

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: - (1998)

Rubrik: Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 1998 : Überblick = Synthèse de la radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse pour 1998 = Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera nel 1998 : riassunto = Environmental radioactivity and radiation doses in Switzerland in 1998 : 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: 01.04.2026

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

A

Überblick

Sommaire

Riassunto

Summary

A

Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 1998 Überblick	A.1
Synthèse de la radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse pour 1998	A.11
Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera nel 1998 Riassunto	A.21
Environmental Radioactivity and Radiation Doses in Switzerland in 1998 Summary	A.32

A

Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 1998: Überblick

H. Völkle

Sektion Überwachung der Radioaktivität (SUER)
Bundesamt für Gesundheit, Chemin du Musée 3, 1700 FRIBOURG

Einleitung

Dieses Kapitel enthält die Zusammenfassung der Ergebnisse der Radioaktivitätsüberwachung in der Umwelt und die sich daraus ergebenden Strahlendosen der Bevölkerung. Der erste Teil fasst die Ergebnisse der Umweltmessungen. Der erste Teil fasst die Ergebnisse der Umweltmessungen gemäss Überwachungsprogramm (Kap. 1) zusammen, der zweite Teil die Messungen der externen Strahlung (Ortsdosisleistung) und der dritte die daraus resultierenden Strahlendosen der Bevölkerung.

Da eine örtlich und zeitlich lückenlose Überwachung der Radioaktivität und der Strahlendosen nicht möglich ist, müssen Messprogramme, Probenahmestellen und Analyseverfahren so gewählt werden, dass die Überwachung hinreichend redundant ist um die Hauptbelastungspfade mit genügender Sicherheit zu erfassen. Dies erfordert umfassende Kenntnisse der Quellen der natürlichen und künstlichen Radioaktivität sowie der Transport- und Anreicherungs Vorgänge in der Umwelt. Dazu sind auch Untersuchungen nötig, die über die eigentliche Routineüberwachung hinausgehen und auch interdisziplinäre Forschungsprojekte umfassen.

Die Strahlendosen der Bevölkerung werden berechnet unter Benutzung von Modellen und Dosisfaktoren der Schweizer Strahlenschutzverordnung (StSV) von 1994, die auf den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) basieren. Sie gelten für Personen, die bezüglich Lebens- und Ernährungsgewohnheiten sowie Metabolismus dem Bevölkerungsdurchschnitt entsprechen. Vom Durchschnitt abweichendes Konsumverhalten bei gewissen Lebensmitteln oder der häufige Aufenthalt an Orten mit erhöhter Bestrahlung (z.B. in Höhlen oder im Gebirge) müssen zusätzlich berücksichtigt werden.

Für die Bewertung der Strahlendosen schlägt die ICRP Strahlenrisikofaktoren vor. Diese berücksichtigen das Risiko von genetischen Missbildungen sowie Tod oder Verminderung von Lebenserwartung oder Lebensqualität infolge Krebserkrankungen, ausgelöst durch ionisierende Strahlung. Diese Risikofaktoren basieren im wesentlichen auf den Untersuchungen an den Überlebenden der Atombombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki und sind als grobe Schätzwerte zu betrachten. Bei der Bewertung des Strahlenrisikos sind immer auch die übrigen Risiken des täglichen Lebens zu berücksichtigen. 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 unbedeutend. Anders ist es beim Radon, einer natürlichen Strahlenquelle, dessen erhöhte Werte in Wohnräumen (Kap. 2) wahrscheinlich für einige Prozent der in der Schweiz auftretenden Lungenkrebstodesfälle verantwortlich ist.

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

1. Natürliche und künstliche Radioaktivität in der Umwelt

1.1. Luft

In der Luft sind ausser ^{85}Kr und ^3H (Tritium) künstliche Radionuklide wie ^{137}Cs , ^{239}Pu und ^{241}Am nur noch als Spuren nachweisbar [Kap. 4.1 und 7.2 für Pu und Am]. Dies gilt auch für die Umgebung von Kernanlagen [Kap. 8]. Das langlebige Edelgas ^{85}Kr mit heute etwa 1.3 Bq/m^3 und steigender Tendenz kommt von der Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoff [Kap. 7.1]. Beim ^3H treten in der Nahumgebung von Tritium-verarbeitenden Betrieben in der Luftfeuchte Werte von rund 10 Bq/m^3 auf, entsprechend etwa einem Prozent des Immissionsgrenzwertes gemäss Strahlenschutzverordnung [Kap. 4.1].

Eine ^{137}Cs -Freisetzung in einem spanischen Stahlwerk Ende Mai 1998 konnte mit den High-Volume-Samplern des schweizerischen Überwachungsnetzes erfasst werden. Ursache war eine irrtümlich mit Metallschrot eingeschmolzene ^{137}Cs Quelle. Die Messwerte auf den Luftfiltern in der Schweiz stiegen kurzfristig auf bis 0.15 mBq/m^3 an (Monte Ceneri/TI), was jedoch radiologisch völlig belanglos war [Kap.4.6]. Im Vergleich dazu stieg die ^{137}Cs -Konzentration im Tessin nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl kurzfristig bis auf 1 Bq/m^3 an. Zudem wurde auf Luftfiltern im unteren Aaretal im Februar 1998 ^{65}Zn mit 0.05 mBq/m^3 festgestellt, das auf Emissionen der Verbrennungsanlage für radioaktive Abfälle des PSI zurückzuführen ist.

In der Aussenluft - und erst recht in der Innenluft - macht das natürliche Edelgas **Radon** und seine radioaktiven Tochternuklide den Hauptanteil der Aktivität aus. Die Ablagerung der letzteren in der Lunge kann zu Lungenkrebs führen. Bisher wurden in der Schweiz 31'000 Häuser auf Radon untersucht mit insgesamt 58'000 Messungen, davon 16'000 im Jahr 1998. Bis auf Freiburg haben alle Kantone das geplante Radonkataster in Angriff genommen. Knapp die Hälfte aller Gemeinden ist genügend erfasst. Grössere Gebiete mit erhöhter Radongas-Konzentration befinden sich in den Kantonen Jura, Graubünden, Neuenburg und Tessin, vereinzelt erhöhte Werte auch im Mittelland [Kap. 2]. Für die repräsentativen Daten im Wohnbereich ergibt sich ein Medianwert von rund 40 Bq/m^3 mit einem arithmetischen Mittel von 75 Bq/m^3 . Konzentrationen über dem Richtwert von 400 Bq/m^3 kommen in 1 bis 2 Prozent der Wohnräume vor, solche über dem Grenzwert von 1000 Bq/m^3 in 3 Promille. Dieser wird in einigen Tausend Häusern überschritten. Es konnte bereits eine Reihe von Häusern mit erhöhten Radonwerten erfolgreich saniert werden. Weitere Sanierungen sind im Gang.

Radon in Wohnhäusern:

Richtwertüberschreitungen pro 1000 Einwohner	Kantone
>1	GR, JU, TI
0.1 bis 1	BE, GL, NE, OW, SO, VD, VS
< 0.1	AG, AI, BL, BS, GE, LU, NW, SG, SH, SZ, TG, ZG, ZH
zu wenig Messwerte	AR, FR

1.2. Niederschläge

In den Niederschlägen dominiert ^3H (**Tritium**) mit heute nur noch wenigen Bq/l, das hauptsächlich aus industriellen Anwendungen stammt. Südlich der Alpen sind die Werte gering-

fällig tiefer als auf der Alpennordseite. Das natürliche, von der kosmischen Strahlung erzeugte Tritium macht wenige Zehntel Bq/l aus. Im Einflussbereich von Industriebetrieben und Kernanlagen werden Werte bis etwa 10 Bq/l festgestellt, in unmittelbarer Nähe von Tritium-verarbeitenden 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 Trinkwässer gemäss Fremd- und Inhaltsstoffverordnung (FIV) liegt bei 1000 Bq/l. Weitere künstliche Radionuklide, wie etwa ^{137}Cs ergaben in allen Monatsproben weniger als 0.015 Bq/l. Das natürliche ^7Be wies - ausser in der Umgebung des PSI - weniger als 1 Bq/l auf [Kap. 4.1, 7.1 und 9.1.].

1.3. Gewässer

Der **Tritiumgehalt** in den Flüssen lag wie bei den Niederschlägen, bei einigen Bq/l. Ein geringfügiger Einfluss lokaler Emitenten ist 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 sechs Jahre bei 2.3 Bq/l. In der Aare bei Brugg bei etwa 5.3 und in der Rhone unterhalb Genf bei 3.5 Bq/l. Erhöhte Werte bis 38 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 ein Rückgang der Aktivität, da weniger Tritiumhaltige Abfälle in die Kehrrechtverbrennungsanlage von La Chaux-de-Fonds gelangen. Das Jahresmittel sank von 90 Bq/l in 1990 auf 20 Bq/l in 1998 und jährliche Tritium-Jahresabfluss von 105 auf 20 TBq [Kap. 4.2].

In den **Flüssen** Aare, Rhein, Rhone und Ticino, sowie im Luganersee wurden 1998 neben natürlichen Radionukliden nur Spuren von ^{60}Co und ^{137}Cs bis 0.02 Bq/l gefunden. Oberhalb der Kernanlagen ist als künstliches Radionuklid nur ^{137}Cs vom Fallout und von Tschernobyl festgestellt worden. Für den Transport von Radionukliden in Fliessgewässern bzw. für den Eintrag in das Sediment bzw. die Rücklösung aus demselben wurden mathematische Modelle entwickelt und erprobt [Kap. 4.2 und 4.5].

Untersuchungen von **Sediment** werden in den Flüssen unterhalb der Kernanlagen und im Luganersee durchgeführt. Sie erlauben einerseits die flüssigen Abgaben der Kernkraftwerke (^{54}Mn , ^{60}Co , ^{58}Co , ^{65}Zn und ^{137}Cs) und andererseits, den Eintrag durch den Reaktorunfall Tschernobyl bilanzieren. [Kap. 4.2 und 4.5].

Abwässer der **Kläranlagen** der Städte Zürich, Basel, Bern und Lausanne wiesen vereinzelt geringe Mengen (bis wenige Bq/l) an ^{131}I aus der Nuklearmedizin auf. Beim Kantonsspital Basel kam es 1998 fünfmal zu Überschreitungen der Abgabelimiten für ^{131}I über das Abwasser. Das BAG hat entsprechende Untersuchungen und Massnahmen eingeleitet. Diese Abgaben korrelieren zeitlich mit den erhöhten Werten im Abwasser der ARA Basel. Am Ausfluss der ARA Pro Rheno wurden in den Kalenderwochen 12, 18, 28 und 48/49 Abflussmengen von 1.8, 1.9, 3.6 und 2.6 GBq pro Wochen registriert. Der Tritiumgehalt am Ausfluss von Kläranlagen betrug maximal 30 Bq/l, ausser bei jener von La Chaux-de-Fonds, wo Werte bis 2400 Bq/l auftraten. Dieses Tritium stammt hauptsächlich aus der Rauchgas-Waschanlage der regionalen Kehrrechtverbrennungs-Anlage. Der Tritium-Abfluss über die Kläranlage nahm von 1990 auf 1998 von 42 auf 8 TBq/Jahr ab. 1998 wurden in den Betrieben der Stadt 200 TBq ^3H verarbeitet [Kap. 4.2 und 9.1].

1.4. Erdboden

Der Erdboden ist ein guter Integrator für sämtliche Ablagerungen aus der Luft. Bodenproben zeigen nach wie vor deutliche regionale Unterschiede bei den natürlichen Radionukliden aus

den Uran- und Thoriumreihen aufgrund geologischer Unterschiede und beim ebenfalls natürlichen ^{40}K infolge Verwendung von Kalidünger.

natürliche Radionuklide im Erdboden	^{40}K	U-Reihe	Th-Reihe
Wertebereich in Bq/kg Trockengewicht	200 - 1000	25 - 60	15 - 40

Auch die Verteilung der künstlichen Radionuklide zeigt regionale Unterschiede, verursacht durch Ablagerungen aus den oberirdischen Kernwaffen-Explosionen der 60er-Jahre sowie vom Reaktorunfall Tschernobyl. Die ersteren erstrecken sich von den 50er- bis in die 70er-Jahre und korrelieren mit der regionalen Verteilung der 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. 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 in Westeuropa nur etwa 1 Prozent der abgelagerte Cs-Aktivität ausmachte. Das Fallout-Cs im Erdboden nahm im Mittelland mit einer effektiven Halbwertszeit von etwa 5 Jahren, in den Alpen mit bis 20 Jahren ab. Der Tschernobyl-Anteil ist wesentlich heterogener verteilt als jener des Bomben-Fallout, was u.a. mit den unterschiedlichen Niederschlagsmengen während dieses Zeitraums zusammenhängt. 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 1998 die folgenden Wertebereiche [Kap. 4.3, 4.4 und 7.2]:

künstliche Radionuklide im Erdboden Wertebereich (Bq/kgTM) (0 - 5 cm)	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239/240}\text{Pu}$	^{241}Am
Unterland	10 - 54	0.9 - 4.3	0.08 - 0.9	0.04 - 0.11
Alpen	50 - 166	12 - 23	1.2 - 2.8	0.2 - 1.0
Tessin und Südbünden	50 - 390	7 - 11	0.3 - 2.1	

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 ($< 2 \text{ Bq/kg}$) nachweisbar, die von einer Emission radioaktiver Harze über die Abluft im Jahr 1986 stammen [Kap. 8.3].

1.5. Pflanzen und Lebensmittel

In Gras- und Lebensmittelproben dominierte das natürliche ^{40}K gegenüber den künstlichen Radionukliden. Ausser beim ^{14}C stammen diese Spuren nicht von Schweizer Kernanlagen oder Forschungsbetrieben. Es handelt sich im wesentlichen um ^{137}Cs vom Reaktorunfall Tschernobyl und von den oberirdischen Kernwaffen-Versuchen, das aus dem Boden über die Wurzeln in die Pflanzen gelangt. Die regionale Verteilung der Aktivitäten entspricht jener im Erdboden (s.o.). Die etwas höheren ^{90}Sr -Werte in den Alpen und im Tessin bestätigt die Annahme, dass diese Regionen mit höheren Niederschlagsmengen auch in den 60er-Jahren vom Fallout stärker betroffen waren als das Mittelland [Kap. 4.4 und 5.1].

Probe	Einheit	Region	^{40}K	^{137}Cs	^{90}Sr
Gras	Bq/kg	Alpennordseite	200 - 1600	0.3 - 9	0.7 - 5
		Tessin+Südbünden		bis 62	7 - 28
		Alpen			9 - 45
Milch	Bq/l	Unterland	50	< 1	0.03 - 0.07
		Alpen+Südalpen+TI	($\approx 1.6 \text{ g K/l}$)	bis 3.2	0.2 - 0.3
Getreide	Bq/kg	Alpennordseite	115	< 0.8	0.33
		Tessin			0.6 - 1.0

Beim importierten Wildfleisch hat der ^{137}Cs -Gehalt weiter leicht abgenommen und lag in allen untersuchten Proben unter dem Toleranzwert von 600 Bq/kg. In rund 90 Prozent der Proben lag der ^{137}Cs -Gehalt unter 100 Bq/kg. Bei den Pilzen von der Alpennordseite ergab eine Probe mehr als der Toleranzwert von 600 Bq $^{137}\text{Cs/kg}$, bezogen auf Frischgewicht. Zwei Drittel aller untersuchten Pilze ergaben weniger als 100 Bq/kg Frischgewicht. Bei den Maronenröhrlingen und Zigeunerpilzen, den am meisten mit Cs belasteten Sorten, ist eine leichte Abnahme der Aktivität zu erkennen. Importierte Pilzproben lagen mit einer Ausnahme unter dem Toleranzwert und zu 80 Prozent unter 100 Bq/kg Frischgewicht [Kap. 5.1].

Fische und vor allem Meeresfrüchte weisen einen erhöhten Gehalt an natürlichem ^{210}Po auf. Dies wurde anhand von Importproben sowie auch durch Messungen im Ausland festgestellt. Der Konsum von Meeresfrüchten führt allerdings nicht zu erheblichen Strahlendosen [Kap. 5.2].

1.6. Kohlenstoff-14 in Pflanzen

^{14}C wird durch Assimilation von CO_2 von den Pflanzen aus der Luft während der Wachstumsphase aufgenommen. Zur natürlicherweise vorhandenen ^{14}C -Aktivität von rund 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 106 Promille davon. 1998 wurden in der Nähe des Kernkraftwerkes Leibstadt in Baumblättern Werte gefunden, die bis 191 Promille über dem Referenzwert lagen, beim KKW Gösgen bis 92 Promille. In der Nähe des stillgelegten Forschungsreaktor Saphir des Paul-Scherrer-Institutes und des im Bau befindlichen Zwischenlagers (ZWILAG) beträgt die Erhöhung noch etwa 47 Promille [Kap. 7.1].

In der Stadt Basel werden in der neuen Sondermüll-Verbrennungsanlage unter anderem ^{14}C -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 171 Promille.

Der Gehalt an natürlichem ^{14}C in Nahrungsmitteln führt zu 0.013 mSv pro Jahr. Die in der Umgebung von Siedewasserreaktoren und in Basel gemessenen Erhöhungen führten zu zusätzlichen Dosen von der Grössenordnung Tausendstel mSv pro Jahr.

1.7. Radioaktivität im menschlicher Körper

Mit Ganzkörpermessungen und ^{90}Sr -Bestimmungen an Milchzähnen und Wirbelknochen wird die Aufnahme von Radionukliden über die Nahrung erfasst. Ganzkörpermessungen an Gymnasiasten aus Basel und Genf ergaben mit wenigen Ausnahmen keine messbare ^{137}Cs -Aktivität. Auch die Ganzkörpermessungen an SBB-Mitarbeitern, die an Transporten von abgebrannten Brennelementen aus Schweizer Kernkraftwerken beteiligt waren, ergaben keinen Hinweis auf Inkorporation [Kap. 6.1 und 6.2].

Radionuklide im Körper	Einheit	Frauen	Männer
^{40}K natürlich (Ganzkörper)	Bq	3300	4700
^{137}Cs (Ganzkörper)	Bq	< 25	< 25
^{90}Sr in Milchzähnen	Bq/g Ca	0.04	
^{90}Sr in Wirbelknochen		0.03	

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 ^{40}K und den Nukliden der Uran- und Thoriumreihen im Boden treten starke regionale Unterschiede auf. Die Intensität der kosmischen Strahlung hängt von der Höhe ab, da diese von der Atmosphäre abgeschwächt wird:

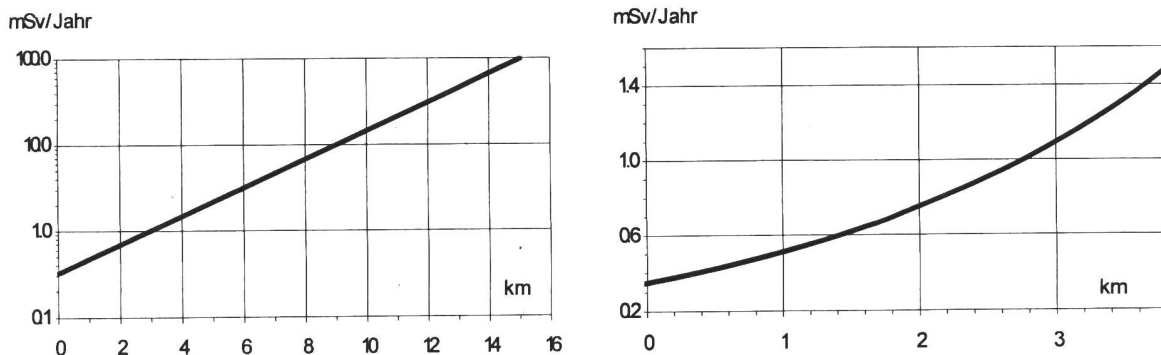


Abb. 1: Abhängigkeit der kosmischen Strahlung in mSv/Jahr in Funktion der Höhe über Meer in km.

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 [Kap. 3.4]. Eine Zusammenstellung der Dosisleistungsmessungen im ganzen Land findet sich im Teil B [3.1 bis 3.3].

2.2. Künstliche Radioaktivität

Die Ablagerungen des Reaktorunfalles Tschernobyl vom April 1986 und der oberirdischen Kernwaffenversuchen der 60er-Jahren tragen - mit Ausnahme des Tessins mit bis 30 Prozent - heute nur noch wenige Prozent zur externen Dosisleistung bei [Kap. 3.1 und 3.2].

An einigen Stellen an der Umzäunung der Kernkraftwerke Mühleberg und Leibstadt, des PSI und des CERN treten zeitweise infolge Direktstrahlung bis einige 100 nSv/h auf. In der zugänglichen näheren Umgebung ist dieser Beitrag in jedoch Anbetracht der kurzen Aufenthaltszeit von Personen an diesen Stellen unbedeutend [Kap. 8.3]. 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

Mit einem NaI-Gamma-Spektrometer an Bord eines Super-Puma-Helikopters der Armee (Aeroradiometrie) werden jedes Jahr die Umgebung der Kernanlagen (1998: Beznau und Leibstadt) sowie weitere Regionen der Schweiz (1998: Centovalli/TI, Piz Givv und Wallis) vermessen. Beim KKW Leibstadt konnte die ^{16}N -Strahlung - diese ist nur nach der Seite, nicht aber nach oben abgeschirmt - beim PSI das Zwischenlager für radioaktive Abfälle, im Centovalli die ^{137}Cs -Ablagerungen von Tschernobyl und in den andern Regionen (Kristallin im Wallis sowie Piz Givv) die erhöhte natürliche Radioaktivität festgestellt werden [Kap. 3.3].

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 ausgesetzt ist, sind jedoch zivilisationsbedingt. In der Schweiz bis 1998 durchgeführte Erhebungen ergeben im Mittel etwa 75 Bq/m^3 . 50 Prozent der Werte liegen unter 40 Bq/m^3 , 1 bis 2 Prozent über dem Richtwert von 400 Bq/m^3 und 0.3 Prozent über dem Grenzwert von 1000 Bq/m^3 (2). Dieser Mittelwert dürfte wegen der gezielten Auswahl von Häusern und Regionen mit potentiell erhöhtem Radongehalt die tatsächlichen Verhältnisse überschätzen. Wir gehen daher für die durchschnittliche Radon-Dosis der Bevölkerung vom in früheren Berichten genannten Mittel von 60 Bq/m^3 aus. 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. $3.17 \cdot 10^{-6} \text{ mSv pro Bq/m}^3$ und Stunde [cf. Jahresbericht 1993 Seite B.2.3]. Die Dosis durch das andere natürliche radioaktive Edelgas Thoron (^{220}Rn) - 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 von etwa 1,6 mSv. In etwa 10 Prozent der Wohnräume liegt die Dosis beim Fünffachen davon, in etwa 5 Prozent beim Zehnfachen. Vergleichsweise führt ein Aufenthalt von einem Tag in einer Höhle mit 5000 Bq/m^3 zu etwa 0.4 mSv.

Natürliche Radionuklide gelangen auch über die Nahrung in den Körper und führen durchschnittlich zu etwa 0.38 mSv, wobei ^{40}K den grössten Beitrag liefert. Der Rest kommt von den Nukliden der natürlichen Zerfallsreihen Uran und Thorium sowie von den kosmogenen Radionukliden Tritium, ^{14}C , ^7Be etc. Der tägliche Konsum von einem Liter Mineralwasser mit

1 Bq/l ^{226}Ra , dem Grenzwert nach FIV für ^{226}Ra , ergibt eine zusätzliche Dosis von etwa 0.1 mSv/a.

Natürliche Radionuklide im Boden tragen ebenfalls zur externen Strahlendosis bei. Ihr Beitrag hängt stark vom lokalen Radionuklidgehalt des Bodens, von der Höhe über Meer und den Lebensgewohnheiten ab. Mit Dosismessgeräten kann nur die Summe der natürlichen und künstlichen Komponenten bestimmt werden. Die natürliche terrestrische Strahlendosis im Freien, liegt in den bewohnten Regionen der Schweiz zwischen 0.35 und etwa 0.8 mSv/Jahr. Bisherige Messungen ergeben, dass in der Schweiz die Dosis im Hausinnern etwa 10 Prozent höher ist als im Freien.

Für die **Schweizer Bevölkerung** beträgt die Jahresdosis aus **natürlichen Quellen** gesamthaft etwa 3 mSv und setzt sich folgendermassen zusammen:

Jahresdosis in mSv aus natürlichen Strahlenquellen	Mittel	Wertebereich
externe Bestrahlung (terrestrisch & kosmisch)	0.9 ¹⁾	0.5 – 2.0
Mit der Nahrung aufgenommene Radionuklide	0.4 ²⁾	0.2 – 0.5
Radon und Folgeprodukteim Wohnbereich	1.6	0.3 – über 20 ³⁾
Summe	3	1 bis über 20

1) davon durch kosmische Strahlung auf 300 m 0.35 mSv/Jahr. Ein Flug Schweiz-Nordamerika ergibt zusätzlich 0.04 – 0.09 mSv; Flugpersonal und Vielflieger erhalten zusätzlich 2 bis 5 mSv/Jahr.

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

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

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, öffentliche Dienste, Forschung und Medizin.

Die **interne Bestrahlung** wird durch künstliche Radionuklide - hauptsächlich ^{137}Cs und ^{90}Sr - in der Nahrung verursacht. Ganzkörpermessungen an Schulklassen aus Genf und Basel ergaben Dosen durch inkorporiertes ^{137}Cs 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 ^{137}Cs -Ablagerung nach dem Reaktorunfall Tschernobyl. Die Schweizer Kernkraftwerke, das PSI und das CERN tragen dazu nicht wesentlich bei.

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

Jahresdosis in mSv aus künstlichen Strahlenquellen		Mittel	Wertebereich
Medizin	Röntgendiagnostik ¹⁾	1	0 – 30
	Nuklearmedizin ²⁾	0.04	0 – 80
"Kleinquellen"	Gebrauchsgegenstände und Konsumgüter mit radioaktiven Stoffen ³⁾	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	60'683 beruflich strahlenexponierte Personen ⁴⁾	0.11	< 20 ⁵⁾ (< 1 für 97%)

Beispiele

¹³⁷ Cs in der Milch	1 l/Tag mit 20 Bq/l	0.1
¹³⁷ Cs in Wildpilzen	200 g/Woche mit 600 Bq/kg	0.09
¹⁴ C in Gemüse	200 g/Tag aus der Nähe der SVA Basel ⁶⁾	0.002
³ H im Regenwasser (als Trinkwasser verwendet)	2.2 l/Tag aus Umgebung eines tritiumverarbeitenden Betriebes	0.01
Direktstrahlung in der Umgebung eines KKW	1 Std/Tag am Zaun des KKL	0.1

1) Erhebung von 1978; eine neue Untersuchung ist im Gang.

2) Erhebung von 1989/90.

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

4) in KKW, Medizin, Forschung, Industrie und öffentlichen Diensten.

5) Ausnahme: ein Wert zwischen 20 und 50

6) Sondermüll-Verbrennungsanlage Basel-Stadt.

Auskünfte: Tel. 026 / 300 9161

FAX: 026 / 300 9743

e-mail: hansruedi.voelkle@bag.admin.ch

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. Für die Präfixe und ihre Bedeutung siehe Tabelle am Fuss der Seite¹⁾. Früher wurde die Einheit Curie (Ci) verwendet, mit 1 nCi = 37 Bq bzw. oder 1 Bq = 27 pCi.

Um das **Strahlenrisiko** der Bevölkerung zu bewerten, wird die **effektive Dosis** in mSv oder μ Sv 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/m³. Bei Überschreiten dieser Grenzwerte sind die Gebäude zu sanieren. Bei Neu- oder Umbauten soll ein Richtwert von 400 Bq/m³ nicht überschritten werden.

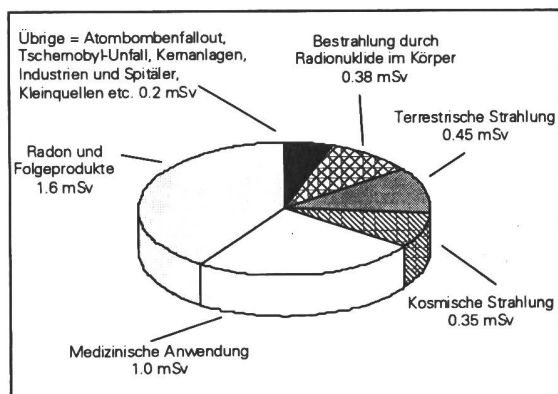


Abb. 2: Durchschnittliche Beiträge zur Strahlenexposition (Gesamtdosis: 4 mSv/Jahr)

1) Präfixe

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

A

Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse pour 1998: vue d'ensemble

H. Völkle

Section de surveillance de la radioactivité (SUER)
Office fédéral de la santé publique, Ch. du Musée 3, 1700 FRIBOURG

Introduction

Ce chapitre présente une synthèse des résultats des mesures de la radioactivité de l'environnement en Suisse et des doses qui en résultent pour la population. La première partie porte sur les résultats des mesures environnementales selon le programme décrit au chapitre 1, la deuxième sur les mesures de l'exposition externe (débit de dose ambiante), la troisième et dernière précisant les doses de rayonnement qui en résultent pour la population.

Une surveillance exhaustive dans l'espace et le temps de la radioactivité et des doses de rayonnement qui y sont liées n'est pas possible. Par conséquent, des prélèvements ciblés et des analyses spécifiques sont privilégiés afin de garantir un contrôle qui permette de recenser avec suffisamment de précision les voies principales d'exposition. Cette démarche requiert la connaissance des sources naturelles et artificielles de radioactivité et des phénomènes régissant leur transfert et leur enrichissement dans l'environnement. Cette connaissance passe par des études complémentaires interdisciplinaires dépassant souvent le simple cadre des contrôles de routine.

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 à ceux de la population en moyenne. Néanmoins, des scénarios particuliers du point de vue de la consommation de certains aliments ou des séjours fréquents en des endroits critiques doivent aussi être pris en considération.

Pour apprécier les doses d'irradiation, la CIPR propose des facteurs de risque. Ces facteurs tiennent compte du risque de malformations génétiques, du décès ou de la réduction de l'espérance ou de la qualité de vie, suite aux cancers induits par les rayonnements ionisants. Ces facteurs de risque, qui résultent essentiellement 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.

Les renvois aux chapitres correspondants de la partie B ou aux rapports antérieurs sont indiqués entre crochets, ceux concernant la partie A, entre parenthèses.

1. Radioactivité naturelle et artificielle dans l'environnement

1.1. Air

A l'exception du ^{85}Kr et du ^3H (tritium), les radionucléides artificiels (^{137}Cs , ^{239}Pu et ^{241}Am) ne sont présents dans l'air qu'en faibles traces [chap. 4.1 et 7.2 pour Pu et Am]; c'est le cas également à proximité immédiate des installations nucléaires [chap. 8]. Le ^{85}Kr de vie longue, issu du retraitement du combustible nucléaire, est présent à l'échelle mondiale en concentration approximative de 1.3 Bq/m^3 avec une tendance à l'augmentation [chap. 7.1]. Le ^3H présente des valeurs voisines de 10 Bq/m^3 dans l'humidité de l'air à proximité des entreprises utilisant du tritium, ce qui correspond à environ 1 pour-cent de la limite d'immission admise selon l'Ordonnance sur la radioprotection (OraP) [chap. 4.1].

Les collecteurs d'aérosols à grand débit du réseau suisse de surveillance ont permis de détecter un rejet de ^{137}Cs dans une aciérie espagnole à la fin mai 1986. La cause en était une source ^{137}Cs fondue par inadvertance avec de la ferraille. Les valeurs mesurées sur les filtres à air en Suisse ont augmenté à court terme à près 0.15 mBq/m^3 (Monte Ceneri/TI), un niveau toutefois sans aucune importance sur le plan radiologique [chap. 4.6]. A titre de comparaison, suite à l'accident de Tchernobyl, la concentration de ^{137}Cs au Tessin a grimpé à court terme à 1 Bq/m^3 . En outre, les filtres à air dans la basse vallée de l'Aare en février 1998 ont indiqué des valeurs de ^{65}Zn de 0.05 mBq/m^3 , à mettre sur le compte des émissions de la centrale d'incinération pour les déchets radioactifs de l'Institut Paul Scherrer (PSI).

La contribution majeure à la radioactivité dans l'air, à l'extérieur et surtout à l'intérieur des bâtiments, provient du gaz **radon** d'origine naturelle et de ses produits radioactifs. Ces derniers se déposent dans le poumon et peuvent déclencher un cancer du poumon. Jusqu'ici 31'000 maisons (58'000 mesures) ont été examinées en Suisse, dont 16'000 en 1998. A l'exception de Fribourg, tous les cantons ont entrepris le cadastre du radon prévu. Une petite moitié des communes est suffisamment recensée. De plus grandes régions dans les cantons du Jura, des Grisons, de Neuchâtel et du Tessin, et en partie également dans le Plateau suisse, accusent des concentrations de radon accrues [chap. 2]. Pour les données représentatives dans les séjours, on obtient une concentration médiane de 40 Bq/m^3 pour une moyenne arithmétique de 75 Bq/m^3 . On a relevé des concentrations supérieures à la valeur directrice (400 Bq/m^3) dans 1 à 2 pour-cent des séjours, et de 1000 Bq/m^3 (= valeur limite) dans 3 pour mille des séjours, ce qui correspond à quelques milliers de maisons. Une série de maisons présentant des valeurs élevées de radon ont déjà été assainies avec succès, d'autres assainissements sont en cours.

Le radon dans les séjours

Dépassement de la valeur directrice par 1000 habitants	Cantons
> 1	GR, JU, TI
0.1 à 1	BE, GL, NE, OW, SO, VD, VS
< 0.1	AG, AI, BS, BL, GE, LU, NW, SG, SH, SZ, TG, ZG, ZH
Nombre de mesures insuffisant	AR, FR

1.2. Précipitations

L'activité **tritium**, aujourd'hui réduite à quelques Bq/l, domine dans les précipitations, en raison surtout de son utilisation industrielle. Au sud des Alpes, les valeurs sont légèrement inférieures à celles mesurées au nord des Alpes. La part naturelle cosmogénique de tritium est de quelques dixièmes de Bq/l. S'y ajoutent dans certaines régions jusqu'à 10 Bq/l provenant des industries et des installations nucléaires et jusqu'à plusieurs milliers de Bq/l à proximité immédiate d'entreprises traitant du tritium ou d'incinérateurs de déchets contenant du tritium. L'OraP fixe à 12'000 Bq/l la limite d'immission du tritium dans les eaux d'accès public. Pour l'eau potable, la valeur de tolérance de l'ordonnance sur les substances étrangères et les composants (OSEC) est de 1000 Bq/l. D'autres radionucléides artificiels, comme le ^{137}Cs , ont indiqué dans tous les échantillons mensuels des concentrations inférieures à 0.015 Bq/l, tandis que le ^7Be naturel indiquait moins de 1 Bq/l - hormis les alentours du PSI [chap. 4.1, 7.1 et 9.1].

1.3. Systèmes aquatiques

La **teneur en tritium** dans les rivières s'est située, comme dans les pluies, à quelques Bq/l. On reconnaît une faible influence de sources d'émission locales. Ainsi, 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 les six dernières années est de 2,3 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 3,5 Bq/l. On a relevé des valeurs élevées (jusqu'à 38 Bq/l) dans le Doubs près de St-Ursanne/JU. Ce tritium provient de l'industrie horlogère de la région de la Chaux-de-Fond. Au cours des dernières années, le Doubs accuse un recul de l'activité, en raison de la diminution des déchets contenant du tritium atterrissant à l'usine d'incinération de la Chaux-de-Fond. La moyenne annuelle a baissé de 90 Bq/l en 1990 à 20 Bq/l en 1998, et l'écoulement annuel de tritium de 105 à 20 TBq [chap. 4.2].

En 1998, les **rivières** Aare, Rhin, Rhône et Ticino, ainsi que le lac de Lugano n'ont plus indiqué, hormis des radionucléides naturels, que des traces de ^{60}Co et de ^{137}Cs (jusqu'à 0,02 Bq/l). En amont des centrales nucléaires, on a relevé, comme seul radionucléide artificiel, du ^{137}Cs provenant des retombées des essais nucléaires et de Tchernobyl. Des modèles mathématiques ont été mis au point et testés pour calculer le transport de radionucléides dans les eaux de surface, la déposition, les sédiments et la resuspension [chap. 4.2 et 4.5].

Des analyses de **sédiment** sont effectuées dans les rivières en aval des centrales nucléaires et dans le lac de Lugano. Elles ont permis de faire le bilan des écoulements liquides des centrales nucléaires (^{54}Mn , ^{60}Co , ^{58}Co , ^{65}Zn et ^{137}Cs) et les contributions de l'accident nucléaire de Tchernobyl [chap. 4.2 et 4.5].

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 ^{131}I , attribuables à la médecine nucléaire. En 1998, les limites de rejet de ^{131}I dans les eaux usées ont été dépassées à cinq reprises par l'hôpital cantonal de Bâle. L'OFSP a ordonné des enquêtes et des mesures correspondantes. Ces rejets correspondent dans le temps avec les valeurs plus élevées enregistrées dans les eaux usées de la STEP de Bâle. Pendant les semaines du calendrier 12, 18, 28 et 48/49, des écoulements de tritium de 1.8, 1.9, 3.6 et 2.6 GBq respectivement ont été mesurées à la sortie de la STEP Pro Rheno. La teneur en tritium des eaux de rejet des STEP a été de 30 Bq/l, sauf à la celle de La Chaux-de-Fonds où l'on a enregistré des valeurs jusqu'à 2400 Bq/l. Ce tritium provient principalement du lavage des fumées de l'installations d'incinération de déchets de la région. Entre 1990 et 1998, l'écoulement

tritium correspondant a passé de 42 à 8 TBq. En 1998, 200 TBq ^3H ont été traités dans les entreprises de la ville [chap. 4.2 et 9.1].

1.4. Sols

Le sol est un excellent intégrateur de tous les dépôts de l'air. Les carottages ont confirmé les différences régionales des teneurs en radionucléides naturels (séries de l'uranium et du thorium), attribuables à la géologie et à l'utilisation d'engrais au potassium (^{40}K).

Radionucléides naturels dans le sol	^{40}K	Série U	Série Th
Domaine de valeur en Bq/l poids à sec	200 - 1000	25 - 60	15 - 40

La répartition des radionucléides artificiels révèle des différences régionales, 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 ^{137}Cs , ^{90}Sr et Pu est plus importante dans les Alpes et au sud des Alpès (et en partie dans le Jura) que sur le Plateau. Par contre, les dépositions dues à Tchernobyl, dont la composante à long terme se restreint pratiquement au ^{137}Cs , n'ont durées qu'une à deux semaines alors que le ^{90}Sr ne représentait qu'un pour-cent environ de l'activité Cs en Europe occidentale. Le Cs dû aux retombées nucléaires (Fallout) a baissé sur le Plateau avec une demie-vie effective de 5 ans environ, et de près de 20 ans dans les Alpes. 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 avec les valeurs suivantes pour 1998 [chap. 4.3, 4.4 et 7.2]:

Radionucléides artificiels dans le sol (0 – 5 cm) Valeurs (Bq/kgTM)	^{134}Cs	^{90}Sr	$^{239/240}\text{Pu}$	^{241}Am
Plateau	10 - 54	0.9 - 4.3	0.08 - 0.9	0.04 - 0.11
Alpes	50 - 166	12 - 23	1.2 - 2.8	0.2 - 1.0
Tessin et sud des Grisons	50 - 390	7 - 11	0.3 - 2.1	

Aucun impact des rejets atmosphériques des installations nucléaires suisses n'a été constaté dans le sol, à l'exception des traces rémanentes de ^{60}Co (< 2 Bq/kg) près de la centrale nucléaire de Mühleberg, dû au rejet de résines radioactives en 1986 [chap. 8.3].

1.5. Végétaux et aliments

Dans la plupart des échantillons d'herbe et d'aliments, le ^{40}K naturel domine par rapport aux traces de radionucléides artificiels. Excepté pour le ^{14}C , ces traces ne proviennent pas des installations ou des centres de recherche nucléaires suisses. Elles témoignent pour l'essentiel de l'accident de Tchernobyl et des essais nucléaires passés, suite au transfert du ^{137}Cs et du ^{90}Sr depuis le sol vers les plantes par voie racinaire. Par conséquent, la distribution régionale de l'activité des plantes reflète celle du sol. Les valeurs ^{90}Sr 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 la retombée des essais nucléaires des années 60 que le Plateau suisse [chap. 4.4 et 5.1].

Echantillon	Unité	Region	^{40}K	^{137}Cs	^{90}Sr
Herbe	Bq/kg	Nord des Alpes	200 - 1600	0.3 - 9	0.7 - 5
		Tessin + sud des Grisons		jusqu'à 62	7 - 28
		Alpes			9 - 45
Lait	Bq/l	Plateau	50	< 1	0.03 - 0.07
		Alpes+sud des Alpes +Tessin	($\approx 1.6 \text{ g K/l}$)	jusqu'à 3.2	0.2 - 0.3
Céréales	Bq/kg	Nord des Alpes	115	< 0.8	0.33
		Tessin			0.6 - 1.0

Pour le gibier importé, les concentrations ^{137}Cs 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 ^{137}Cs était inférieure à 100 Bq/kg. Pour les champignons du nord des Alpes, un seul dépassement de la valeur de tolérance de 600 Bq/kg ^{137}Cs (rapportée au poids frais) a été constaté. Deux tiers des échantillons ont indiqué moins de 100 Bq/kg. On note un léger recul de l'activité pour les bolets pied rouge et les pholiotas ridées, les sortes les plus touchées par le Cs. L'activité dans tous les champignons importés a été inférieure à la valeur de tolérance à une exception près, et inférieure à 100 Bq/kg dans 80 pour cent des échantillons [chap. 5.1].

Selon les valeurs relevées dans les échantillons importés et les mesures effectuées à l'étranger, les poissons et surtout les fruits de mer accusent une teneur élevée en ^{210}Po naturel. La consommation de fruits de mer n'induit toutefois pas de doses de rayonnement notables [chap. 5.1].

1.6. Carbone-14 dans les plantes

Le ^{14}C est assimilé par les plantes en phase de croissance à partir du CO_2 dans l'air. Au ^{14}C d'origine naturelle 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 encore 106 pour mille. Des valeurs accrues jusqu'à 191 pour mille au-dessus de la valeur de référence ont été mesurées en 1997 dans des feuillages prélevés à proximité de la centrale nucléaire de Leibstadt (pour la centrale nucléaire de Gösgen: 92 pour mille). Auprès du réacteur de recherche Saphir de l'Institut Paul Scherrer (plus en service) et près du futur dépôt intermédiaire (ZWILAG), l'augmentation se situe encore à environ 47 pour mille [chap. 7.1].

Des déchets contenant du ^{14}C provenant de la recherche chimique sont incinérés dans la nouvelle station d'incinération des déchets spéciaux de la ville de Bâle. Il en résulte une augmentation par rapport à la valeur de référence jusqu'à près de 171 pour mille dans les échantillons de feuillages avoisinants.

La teneur en ^{14}C 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 quelque millième de mSv par an.

1.7. Radioactivité dans le corps humain

L'incorporation des radionucléides avec la nourriture se base sur les mesures du corps entier et sur les analyses ^{90}Sr dans les dents de lait et dans 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 ^{137}Cs . De même, les mesures du corps entier des collaborateurs CFF impliqués dans le transport d'éléments de combustion des centrales nucléaires suisses n'ont pas non plus relevé d'incorporation [chap. 6.1 et 6.2].

Radionucléides dans le corps	Unité	femmes	hommes
^{40}K naturel (corps entier)	Bq	3300	4700
^{137}Cs (corps entier)	Bq	< 25	< 25
^{90}Sr dans les dents de lait	Bq/g Ca	0.04	
^{90}Sr dans les vertèbres		0.03	

2. Doses d'irradiation externe

2.1. Rayonnement naturel

L'exposition externe vient avant tout du rayonnement cosmique et terrestre. La source des rayonnement terrestres sont les radionucléides naturels présents dans le sol et dans les matériaux de construction. La grande variabilité régionale du ^{40}K et des séries de l'uranium et du thorium se répercute évidemment sur les débits de dose qui en résultent. Le rayonnement cosmique, partiellement atténué par l'atmosphère, augmente par conséquent selon l'altitude.

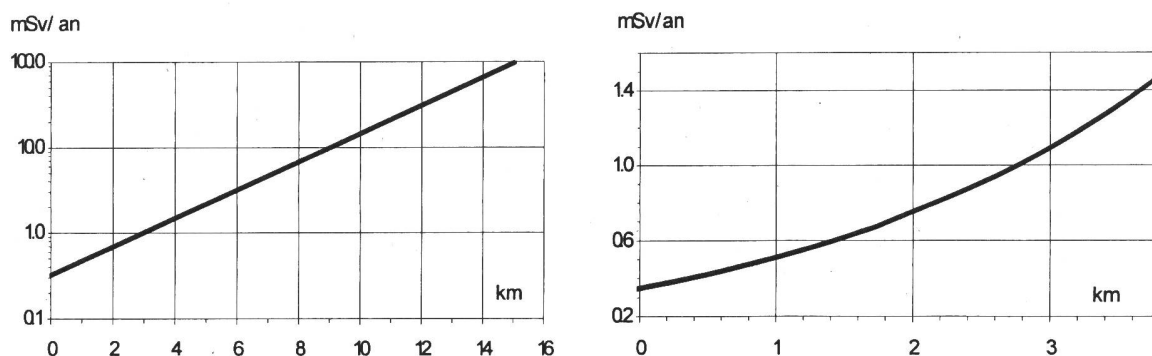


Figure 1: rayonnement cosmique en mSv/an en fonction de l'altitude au-dessus du niveau de la mer en km.

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 [chap. 3.4]. Un tableau

synoptique des mesures de dose sur l'ensemble du pays se trouve dans la partie B [chap. 3.1 à 3.3].

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 [chap. 3.1 et 3.2].

Des endroits limitrophes des centrales nucléaires de Mühleberg et Leibstadt, de l'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 [chap. 8.3]. 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

Des mesures sont effectuées chaque année à bord d'un hélicoptère à l'aide d'un spectromètre gamma NaI dans le voisinage des centrales nucléaires (1998: Beznau et Leibstadt) et dans d'autres régions de Suisse (1998: Centovalli/TI, Piz Giuv et Valais). A la centrale nucléaire de Leibstadt, elles ont fait état du rayonnement ^{16}N à la verticale (blindage latéral seulement), à l'PSI, du rayonnement de l'entrepôt intermédiaire de stockage de déchets radioactifs, dans les Centovalli, des dépôts de Tchernobyl, et dans les autres régions (Kristallin en Valais et Piz Giuv), de la radioactivité naturelle accrue [chap. 3.3].

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 1998 en Suisse indiquent une moyenne de 75 Bq/m³; 50% des valeurs sont inférieures à 40 Bq/m³, 1 à 2% supérieures à la valeur directrice de 400 Bq/m³, 0,3% excédant la valeur limite des 1000 Bq/m³ (2). La valeur moyenne mentionnée est surestimée parce que le choix privilégiait les maisons et les régions à risque radon 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 (voir rapport annuel 1993, page B.2.3). L'autre gaz rare thoron (^{220}Rn), pour lequel il n'existe aucune mesure dans les bâtiments suisses, augmente les valeurs de dose 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 5% des séjours, la dose est supérieure d'un facteur 10 à la moyenne et dans 10% des séjours environ, elle est encore 5 fois supérieure. 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, surtout dues au ^{40}K . Le reste provient des séries d'uranium et de thorium ainsi que des radionucléides cosmogènes tritium, ^{14}C , ^7Be etc. La consommation quotidienne d'un litre d'eau minérale contenant 1 Bq/l de ^{226}Ra ajouterait une dose proche de 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, de l'altitude au-dessus du niveau de la mer et du mode de vie. Avec les appareils de mesure des doses, on peut établir uniquement la somme des composantes naturelles et artificielles, les contributions individuelles ne pouvant être mesurées qu'au moyen de la spectrométrie gamma in situ. Dans les régions habitées de Suisse, la dose de rayonnement terrestre en plein air se situe entre 0.35 et 0.8 mSv/an. Il est tout aussi difficile de déterminer la contribution des radionucléides présents dans les matériaux de construction à l'exposition dans les bâtiments. Là aussi, la distinction des différentes composantes passe par des mesures de spectrométrie gamma. Les mesures faites jusqu'ici montrent en moyenne que la dose à l'intérieur est supérieure d'environ 10% à celle en plein air.

Au total, la **population suisse** est soumise annuellement à près de 3 mSv **d'origine naturelle**, répartis comme suit:

Dose annuelle en mSv de sources de rayonnement naturelles	Moyenne	Domaine
Rayonnement externe (terrestre & cosmique)	0.9 ¹⁾	0.5 - 2.0
Nucléides absorbés avec les aliments	0.4 ²⁾	0.2 - 0.5
Radon et produits dérivés dans les séjours	1.6	0.3 - plus de 20 ³⁾
Somme	3	1 à plus de 20

1) dont rayonnement cosmique: 300 m 0.35 mSv/an. Un vol Suisse-Amérique du Nord, dose supplémentaire de 0.04 - 0.09 mSv; pour le personnel volant et les personnes voyageant fréquemment en avion, dose supplémentaire de 2 à 5 mSv/an.

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

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

3.2. Doses 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 - ^{137}Cs et ^{90}Sr 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, 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 ^{137}Cs consécutif à l'accident de Tchernobyl. Les centrales nucléaires suisses, le PSI et le CERN ne contribuent pas de façon significative à cette irradiation.

L'irradiation globalement attribuable à la **radioactivité artificielle** (sans radon, médecine et faibles sources) représente pour la majorité de la population suisse entre 0.01 et 0.05 mSv par an, et pour des individus isolés jusqu'à 0.1 mSv par an.

Dose annuelle en mSv de sources de rayonnement artificielles		Moyenne	Domaine
Médecine	Diagnostic par rayons X ¹⁾	1	0 – 30
	Médecine nucléaire ²⁾	0.04	0 – 80
Sources faibles	Objets et biens de consommation contenant des substances radioactives ³⁾	0.1	0 - ?
Radioactivité artificielle à large échelle	Tchernobyl	0.01	jusqu'à 0.5
	Retombées d'essais nucléaires	< 0.01	
	^{85}Kr de retraitement	0.02	
Immissions radioactives	Entreprises et centrales nucléaires	≈ 0	jusqu'à 0.015
Exposition professionnelle	60'683 personnes professionnellement exposées ⁴⁾	0.11	< 20 ⁵⁾ (< 1 pour 97%)

Exemples

^{137}Cs dans le lait	1 l/jour avec 20 Bq/l	0.1
^{137}Cs dans les champignons	200 g/semaine avec 600 Bq/l	0.09
^{14}C dans les légumes	200 g/jour (des environs de SVA Bâle ⁶⁾)	0.002
^3H 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

- 1) Sondage de 1978; un nouveau sondage est en cours.
- 2) Sondage de 1989/90.
- 3) 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, ^{210}Po dans fumée de cigarettes, etc.
- 4) Centrales nucléaires, médecine, recherche, industrie et administration publique
- 5) A l'exception d'une valeur entre 20 et 50
- 6) Usine d'incinération de déchets spéciaux, Bâle-Ville.

Pour toutes informations: tél. 026/ 300 91 61; fax: 026/ 300 97 43
e-mail: hansruedi.voelkle@bag.admin.ch

4. Unités et prescriptions

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 en bas de page. 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.

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.

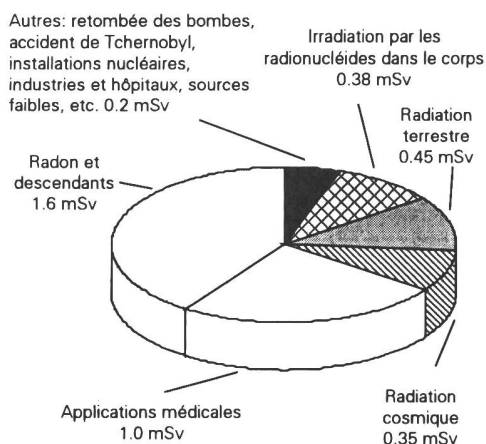


Figure 2: Contributions moyennes à l'exposition aux rayonnements (dose globale: 4 mSv/an)

1) Préfixe

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

A

Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera nel 1998: Riassunto

H. Völkle

Sezione sorveglianza della radioattività (SUER)
Ufficio federale della sanità pubblica, Chemin du Musée 3, 1700 FRIBOURG

Introduzione

Questo capitolo riassume gli esiti della sorveglianza della radioattività ambientale e indica le dosi d'irradiazione della popolazione che ne derivano. Nella prima parte si riassumono i risultati delle misure operate nell'ambiente per il programma di sorveglianza (cap. 1), nella seconda le misure relative all'irradiazione esterna (intensità della dose ambiente) e nella terza le dosi d'irradiazione ne derivano per la popolazione.

Poiché non è possibile controllare la radioattività e le dosi d'irradiazione sempre e dovunque, i programmi di misura, i punti di prelievo dei campioni e i procedimenti d'analisi devono essere scelti in modo tale da ottenere una quantità di dati che consenta di determinare con sufficiente certezza le principali vie di diffusione della radioattività. Questo richiede una conoscenza approfondita delle fonti naturali e artificiali di radioattività, nonché dei modi di trasporto e di arricchimento nell'ambiente. Sono perciò necessarie analisi che vanno oltre la sorveglianza abituale e includono anche progetti di ricerca interdisciplinari.

Per calcolare le dosi d'irradiazione della popolazione si ricorre ai modelli e fattori di dose ritenuti nell'Ordinanza sulla radioprotezione (ORaP) del 1994, che si riferisce a sua volta alle raccomandazioni della Commissione internazionale di radioprotezione (ICRP). Queste raccomandazioni riguardano persone le cui abitudini alimentari e di vita e il cui metabolismo corrispondono alla media della popolazione. Il consumo superiore alla media di determinati prodotti alimentari o il soggiorno frequente in luoghi particolarmente esposti a radiazioni (ad esempio in grotte o in montagna) sono perciò fattori da considerare addizionalmente.

Per la valutazione delle dosi d'irradiazione, l'ICRP propone di applicare fattori di rischio che tengono in considerazione tanto il pericolo di malformazioni genetiche quanto il rischio di morte o di riduzione della durata o della qualità di vita per cancro da radiazioni ionizzanti. Queste indicazioni si fondano essenzialmente su ricerche svolte sui superstiti dei bombardamenti di Hiroshima e Nagasaki e devono considerarsi valori di stima assai approssimativi. Per valutare il rischio legato all'irradiazione è sempre necessario tenere in considerazione anche gli altri rischi della vita quotidiana. Nel nostro Paese, i valori della radioattività ambientale e le dosi d'irradiazione della popolazione da fonti di radioattività artificiali sono finora sempre stati parecchio inferiori ai limiti legali e il rischio d'irradiazione che ne deriva è irrilevante. Diversa è la situazione per quanto concerne il radon, fonte radioattiva naturale, alla cui concentrazione eccessiva in locali abitati (cap. 2) si devono probabilmente alcuni casi su cento delle morti per cancro ai polmoni in Svizzera.

I rinvii a capitoli corrispondenti della parte B o a rapporti annuali del passato si trovano tra parentesi quadre, i rinvii alla parte A tra parentesi tonde.

1. Radioattività naturale e artificiale nell'ambiente

1.1. Aria

Ad eccezione del ^{85}Kr e del ^3H (tritio), si possono accertare nell'aria soltanto ancora tracce di radionuclidi artificiali come il ^{137}Cs , il ^{239}Pu e l' ^{241}Am [cap. 4.1 e 7.2 per il Pu e l'Am]. Questo vale anche nei pressi di impianti nucleari [cap. 8]. Il ^{85}Kr , gas nobile di lunga durata la cui concentrazione attuale è di circa 1.3 Bq/m^3 con tendenza crescente, proviene dalla rigenerazione di combustibile nucleare [cap. 7.1]. Per quanto riguarda il ^3H , nell'umidità dell'aria immediatamente vicina ad aziende di lavorazione del tritio si riscontrano, valori di circa 10 Bq/m^3 , pari all'uno per cento circa del valore limite d'immissione secondo l'Ordinanza sulla radioprotezione [cap. 4.1].

Con il campionatore ad alto volume della rete svizzera di sorveglianza è stato possibile rilevare una liberazione di ^{137}Cs da un'acciaieria spagnola. Una fonte di ^{137}Cs era stata fusa per errore insieme con rottami metallici. Per breve tempo, i valori misurati nei filtri dell'aria in Svizzera sono saliti fino a $0,15 \text{ mBq/m}^3$ (Monte Ceneri/TI), valore tuttavia assolutamente irrilevante sotto l'aspetto radiologico [cap.4.6]. Per confronto: dopo l'incidente nel reattore di Cernobil, la concentrazione del ^{137}Cs in Ticino è salita per breve tempo fino a 1 Bq/m^3 . Nei filtri dell'aria della bassa valle dell'Aar si è inoltre trovato, nel febbraio del 1998, ^{65}Zn in una concentrazione di 0.05 mBq/m^3 , riconducibile ad emissioni dell'impianto d'incenerimento delle scorie radioattive dell'IPS.

All'aperto - e ancor più negli edifici - il gas nobile naturale **radon** e i suoi discendenti radioattivi sono all'origine della parte principale della radioattività presente nell'aria. La sedimentazione nei polmoni di discendenti del radon può causarvi il cancro. Con 58'000 misure, di cui 16'000 operate nel 1998, si è finora esaminata la presenza di radon in 31'000 case svizzere. Ad eccezione di Friburgo, tutti i Cantoni hanno avviato i lavori per allestire il catasto progettato del radon. Esistono rilevamenti sufficienti per quasi la metà dei comuni. 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 [cap. 2]. Il valore mediano dei dati rappresentativi registrati nei locali abitati è di circa 40 Bq/m^3 , la loro media aritmetica di 75 Bq/m^3 . Concentrazioni superiori al limite operativo di 400 Bq/m^3 si trovano nell'1 a 2 per cento, concentrazioni superiori al limite di 1000 Bq/m^3 nel 3 per mille dei locali abitati. In alcune migliaia di case, si supera questo limite. Diverse case che presentavano concentrazioni elevate di radon sono già state risanate con successo. Altre opere di risanamento sono in corso.

Radon negli edifici d'abitazione:

Valori superiori al limite operativo per 1000 abitanti	Cantoni
>1	GR, JU, TI
0,1 a 1	BE, GL, NE, OW, SO, VD, VS
< 0,1	AG, AI, BL, BS, GE, LU, NW, SG, SH, SZ, TG, ZG, ZH
numero insufficiente di valori misurati	AR, FR

1.2. Precipitazioni

Nelle precipitazioni predomina il ^3H (**tritio**), presente attualmente in concentrazioni di soltanto ancora pochi Bq/l e proveniente 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 al massimo. 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. Gli altri radionuclidi artificiali, ad esempio il ^{137}Cs , erano presenti in tutti i campioni di prelievo mensili, in concentrazioni inferiori a 0,015 Bq/l. Tranne che nei paraggi dell'IPS, la concentrazione del ^7Be , di origine naturale, ammontava a meno di 1 Bq/l [cap. 4.1, 7.1 e 9.1].

1.3. Acque

Come le precipitazioni, anche l'acqua fiumana presentava un **contenuto di tritio** di alcuni Bq/l. Si osserva un influsso modesto di emittenti locali: nella regione alpina, ossia nel Rodano nel Canton Vallese, nell'Aar a monte di Mühleberg e nel Ticino presso Contone, il contenuto medio di tritio degli ultimi sei anni è stato di 2,3 Bq/l; nell'Aar presso Brugg è stato di circa 5,3 Bq/l e nel Rodano a valle di Ginevra di 3,5 Bq/l. Nel Doubs presso St. Ursanne/JU si sono ancora riscontrati valori più elevati, fino a 38 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, essendo diminuito il volume delle scorie contenenti tritio che giungono nell'impianto d'incenerimento dei rifiuti di La Chaux-de-Fonds. La media annuale è scesa da 90 Bq/l nel 1990 a 20 Bq/l nel 1998 e il deflusso annuale di tritio è calato da 105 a 20 TBq [cap. 4.2].

Accanto ai radionuclidi naturali, nel 1998 si sono trovate nei **fiumi** Aar, Reno, Rodano e Ticino, nonché nel Ceresio, soltanto tracce di ^{60}Co e ^{137}Cs fino a 0,02 Bq/l. A monte degli impianti nucleari, l'unico radionuclide accertato è stato il ^{137}Cs proveniente dalle ricadute degli esperimenti con armi nucleari e dall'incidente di Cernobil. Si sono elaborati e sperimentati modelli matematici applicabili al trasporto di radionuclidi nell'acqua corrente, alla loro adesione al sedimento ed al riscoglimento dal medesimo. [cap. 4.2 e 4.5].

Analisi dei **sedimenti**, svolte nei fiumi a valle degli impianti nucleari e nel Ceresio, consentono di allestire un bilancio delle emanazioni liquide delle centrali nucleari (^{54}Mn , ^{60}Co , ^{58}Co , ^{65}Zn e ^{137}Cs) da un lato e dell'apporto dell'incidente nel reattore di Cernobil d'altro lato [cap. 4.2 e 4.5].

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 ^{131}I provenienti dalla medicina nucleare. L'Ospedale cantonale di Basilea a oltrepassato, per cinque volte nel corso del 1998, il valore limite di rilascio del ^{131}I attraverso le acque di scolo. L'UFSP ha avviato studi e provvedimenti in materia. Esiste una corrispondenza cronologica tra queste emanazioni e i valori elevati misurati nelle acque di scolo dell'impianto di depurazione delle acque di Basilea. Nell'effluente dell'impianto di depurazione Pro Rheno si sono registrati, nella 12^a, 18^a, 28^a e 48/49^a settimana dell'anno deflussi di 1,8, 1,9, 3,6 e 2,6 GBq per settimana. Il contenuto di tritio negli effluenti di impianti di deputazione è ammontato al

massimo a 30 Bq/l, ad eccezione di quello di La Chaux-de-Fonds, dove si sono riscontrati valori fino a 2'400 Bq/l. Questo tritio proviene soprattutto dal gorgogliatore di lavaggio del gas combusto dell'impianto di incenerimento dei rifiuti della regione. Dal 1990 al 1998, il deflusso annuale di tritio dall'impianto di depurazione delle acque è sceso da 42 a 8 TBq/anno. Nel 1998 sono stati lavorati nelle aziende della città 200 TBq ^3H [cap. 4.2 e 9.1].

1.4. Suolo

Il suolo è un buon integratore di tutti i sedimenti dell'aria. I campioni di suolo continuano a presentare notevoli variazioni regionali, dovute a differenze geologiche per quanto riguarda i radionuclidi naturali delle catene di decadimento dell'urano e del torio e all'uso di concimi potassici per quanto concerne il ^{40}K , anch'esso naturale.

radionuclidi naturali nel suolo	^{40}K	catena dell'urano	catena del torio
margine di variazione in Bq/l di materiale secco	200 - 1000	25 - 60	15 - 40

Anche la distribuzione dei radionuclidi artificiali nel suolo presenta differenze regionali, riconducibili alla diversa sedimentazione della radioattività proveniente dalle esplosioni in superficie di armi nucleari negli anni sessanta e dall'incidente nel reattore di Cernobil. Le prime sono perdurate dagli anni cinquanta fino agli anni settanta e la loro distribuzione regionale rispecchia la ripartizione quantitativa delle precipitazioni. La concentrazione di questi sedimenti di ^{137}Cs , ^{90}Sr e Pu è perciò più elevata nelle Alpi e a Sud delle Alpi (in parte anche nel Giura) che nell'Altopiano. 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 ^{137}Cs , mentre lo ^{90}Sr corrisponde soltanto sull'uno per cento circa dell'attività di Cs depositata nell'Europa occidentale. Nell'Altopiano, il tempo di dimezzamento effettivo con cui si è ridotto il Cs proveniente dalle ricadute delle bombe atomiche è stato di 5 anni circa, nelle Alpi di fino a 20 anni. Per effetto del diverso volume delle precipitazioni registrate durante quel periodo, 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 al 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 1998, nei seguenti limiti [cap. 4.3, 4.4 e 7.2]:

radionuclidi artificiali nel suolo (margine di variazione in Bq/kg di materiale secco) (0 - 5 cm)	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239/240}\text{Pu}$	^{241}Am
Altopiano	10 - 54	0,9 - 4,3	0,08 - 0,9	0,04 - 0,11
Alpi	50 - 166	12 - 23	1,2 - 2,8	0,2 - 1,0
Ticino	50 - 390	7 - 11	0,3 - 2,1	

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 ^{60}Co ($< 2 \text{ Bq/kg}$), provenienti dall'emissione di resine radioattive attraverso l'aria di ventilazione nel 1986 [cap. 8.3].

1.5. Piante e derrate alimentari

Nei prelievi di erba e derrate alimentari il ^{40}K era predominante rispetto ai radionuclidi artificiali. Tranne per quanto riguarda il ^{14}C , queste tracce non provengono da centrali nucleari o impianti di ricerca svizzeri. Si tratta essenzialmente del ^{137}Cs originato nell'incidente del reattore di Cernobil e durante gli esperimenti in superficie con armi nucleari che le piante hanno assorbito dal suolo 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 ^{90}Sr nelle Alpi e nel Ticino confermano l'ipotesi che queste regioni con forti precipitazioni siano state più colpite che l'Altopiano anche dalle ricadute degli anni sessanta [cap. 4.4 e 5.1].

Campione	Unità	Regione	^{40}K	^{137}Cs	^{90}Sr
erba	Bq/kg	Nord delle Alpi	200 - 1600	0,3 - 9	0,7 - 5
		Ticino e Sud dei Grigioni		fino a 62	7 - 28
		Alpi			9 - 45
latte	Bq/l	Altopiano	50 ($\approx 1,6 \text{ g K/l}$)	< 1	0,03 - 0,07
		Alpi, Sud delle Alpi e Ticino		fino a 3,2	0,2 - 0,3
cereali	Bq/kg	Nord delle Alpi	115	$< 0,8$	0,33
		Ticino			0,6 - 1,0

La concentrazione di ^{137}Cs nella selvaggina importata è ancora leggermente diminuita; in tutti i campioni analizzati era inferiore al valore di tolleranza di 600 Bq/kg, nel 90 per cento di essi inferiore a 100 Bq/kg. In uno dei campioni di funghi del Nord delle Alpi la concentrazione di ^{137}Cs era superiore a 600 Bq/kg di funghi freschi. In due terzi dei funghi analizzati era invece inferiore a 100 Bq/kg di funghi freschi. Si può riconoscere una leggera diminuzione della radioattività nelle speci più colpite, i boleti dei castagni (*xerocomus badius*) e gli agarici rugosi (*rozites caperata*). Con una sola eccezione, i campioni di funghi importati erano inferiori al valore di tolleranza e per l'80 per cento inferiori a 100 Bq/kg di funghi freschi [cap. 5.1].

I pesci e, soprattutto, i frutti di mare presentano un contenuto elevato di ^{210}Po naturale, come si è constatato analizzando campioni di merce importata e per mezzo di misure all'estero. Il consumo di frutti di mare non induce tuttavia dosi d'irradiazione considerevoli [cap. 5.2].

1.6. Carbonio-14 nelle piante

Il ^{14}C è assorbito dalle piante per assimilazione del CO_2 dell'aria durante la fase di crescita. Ai 227 Bq ^{14}C per kg di carbonio presenti per natura nelle piante si aggiunge il contributo degli esperimenti svolti con le armi nucleari. Negli anni sessanta, questa parte equivaleva a quella naturale, oggi ne comporta circa il 106 per mille. Nel 1998, si sono trovate in foglie di alberi

colte nelle vicinanze della centrale nucleare di Leibstadt concentrazioni fino al 191 per mille superiori al valore di riferimento (Gösgen: fino al 92 per mille). Vicino al reattore di ricerca fuori esercizio Saphir dell'Istituto Paul Scherrer presso il futuro deposito intermedio federale (ZWILAG) l'aumento è ancora del 47 per mille circa [cap. 7.1].

Nel nuovo impianto d'incenerimento dei rifiuti speciali della città di Basilea si bruciano, tra altro, rifiuti provenienti dalla ricerca chimica e contenenti ^{14}C . Nei campioni di foglie d'alberi prelevati presso l'impianto ne risulta un superamento del valore di riferimento che può raggiungere anche il 171 per mille.

Il contenuto di ^{14}C 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 qualche millesimo mSv per anno.

1.7. Radioattività nell'organismo umano

Per mezzo di misure dell'intero organismo e di analisi del contenuto di ^{90}Sr nei denti di latte e nelle vertebre si determina la radioattività assorbita con l'alimentazione. Con alcuni eccezioni, le misure del corpo intero svolte su liceali di Basilea e Ginevra non hanno rivelato alcuna attività accertabile del ^{137}Cs . Non sono inoltre risultati indizi di incorporazione neppure dalle misure dell'intero organismo di dipendenti delle FFS coinvolti nel trasporto di combustibile nucleare esaurito proveniente dalle centrali nucleari svizzere [cap. 6.1 e 6.2].

Radionuclidi nell'organismo	Unità	Donne	Uomini
^{40}K naturale (organismo intero)	Bq	3300	4700
^{137}Cs (organismo intero)	Bq	< 25	< 25
^{90}Sr nei denti di latte	Bq/g Ca	0,04	
^{90}Sr nelle vertebre		0,03	

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. Differenze regionali considerevoli riflettono la ripartizione geografica del ^{40}K e dei nuclidi della catena dell'urano e del torio. La radiazione cosmica, attenuata dall'atmosfera, aumenta con l'altitudine.

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 tuttavia una radiazione supplementare che, il più delle volte, supera questo effetto schermante. Con 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 [cap. 3.4]. Nella parte B si trova un compendio delle misure dell'intensità di dose in tutto il Paese [3.1 a 3.3].

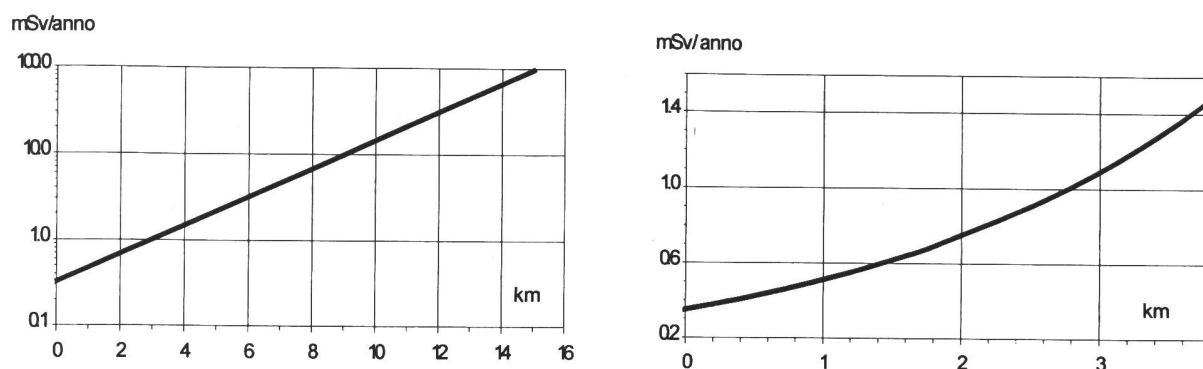


Fig.1: Radiazione cosmica in mSv/anno in funzione dell'altitudine in km sul livello del mare

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 degli anni sessanta contribuiscono soltanto ancora con una piccola percentuale all'intensità di dose esterna. Il Ticino costituisce un'eccezione: qui il loro contributo ammonta tuttora fino al 30 per cento dell'intensità di dose esterna complessiva [cap. 3.1 e 3.2].

In alcuni punti presso il recinto delle centrali nucleari di Mühleberg e di Leibstadt, dell'IPS 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 [cap. 8.3]. A 1 m sopra la superficie del terreno, 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

Per mezzo di uno spettrometro gamma al NaI a bordo di un elicottero Super-Puma dell'esercito (aeroradiometria) si svolgono ogni anno misure nei dintorni delle centrali nucleari (1998: Beznau e Leibstadt) e in altre regioni della Svizzera (1998: Centovalli/TI, Piz Giuv. e Vallese). Presso la centrale nucleare di Leibstadt è stato possibile accertare le radiazioni provenienti dal decadimento del ^{16}N (la cui diffusione è impedita da schermi laterali ma non verso l'alto), presso l'IPS quelle del deposito intermedio di scorie radioattive, nelle Centovalli quelle del ^{137}Cs sedimentatosi in seguito a Cernobil e nelle altre regioni (roccia cristallina del Vallese e Piz Giuv) la radioattività naturale più elevata [cap. 3.3].

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 sono tuttavia dovute alla cultura. Dalle misure svolte in Svizzera fino al 1998 risulta una concentrazione media di circa

75 Bq/m³: il 50 per cento dei valori è inferiore a 40 Bq/m³, tra l'1 e il 2 per cento superiore al limite operativo di 400 Bq/m³ e lo 0,3 per cento superiore al limite di 1000 Bq/m³ (2). Poiché si sono scelti intenzionalmente per le misure edifici e regioni con un contenuto potenzialmente elevato di radon, il valore medio rappresenta probabilmente una stima eccessiva per rapporto alle circostanze reali. Per quanto concerne la dose media d'irradiazione della popolazione dovuta al radon, ci fondiamo perciò sul 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 [cfr. Rapporto annuale 1993 pagina B.2.3]. Al risultato ottenuto si aggiunge un supplemento del 10 per cento per tenere conto della dose derivante dall'altro gas nobile naturale radioattivo, il toron (²²⁰Rn), per il quale non si hanno misure relative ai locali d'abitazione in Svizzera. 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 caverna con 5000 Bq/m³ causa una dose di circa 0,4 mSv.

I radionuclidi naturali penetrano nell'organismo umano anche attraverso l'alimentazione causandovi in media una dose annuale di circa 0,38 mSv. Il contributo maggiore è quello del ⁴⁰K, il resto proviene dai radionuclidi delle catene di decadimento naturali dell'urano e del torio, nonché da quelli di origine cosmica: tritio, ¹⁴C, ⁷Be, ecc. Il consumo giornaliero di un litro d'acqua minerale contenente 1 Bq/l di ²²⁶Ra 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, dall'altitudine sul livello del mare e dalle abitudini di vita. I dosimetri permettono soltanto di determinare la somma delle componenti naturali e artificiali. Suddividerle è possibile soltanto per mezzo di misure in situ con lo spettrometro gamma. Nelle regioni abitate della Svizzera, la dose d'irradiazione terrestre esterna all'aperto è compresa tra 0,35 e circa 0,8 mSv/anno. Il contributo alla dose all'interno degli edifici dei radionuclidi naturali contenuti nei materiali di costruzione viene determinato attraverso misure svolte con lo spettrometro gamma. Bisogna considerare tanto le componenti naturali quanto quelle artificiali. Dalle misure svolte finora, risulta che in Svizzera la dose d'irradiazione in casa è del 10 per cento circa superiore a quella all'aperto.

Complessivamente, la dose annuale d'irradiazione della **popolazione svizzera** da **fonti naturali** ammonta a circa 3 mSv ripartiti come segue:

Dose annuale da fonti d'irradiazione naturali, in mSv	Media	Margine di variazione
radiazione esterna (terrestre e cosmica)	0,9 ¹⁾	da 0,5 a 2,0
radionuclidi assorbiti con l'alimentazione	0,4 ²⁾	da 0,2 a 0,5
radon e prodotti del suo decadimento nei locali abitati	1,6	da 0,3 a oltre 20 ³⁾
Totale	3	da 1 a oltre 20

- 1) 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 a 0,09 mSv; il personale di volo e le persone che volano spesso subiscono una dose addizionale di 2 a 5 mSv/anno.
- 2) di cui (in millesimi di mSv/anno): $^{40}\text{K} = 200$; $^{87}\text{Rb} = 6$; $^3\text{H} = 0,01$; $^7\text{Be} = 3$; $^{14}\text{C} = 12$; $^{22}\text{Na} = 0,2$; U, Th e Ra = 30; $^{210}\text{Pb} + ^{210}\text{Bi} + ^{210}\text{Po} = 120$.
- 3) oltre 20 mSv/anno nel 2 per cento delle case sottoposte a misura.

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. Il contributo delle centrali nucleari svizzere, dell'IPS e del CERN non è di rilievo.

Complessivamente, la dose d'irradiazione dovuta alla **radioattività artificiale** (senza il radon, 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.

Dose annuale in mSv da fonti radioattive artificiali		media	margin di variazione
Medicina	radiodiagnostica ¹⁾	1	0 – 30
	medicina nucleare ²⁾	0,04	0 – 80
"Fonti minori"	oggetti d'uso e beni di consumo contenenti sostanze radioattive ³⁾	0,1	0 - ?
Radioattività artificiale diffusa su vasta scala	Cernobil	0,01	fino a 0,5
	ricadute delle armi nucleari	< 0,01	
	⁸⁵ Kr proveniente dalla rigenerazione	0,02	
Immissioni radioattive	impianti e centrali nucleari	≈ 0	fino a 0,015
Esposizione a radiazioni per motivi professionali	60 683 persone professionalmente esposte ⁴⁾	0.11	< 20 ⁵⁾ (< 1 per 97%)

Esempi

¹³⁷ Cs nel latte	1 l/giorno contenente 20 Bq/l	0,1
¹³⁷ Cs nei funghi selvatici	200 g/settimana contenenti 600 Bq/kg	0,09
¹⁴ C negli ortaggi	200 g/giorno prelevati nei pressi dell'impianto d'incenerimento dei rifiuti speciali di Basilea Città ⁶⁾	0,002
³ H nell'acqua piovana (impiegata come acqua potabile)	2,2 l/giorno prelevati nei dintorni di un'azienda di lavorazione del tritio	0,01
Irradiazione diretta nei dintorni di una centrale nucleare	1 h/giorno presso il recinto della centrale nucleare di Leibstadt	0,1

1) Dati rilevati nel 1978; è in corso un nuovo studio.

2) Dati rilevati nel 1989/90.

3) 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, ²¹⁰Po nel fumo delle sigarette, ecc.

4) Nelle centrali nucleari, la ricerca, le industrie ed i servizi pubblici

5) Con una eccezione: un valore fra 20 e 50

6) Presso del nuovo impianto d'incenerimento dei rifiuti speciali di Basilea

Informazioni: tel. 026 / 300 9161 fax: 026 / 300 9743

e-mail: hansruedi.voelkle@bag.admin.ch

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. Il significato dei prefissi è indicato in fondo alla pagina¹⁾. Una volta, l'unità in uso era il Curie (Ci); 1 nCi = 37 Bq o, rispettivamente, 1 Bq = 27 pCi.

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

Conformemente all'**Ordinanza sulla radioprotezione** (ORaP), le dosi d'irradiazione della popolazione in seguito alla radioattività legata alla civilizzazione e alle radiazioni presenti nell'ambiente - esclusi il radon e le applicazioni mediche - non devono superare 1 mSv all'anno. Per le persone professionalmente esposte a radiazioni è fissato un limite di 20 mSv all'anno. L'Ordinanza pone inoltre limiti all'immissione di sostanze radioattive nell'aria e nelle acque pubblicamente accessibili. Questi limiti sono fissati in modo tale che una persona che bevesse sempre acqua o respirasse aria appena conformi subirebbe per ognuno un'irradiazione di 0,2 mSv all'anno. Per l'irradiazione diretta, il valore limite è di 5 mSv all'anno nelle aree pubblicamente accessibili e di 1 mSv all'anno nei locali di abitazione, di soggiorno e di lavoro. Valori limite e di tolleranza per i radionuclidi nelle derrate alimentari sono pubblicati nell'Ordinanza sulle sostanze estranee e sui componenti nelle derrate alimentari (OEC). Quello che conta per la radioprotezione è il valore limite, mentre il valore di tolleranza costituisce unicamente un criterio di qualità e il suo superamento non comporta alcun rischio. L'evacuazione di sostanze radioattive nell'ambiente deve, in ogni caso, essere controllata. L'autorità cui compete il rilascio delle licenze fissa i limiti d'immissione. Per gli impianti nucleari, questi sono ad esempio scelti in modo tale che, anche nelle immediate vicinanze, nessuno subisca una dose addizionale superiore a 0,2 mSv all'anno. Il limite di concentrazione del radon nei locali d'abitazione e di soggiorno è fissato a 1000 Bq/m³. Edifici che presentano valori superiori a questo limite devono essere risanati. Gli edifici nuovi e quelli riattati non dovrebbero superare un limite operativo di 400 Bq/m³.

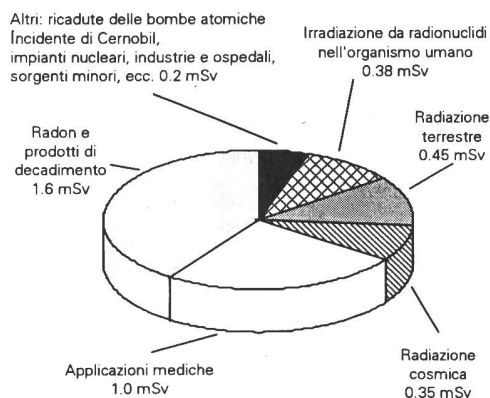


Fig. 2: Contributi medi all'esposizione a radiazioni (dose complessiva: 4 mSv/anno)

1) Prefissi

10^{-15}	fBq	femto
10^{-12}	pBq	pico
10^{-9}	nBq	nano
10^{-6}	μ Bq	micro
10^{-3}	mBq	milli
10^3	kBq	chilo
10^6	MBq	mega
10^9	GBq	giga
10^{12}	TBq	tera
10^{15}	PBq	peta



Environmental Radioactivity and Radiation Doses in Switzerland in 1998: Summary

H. Völkle

Environmental Radioactivity Section (SUER)
Swiss Federal Office of Public Health, Ch. du Musée 3, CH-1700 FRIBOURG

Introduction

In this section of the Report the reader will find a summary of the results obtained from monitoring radioactivity in the environment and the consequential radiation doses for the population. Its first part summarises the results of the environmental measurements carried out as part of the monitoring programme (Section 1), whilst its second part presents the measurements for external radiation (ambient dose rates), and its third part explains the resultant radiation dose for the population.

It is not feasible to carry out completely comprehensive monitoring of radioactivity and radiation doses (in either space or time). Measuring campaigns, sampling stations and analytical techniques must thus be selected in such a way as to ensure that there is sufficient in-built redundancy in the monitoring programme as a whole to ensure that the principal contamination routes are included with a sufficient degree of reliability. 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. This is only possible if the investigations carried out by the laboratories go beyond routine monitoring as such and also include interdisciplinary research projects.

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 (Strahlenschutzverordnung, StSV) of 1994; this is built on the recommendations of the International Commission for Radiological Protection (ICRP). These doses 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 caves or mountains) must be taken into consideration additionally.

When it comes to appraising radiation doses, the ICRP proposes the use of radiation risk factors. These take into account the risks of genetic malformations, death, the reduction in life expectancy or the quality of life as a result of cancer caused by ionising radiation. These risk factors are based primarily on the investigations carried out on the survivors of the atomic-weapon attacks on Hiroshima and Nagasaki and cannot be considered as any more than very rough estimates. In assessing the radiation risk, it is always necessary to consider the other risks of daily life. In Switzerland, the levels of radioactivity in our environment and the radiation doses to which the population is exposed due to man-made sources have so far always been way below the corresponding statutory limits, which means that the radiation risk involved is insignificant. The situation is different when it comes to radon, a natural source of radiation. Radon in dwellings (Section 2) is probably responsible for a few percent of the fatal cases of lung cancer occurring in Switzerland.

This section of the Report contains two different types of reference. Square brackets are used for references to Part B or to earlier annual reports. Round brackets are used for references to Part A itself.

1. Natural and man-made radioactivity in the environment

1.1. Air

With the exceptions of ^{85}Kr and ^3H (tritium), there are now only very minor traces of man-made nuclides, such as ^{137}Cs , ^{239}Pu and ^{241}Am , still detectable as traces in the atmosphere [Sections 4.1 and 7.2 for Pu and Am]. This applies to the vicinity of nuclear installations too [Section 8]. The long-lived inert gas ^{85}Kr , which is today at a level of around 1 Bq/m^3 and is on the increase, results from the reprocessing of nuclear fuel [Section 7.1]. In the case of ^3H , values of around 10 Bq/m^3 occur in atmospheric moisture in the near vicinity of tritium-processing plant. This corresponds to roughly one percent of the immission limit value laid down in the Swiss Federal Radiological Protection Ordinance [Section 4.1].

The release of ^{137}Cs from a Spanish steelworks at the end of May 1986 was detected by the high-volume samplers in the Swiss monitoring network. It was caused by a ^{137}Cs source that had been mistakenly melted down along with metal scrap. The values measured in the atmospheric filters in Switzerland climbed for a short period to as high as 0.15 mBq/m^3 (Monte Ceneri/Canton Ticino), which was still completely insignificant in radiological terms [section 4.6]. Compared with that, the ^{137}Cs concentration in Canton Ticino rose briefly to values of up to 1 Bq/m^3 following the reactor accident in Chernobyl. In addition, the atmospheric filters in the lower Aare valley measured $50 \text{ } \mu\text{Bq/m}^3$ of ^{65}Zn in February 1998. This was due to emissions from the radioactive-waste incineration plant at the Paul Scherrer Institute (PSI).

The principal component of radioactivity in the atmosphere outdoors - and all the more so indoors - comes from the naturally occurring inert gas **radon** and its radioactive decay products. When the latter are deposited in the lungs, lung cancer may result. Some 31 000 residential buildings have been surveyed for radon in Switzerland, and a total of 58 000 measurements have been carried out, including 16 000 in 1998. Apart from Fribourg, all the other Swiss cantons have commenced work on the planned geographic register of radon distribution. Around half the communes (local government units) have now been adequately recorded. Extensive areas with higher concentrations of radon are to be found in the cantons of Jura, Graubünden (Grisons), Neuchatel and Ticino, but isolated increased values are to be found in the Swiss Mittelland too [section 2]. The representative data for rooms in which people live results in a median value of some 40 Bq/m^3 and an arithmetical mean of 75 Bq/m^3 . Concentrations in excess of the guideline value of 400 Bq/m^3 occur in 1-2% of rooms regularly occupied, and concentrations in excess of the limit value of 1000 Bq/m^3 in 0.3% of them. The guideline value is thus exceeded in a few thousand residential buildings. Several such buildings with high radon values have already had successful remediation work carried out on them. The remediation programme is continuing.

Radon in residential buildings	
Number of instances in which guideline values are exceeded per thousand inhabitants	Cantons
>1	Graubünden (GR), Jura (JU), Ticino (TI)
0.1 –1	Berne (BE), Glarus (GL), Neuchatel (NE), Obwalden (OW), Solothurn (SO), Vaud (VD), Valais (VS)
< 0.1	Aargau (AG), Appenzell-Innerrhoden (AI), Basel-Landschaft (BL), Basel-Stadt (BS), Geneva (GE), Lucerne (LU), Nidwalden (NW), St. Gallen (SG), Schaffhausen (SH), Schwyz (SZ), Thurgau (TG), Zug (ZG), Zurich (Zurich)
Inadequate number of measurements	Appenzell-Ausserrhoden (AR), Fribourg (FR)

1.2. Precipitation

In precipitation, it is again ^3H (**tritium**) that predominates, now with just a few Bq/l, coming mainly from industrial applications. To the south of the Alps, these values are marginally lower than to the north. The naturally-occurring tritium, that is created by cosmic radiation, contributes a few tenths of a Bq/l. In the areas affected by industrial plant and nuclear installations, values up to approximately 10 Bq/l are measured, and in the immediate vicinity of tritium-processing industries or incineration plant, values up to several thousand Bq/l may occur. 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 (as laid down in the Swiss Federal Ordinance on Food Contents and Contaminants - *FIV, Fremd- und Inhaltsstoffverordnung*) is 1000 Bq/l. All other artificial radionuclides, such as ^{137}Cs , were at values below 0.015 Bq/l in all the monthly samples. The naturally-occurring ^7Be is present at levels of less than 1 Bq/l (with the exception of the neighbourhood of the PSI) [sections 4.1, 7.1 and 9.1].

1.3. Aquatic systems

The **tritium content** of rivers was a few Bq/l – similar to precipitation. It is possible to detect a minor influence from local emission sources: in the Alpine region (or, to be more precise, in the river Rhône in Canton Valais, the river Aare above Mühleberg and the Ticino river near Contone), the mean tritium content recorded over the past six years has been 2.3 Bq/l. In the river Aare next to Brugg, it is around 5.3 Bq/l, and, in the river Rhone downstream of Geneva, it reached 3.5 Bq/l. Higher values of up to 38 Bq/l are still to be found in the Doubs at St. Ursanne (Canton Jura). This particular tritium comes from the watch industry of the La Chaux-de-Fonds region. In the course of recent years, the Doubs has shown a decline in activity as a result of the fact that less waste containing tritium has made its way into the refuse-incineration plant in La Chaux-de-Fonds. The mean annual level has fallen from 90 Bq/l in 1990 to 20 Bq/l in 1998, and the annual tritium discharge from 105 TBq to 20 TBq [section 4.2].

In the **rivers** Aare, Rhine, Rhône and Ticino as well as in Lake Lugano, no more than traces up to 0.02 Bq/l were still found for ^{60}Co and ^{137}Cs , along with the naturally-occurring radionuclides. Upstream from the nuclear installations, the only man-made radionuclide to be detected is ^{137}Cs – coming partly from fallout and partly from Chernobyl. Mathematical models have been developed and tested for the transport of radionuclides in flowing waters as well as for their accumulation in the sediment or their dissolution out of it again [sections 4.2 and 4.5].

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 [sections 4.2 and 4.5].

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 coming from nuclear medicine. At Basle cantonal hospital, the discharge limits for ^{131}I in effluent were surpassed on five occasions. The Swiss Federal Office of Public Health has launched appropriate investigations and measures. This data correlates chronologically with the times at which increased values were measured in the discharge from Basle sewage works. In the course of calendar weeks 12, 18, 28 and 48/49, discharge amounts of 1.8, 1.9, 3.6 and 2.6 GBq per week were registered in the outfall from the Pro Rheno sewage works. The tritium content in the outflows of the sewage works never exceeded 30 Bq/l, except for La Chaux-de-Fonds, where values up to 2400 Bq/l occurred. The origin of this tritium is primarily from the flue-gas scrubber installed at the regional waste-incineration plant. Between the years 1990 and 1998, the discharge of tritium via the sewage plant was reduced from 42 to 8 TBq/annum. In 1998, the town's industries processed 200 TBq of ^3H [sections 4.2 and 9.1].

1.4. Soil

The soil is a good integrator for all deposits from the atmosphere. Soil samples continue to show marked regional differences in the natural radionuclides from the uranium and thorium decay series, which can be explained by geological differences, and also in the natural ^{40}K , following the application of potassium fertilisers.

Natural radionuclides in soil	^{40}K	U decay series	Th decay series
Range of values expressed in Bq/kg of dry matter	200 - 1000	25 - 60	15 - 40

The man-made radionuclides also display regional differences, caused by deposits from the atmospheric explosions of nuclear weapons in the 1960s 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 deposition of ^{137}Cs following the Chernobyl accident in May 1986, on the other hand, only lasted one-to-two weeks and, as far as long-lived radionuclides are concerned, it was basically confined to ^{137}Cs , whilst ^{90}Sr amount to only around 1% of the activity of the deposited Cs. The fallout Cs in the soil decreased with an effective half-life of around five years in the Swiss Mittelland and one of up to twenty years in the Alps. The Chernobyl contribution is much less evenly distributed than the contribution from the fallout resulting from nuclear-weapons tests, which tallies with the different quantities of precipitation during this period of time. The worst affected regions were the canton of Ticino (Tessin) and the southern valleys of Canton Graubünden (Grisons) and, to a lesser extent, the Jura and parts of north-eastern Switzerland too. The largest part of this man-made radioactivity is still to be found in the top 30 cm of soil and resulted in the following value ranges in 1998 [sections 4.3, 4.4 and 7.2]:

Man-made radionuclides in soil (0-5 cm) Range of values (Bq/kg dry matter)	¹³⁷Cs	⁹⁰Sr	^{239/240}Pu	²⁴¹Am
Unterland	10 - 54	0.9 - 4.3	0.08 - 0.9	0.04 - 0.11
Alps	50 - 166	12 - 23	1.2 - 2.8	0.2 - 1.0
Ticino and southern Graubünden	50 - 390	7 - 11	0.3 - 2.1	

No effect of emissions from the nuclear installations was found in the soil, with just one exception. At Mühleberg nuclear power station, there are still evident traces of ⁶⁰Co (< 2 Bq/kg); they are the result of an emission of radioactive resins through the waste air in 1986 [section 8.3].

1.5. Plants and foods

In samples of grass and foodstuffs, it was the naturally-occurring ⁴⁰K that dominated compared with the artificial radionuclides. With the exception of ¹⁴C, these traces do not originate from Swiss nuclear installations or research facilities. The essential component is ¹³⁷Cs, originally from the Chernobyl reactor accident and the atmospheric nuclear-weapons tests, that makes its way from the soil into the plants via their roots. The regional distribution mirrors that of the soil (see above). The somewhat higher ⁹⁰Sr values in the Alps and Canton Ticino confirm the assumption that these regions were also more seriously affected by fallout in the 1960s, with heavier precipitation than the Swiss Mittelland [sections 4.4 and 5.1].

Sample	Unit	Region	⁴⁰K	¹³⁷Cs	⁹⁰Sr
Grass	Bq/kg	North of Alps	200-1600	0.3-9	0.7 – 5
		Ticino and southern Graubünden		up to 62	7 – 28
		Alps			9-45
Milk	Bq/l	Swiss Unterland	50 (≈ 1.6 g K/l)	< 1	0.03 – 0.07
		Alps + and South of Alps + Ticino		up to 3.2	0.2 – 0.3
Cereals	Bq/kg	North of Alps	115	< 0.8	0.33
		Ticino			0.6 – 1.0

The ¹³⁷Cs content in imported venison has continued to decline gradually and in all the samples investigated was under the tolerance value of 600 Bq/kg. In around 90% of the samples, the ¹³⁷Cs level was under 100 Bq/kg. In the fungi growing on the northern side of the Alps one sample was found to be in excess of the tolerance value of 600 Bq ¹³⁷Cs/kg in terms of fresh weight. Two-thirds of all the fungi examined produced values of less than 100 Bq/kg relative to fresh weight. In the two species that are most severely contaminated with caesium – *Xerocomus badius* and *Rozites caperata* – a slight decline in activity can be detected. All samples taken from imported fungi were below the tolerance value with one exception, and 80% were below 100 Bq/kg, expressed in terms of fresh weight [section 5.1].

Fish – and especially seafood – have an increased content of natural ²¹⁰Po. This is been established both through samples taken on imports and measurements made in other

countries. The consumption of seafood does not, however, lead to any major radiation dose [section 5.2].

1.6. Carbon-14 in plants

Plants take up ^{14}C through the assimilation of CO_2 from the atmosphere during their growth phase. On top of the ^{14}C that is present in nature at a level of around 227 Bq/kg of carbon in plants comes the contribution from the nuclear-weapons tests. In the 1960s, this contribution was roughly equal to the natural one and today still stands at about 106 parts-per-thousand of it. In 1998, values up to 191 parts-per-thousand above the reference value were found in the leaves of trees near Leibstadt nuclear power station (for Gösigen: 92 parts-per-thousand). At the closed-down Saphir research reactor at the Paul Scherrer Institute (PSI) and near the future intermediate storage facility (ZWILAG), this extra activity is still about 47 parts-per-thousand [Section 7.1].

In the city of Basle, the new hazardous-waste incineration plant handles, *inter alia*, waste products from chemical research that contain ^{14}C . This leads to an increase of up to 171 parts-per-thousand compared with the reference value in samples taken from the leaves of trees growing in the near vicinity.

The level of naturally occurring ^{14}C in foodstuffs leads to an annual dose of 0.013 mSv. The increase measured in the vicinity of boiling-water reactors and in the city of Basle leads to an additional annual dose of a few thousands of mSv.

1.7. Radioactivity in the human body

Whole-body measurements and ^{90}Sr determinations in milk teeth and vertebrae are used to establish the actual uptake of radionuclides with food. Whole-body measurements performed on grammar schools students in Basle and Geneva showed no measurable ^{137}Cs activity, with a few exceptions. Whole-body measurements on workers employed by the Swiss Federal Railway who had been involved in the transportation of waste fuel elements from Swiss nuclear power stations did not produce any evidence of incorporation either [sections 6.1 and 6.2].

Radioactivity in the human body	Unit	Females	Males
^{40}K natural (whole body)	Bq	3300	4700
^{137}Cs (whole body)	Bq	< 25	< 25
^{90}Sr in milk teeth	Bq/g Ca	0.04	
^{90}Sr in vertebrae		0.03	

2. External radiation doses

2.1. Natural radiation

Nearly all of the external dose comes from cosmic and terrestrial radiation. The source of the latter is the natural radionuclides in the soil and building materials. Since ^{40}K and the nuclides from the uranium and thorium decay chains show very marked regional differences in their distribution in the soil, this also causes very different regional dose levels. Cosmic radiation increases with altitude, given that it is attenuated by the atmosphere:

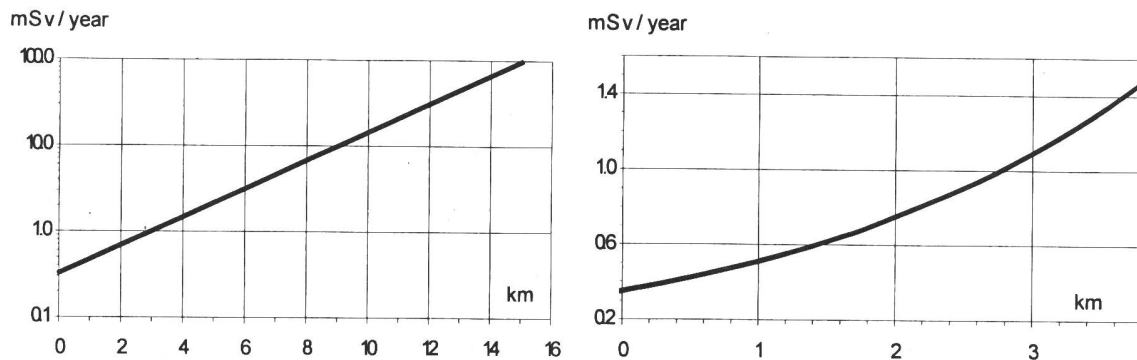


Abb. 1: Relationship between cosmic radiation in mSv/year and height above sea-level in km.

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 [section 3.4]. Part B of the Report includes an overview of the dose-rate measurements made throughout the country [sections 3.1 to 3.3].

2.2. Artificial radioactivity

The deposits from the Chernobyl reactor accident of April 1986 and the atmospheric nuclear-weapons tests of the 1960s today only account for a few percent of the external dose rate, the only exception being Canton Ticino, where this contribution still reaches 30% [sections 3.1 and 3.2].

There are a few places right next to the perimeter fences around the nuclear power stations, the PSI and CERN where values of a few hundred nSv/h occur at times as a result of direct radiation. In the accessible part of the immediate neighbourhood, the contribution is negligible, given the fact that people spend so little time in such locations [section 8.3]. The contamination that occurred in the past near Mühleberg nuclear power station (1.4) today causes a maximum of 3 nSv/h at a height of 1 m above the ground.

2.3. Aerial radiometry

Every year, a NaI gamma spectrometer mounted onboard a Swiss army Super-Puma helicopter is used to make aerial-radiometric measurements in the neighbourhood of the nuclear installations (in 1998: Beznau and Leibstadt) as well as in other regions of Switzerland (in 1998: Centovalli, Canton Ticino, Piz Givv and Valais). Increases in natural radioactivity

were detected in the form of ^{16}N radiation at the Leibstadt nuclear power station (which is only shielded laterally but not on top), at the Paul Scherrer Institute (PSI - the intermediate storage site for radioactive wastes), and the ^{137}Cs deposits from Chernobyl in the Centovalli as well as in the other regions (crystalline rock in Canton Valais and on Piz Giuv) [section 3.3].

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 by civilisation. Surveys carried out in Switzerland up until 1998 showed that the mean value was approximately 75 Bq/m^3 , although 50% of all measurements were below 40 Bq/m^3 , whilst 1-2% exceeded the guideline value of 400 Bq/m^3 and 0.3% were even in excess of the limit value of 1000 Bq/m^3 (2). It would appear very likely that this mean value overestimates the real situation, given that dwellings and regions with potentially higher radon levels were deliberately selected for the survey. We thus continue to work on the basis of the figure of 60 Bq/m^3 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 $3.17 \cdot 10^{-6} \text{ mSv per Bq/m}^3$ and per hour [cf. 1993 Annual Report, page B.2.3]. Allowance is made for the dose caused by the other naturally-occurring radioactive inert gas, ^{220}Rn , (for which no measurements are available in Switzerland) by adding an additional 10%. All of this results in a mean annual dose caused by radon of around 1.6 mSv. In around 10% of dwellings, the dose is five times that figure and in about 5% ten times. By way of comparison, spending a whole day in a cave with 5000 Bq/m^3 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 ^{40}K 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, ^{14}C , ^7Be , etc. The daily consumption of a litre of mineral water with $1 \text{ Bq/l } ^{226}\text{Ra}$ results in an additional dose of approximately 0.1 mSv/year.

Natural radionuclides in the soil also contribute to the external radiation dose. Their contribution depends very much on the local radionuclide content of the soil, on the height above sea-level and on people's living habits. Dosimeters can do no more than determine the sum of the natural and man-made components. It is only possible to break this down into the individual components by using in-situ gamma spectroscopy. The natural terrestrial radiation dose outdoors lies within the range of 0.35 and approximately 0.8 mSv/year in the inhabited regions of Switzerland. The contribution of the natural radionuclides in building materials to the radiation dose inside buildings is determined using gamma spectrometric measurements. It is essential to consider both the natural and the man-made components. Measurements made so far have shown that in Switzerland the dose inside dwellings is around 10% higher than outdoors.

For the **Swiss population** the overall annual dose from **natural sources** thus stands at around 3 mSv and is made up as follows:

Annual dose in mSv from natural radiation sources	Mean	Range of values
External irradiation (terrestrial and cosmic)	0.9 ¹⁾	0.5 - 2.0
Radionuclides ingested with food	0.4 ²⁾	0.2 - 0.5
Radon and its decay products in the home	1.6	from 0.3 to more than 20 ³⁾
Total	3	from 1 to more than 20

- 1) Of which 0.35 mSv/year is from cosmic radiation at an altitude of 300 m. A single flight between Switzerland and North America adds 0.04–0.09 mSv; airline crews and frequent fliers receive an additional 2-5 mSv/year.
- 2) This can be further broken down into the following (unit = 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.
- 3) Greater than 20 mSv/year in 2% of the dwellings investigated.

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 show doses for 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.

In aggregate terms, the radiation dose for the majority of people living in Switzerland from **man-made radioactivity** is in the range of 0.01-0.05 mSv per year, reaching 0.1 mSv per year in individual cases. This figure, however, does not include radon, medicine and minor sources.

Annual dose in mSv from man-made radiation sources		Mean	Range of values
Medicine	X-ray diagnosis ¹⁾	1	0 - 30
	Nuclear medicine ²⁾	0.04	0 - 80
"Minor sources"	Utilitarian objects and consumer goods with radioactive substances ³⁾	0.1	0 - ?
Man-made radiation distributed on a large scale	Chernobyl	0.01	up to 0.5
	Nuclear-weapons fallout	< 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	60 683 individuals exposed to radiation on account of their occupation ⁴⁾	0.11	< 20 ⁵⁾ (< 1 for 97%)

Examples

¹³⁷ Cs in milk	1 litre/day with 20 Bq/l	0.1
¹³⁷ Cs in wild fungi	200 g/week with 600 Bq/kg	0.09
¹⁴ C in vegetables	200 g/day grown near to a waste incinerator ⁶⁾	0.002
³ H in rain water (used as drinking water)	2.2 litres/day from the neighbourhood of a tritium-processing industry	0.01
Direct radiation in the neighbourhood of a nuclear power station	An hour a day at the perimeter fence of Leibstadt nuclear power station ('KKL')	0.1

- 1) Figures from the 1978 survey; a new investigation has been launched.
- 2) Figures from the 1989/90 survey.
- 3) For instance, clocks or watches with fluorescent numbers based on tritium, natural radionuclides in tiles, Th in fluorescent tights or dental ceramics, ionising smoke alarms, ²¹⁰Po in cigarette smoke, etc.
- 4) In nuclear power stations, medicine, research, industry and public services.
- 5) With one exceptional value between 20 and 50
- 6) Basle's municipal hazardous-waste incineration plant.

For further information:

Telephone: +41 26 300 9161

Fax: +41 26 300 9743

e-mail: hansruedi.voelkle@bag.admin.ch

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 or gamma quanta. Natural radioactive substances have always been part of 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. Various prefixes are used to indicate powers of these units and their significance is explained in the Table at the foot of the page¹⁾. In the past, a unit called "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 facts 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** (*Strahlenschutzverordnung, StSV*) 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 (*Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe, FIV*). 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 to 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.

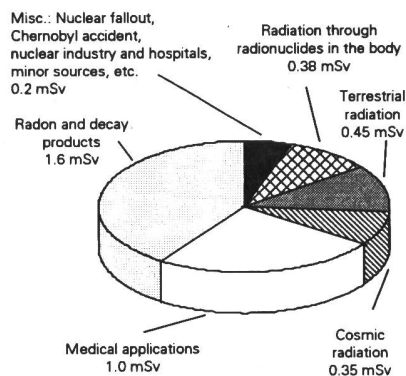


Fig. 2: Mean contributions to radiation exposure (Overall dose: 4 mSv/year)

¹⁾ Prefixes

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