in Switzerland to date show that the external dose inside dwellings is around 10% higher than outdoors.

Natural radiation sources (mSv/year)

Source	Mean	Value range
External radiation	0.9 ²¹⁾	0.5 – 2.0
Food	0.4 ²²⁾	0.2 – 0.5
Radon in the home	1.6	0.3 – > 20 ²³⁾
Total	3	1 - > 20

For the **Swiss population**, the overall annual dose from **natural sources** thus stands at around 3 mSv. Its breakdown is given in the table above.

3.2. Radiation doses resulting from civilisation

The contribution to the external dose comes mainly from **medical applications** and the so-called "**minor sources**". A further contribution comes from exposure to radiation at the workplace in nuclear power stations, manufacturing industry, commerce, public services, research and medicine.

The **internal irradiation** is caused by man-made radionuclides (primarily ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr) that are taken up in food. Whole-body measurements made on school classes from Geneva and Basle showed doses caused by incorporated ¹³⁷Cs of significantly less than one thousandth of a millisievert per year. In the Alps and Canton Ticino and also for small groups of the population whose lifestyles and nutritional habits differ radically from the average, doses are likely to be up to ten times higher. It is not possible to give more than an approximate figure for the contribution to the **external radiation dose** that is due to man-made radionuclides. Working on the basis of conservative assumptions, a person spending the whole of their time outdoors would receive between 0.01 and 0.5 mSv per year. The big scatter band is the consequence of the regional differences in ¹³⁷Cs deposits following the Chernobyl reactor accident. The Swiss nuclear power stations, the PSI and CERN do not make any significant contribution.

²¹⁾ Including 0.35 mSv/year caused by cosmic radiation at 300 m. A single flight between Switzerland and North America results in an additional 0.04 mSv; airline crews and frequent fliers receive an average additional 3 mSv/year see [10.3]

²²⁾ Including the following in thousandths of mSv 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

²³⁾ In excess of 20 mSv/year in 2% of the dwellings investigated

²⁰⁾ Cf. Annual Report for 1993 page B.2.3

Man-made radiation sources (mSv/year)

Source		Mean	Value range
Medicine	X-ray diagnosis ²⁴⁾	1	0 – 30
	Nuclear medicine ²⁵⁾	0.04	0 – 80
"Minor sources"	Radioactive substances in utilitarian objects and consumer goods ²⁶⁾	0.1	0 - ?
Man-made radioactivity distributed on a large scale	Chernobyl	0.01	Up to 0.5
	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	62 416 individuals exposed to radiation on account of their occupation ²⁷⁾	0.12	< 20 (97% < 1)

Taken as a whole, the annual radiation dose for the majority of people living in Switzerland caused by **man-made 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.

Selected examples (mSv/year):		
¹³⁷ Cs in milk	1 l/day with 10 Bq/l (= dry weight)	0.05
¹³⁷ Cs in wild fungi	200 g/week with 600 Bq/kg (= dry weight)	0.09
²²⁶ Ra in mineral water	1l/day with 1 Bq/l (= total weight)	0.08
¹⁴ C in vegetables	200 g/day from the neighbourhood of the Basle waste-incineration facility ²⁸⁾	0.002
³ H in rain water used as drinking water	2.2 l/day from the neighbourhood of a tritium-processing plant	0.01
Direct radiation (vicinity of a nuclear power station)	1 hour/day at the perimeter fence of the Leibstadt nuclear power station	0.1

²⁴⁾ Recent survey 1996-99 from IRA/FOPH, see [10.1]

²⁵⁾ 1989/90 survey, J. Roth, Cant. Hosp. BS

²⁶⁾ For example: clocks and watches with tritium-based fluorescent digits, natural radionuclides in tiles, Th in fluorescent tights or dental ceramics, ionising smoke detectors, ²¹⁰Po in cigarette smoke, etc.

²⁷⁾ In nuclear power stations, medicine, research, industry and public services. Source: 1999 Dosimetry Report of the Swiss Federal Office of Public Health

²⁸⁾ Hazardous-waste incineration facility "Basel-Stadt"

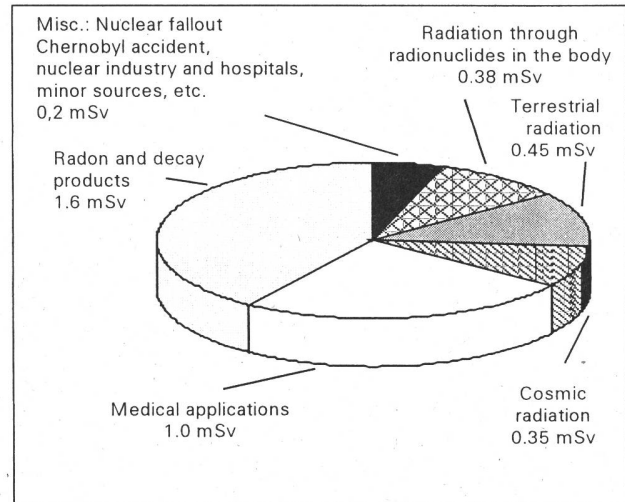


Fig. 1: Mean contributions to the radiation exposure of people living in Switzerland (Total dose: 4 mSv/year)

Prefixes and their meaning

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

4. Units and Regulations

Radioactivity is a property of instable atomic nuclei to change (undergoing radioactive decay) without external influences, and, in the process, to release 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 on the preceding page. In the past, a unit called the "Curie" (Ci) used to be used; 1 nCi = 37 Bq and 1 Bq = 27 pCi.

In order to be able to assess the population's **radiation risk**, the **effective dose** 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 (*organ 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 year - 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 year. It also establishes immission limits for 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 year each. For direct radiation, a limit of 5 mSv per year applies to ambient doses in places accessible to the public, and 1 mSv per year 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 year. For radon gas, the maximum value applicable to residential accommodation and other buildings in which people congregate is 1000 Bq/m³. 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/m³ should not be exceeded.