

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: - (1995)

Rubrik: Umweltradioaktivität und Strahlendosen 1995 : Überblick = Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements 1995 : sommaire = Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione nel 1995 : riassunto = Report on environmental radioactivity and radiation doses 1995 : 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 1995 : Überblick	A.1
Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements 1995: sommaire	A.11
Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione nel 1995: riassunto	A.22
Report on Environmental Radioactivity and Radiation Doses 1995: Summary	A.32

A

Umweltradioaktivität und Strahlendosen 1995 : Überblick

H. Völkle

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

Zusammenfassung

Die Radioaktivität von Umwelt und Lebensmitteln wird in der Schweiz seit 40 Jahren systematisch überwacht. Dieser Bericht enthält die Ergebnisse der Messungen von 1995 und die daraus resultierenden Strahlendosen der Bevölkerung. Überwacht werden Luft, Niederschläge, Gewässer, Boden, Gras, Lebensmittel und der menschliche Körper, aber auch die natürliche Strahlung, der Radon-Gehalt im Hausinnern, die Emissionen aus Kernanlagen und Betrieben, die Radionuklide verwenden, und die übrigen Strahlenquellen. Kernkraftwerke und Betriebe, die über eine Bewilligung für den Umgang mit radioaktiven Stoffen verfügen, haben 1995 ihre Jahresabgabelimite eingehalten und die Messungen in der Umwelt ergaben keine unzulässigen Immissions- oder Dosiswerte. Die durchschnittliche Strahlendosis der Bevölkerung beträgt insgesamt 4 mSv pro Jahr, wovon 40 Prozent auf Radon im Hausinnern (Extremwerte bis 100 mSv) entfallen, 30 Prozent auf die natürliche Strahlung, ein Viertel auf medizinische Anwendungen von Strahlung und weniger als 5 Prozent auf die künstliche Radioaktivität.

1. Einleitung

Radioaktivität und ionisierende Strahlung sind seit jeher in unserer Umwelt vorhanden. Ihre natürlichen Ursachen sind die kosmische Strahlung und die natürliche Radioaktivität der Erdkruste. Auch Luft, Erdboden, Gewässer, Pflanzen und der menschliche Körper enthalten natürliche Radionuklide. Die Anwendung der Kernspaltung in Atombomben und Kernreaktoren erzeugt künstliche Radionuklide, die in die Umwelt gelangen können. Im weiteren werden Radioisotope auch in Forschung, Industrie und Medizin angewendet.

Die Strahlenschutzverordnung (StSV) begrenzt die jährlichen Dosen für beruflich strahlenexponierte Personen auf 20 mSv, jene der übrigen Bevölkerung durch radioaktive Immissionen in der Umwelt - mit Ausnahme medizinischer Anwendungen und natürlicher Strahlung - auf 1 mSv. In der Verordnung werden auch Immissionsgrenzwerte für Luft, Wasser und Ortsdosen im öffentlich zugänglichen Bereich, Toleranz- und Grenzwerte für Radionuklide in Lebensmitteln, sowie Grenz- und Richtwerte für Radon im Wohn- und Arbeitsbereich festgelegt.

2. Umweltradioaktivität

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über die Ergebnisse der Überwachung.

2.1. Luft und Niederschläge

In der Luft sind beim Caesium-137 immer noch Spuren bis einige micro-Bq pro m³ von den Kernwaffenversuchen und vom Reaktorunfall in Tschernobyl nachweisbar. Andere künstliche Radionuklide weisen noch tiefere Konzentrationen auf, z.B. Plutonium-239 weniger als 0.002 micro-Bq pro m³. Die radioaktiven Edelgase Krypton-85 und Argon-37 haben Konzentrationen von 1 - 2 Bq pro m³ resp. 0.7 - 4 mBq pro m³. Das erstere ist ein Indikator für die Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoff und steigt seit Mitte der 70er-Jahren langsam an, das letztere wird bei unterirdischen Kernwaffenversuchen freigesetzt. Nebst den künstlichen enthält die Luft auch Radionuklide natürlichen Ursprungs. Es sind dies die Radon-Folgeprodukte (0.5 - 20 Bq pro m³), inklusive Blei-210 (0.2 - 5 mBq pro m³) und Polonium-210, aber auch Beryllium-7 (1 - 8 mBq pro m³) sowie Tritium und Kohlenstoff-14. Die zwei letztgenannten werden hauptsächlich durch die kosmische Strahlung, in geringem Ausmass auch durch menschliche Tätigkeiten erzeugt.

Beim Kohlenstoff-14 liegt die Konzentration in der Biosphäre infolge der Kernwaffenversuche gegenwärtig noch um etwa 12 Prozent über dem natürlichen Pegel.

In den Niederschlägen sind - ausser dem natürlichen Beryllium-7 und Tritium - keine künstlichen Radionuklide mehr nachweisbar. Der Tritiumgehalt, der in den 60er-Jahren bei den Kernwaffenversuchen auf einige Hundert Bq pro Liter angestiegen war, hat seither stetig abgenommen. In den von lokalen Emittenten unbeeinflussten Regionen beträgt er heute noch 1.4 - 2 Bq pro Liter, in der Nahumgebung von Tritium-verarbeitenden Industriebetrieben bis einige Tausend Bq pro Liter.

2.2. Gewässer

In den kontinuierlich gesammelten Flusswasserproben sind - ausser Tritium mit < 1 bis 10 Bq pro Liter (Ausnahme: Doubs, s.u.) - künstliche Radionuklide mit den üblichen Messverfahren meist nicht mehr nachweisbar, z.B. für Caesium-137 unter 0.02 Bq pro Liter. Der Tritiumgehalt zeigt teilweise anthropogene Einflüsse z.B. aus der Tritium-verarbeitenden Industrie und von den Kernanlagen, dies besonders in kleineren Gewässern in der Nahumgebung von Leuchtfarbenbetrieben mit bis zu 100 Bq pro Liter. Beispielsweise wurde im Doubs bei St. Ursanne /JU bis 30 Bq/l gemessen. Auch Sickerwässer von Deponien, auf denen früher Tritium-haltige Abfälle beseitigt wurden, weisen teilweise noch erhöhte Tritium-Konzentrationen auf. In Sedimenten aus Flüssen und Seen sind Caesium-Beiträge nachweisbar, vorwiegend vom Reaktorunfall Tschernobyl, unterhalb der Kernanlagen auch solche aus deren flüssigen Abgaben; im Klärschlamm Jod-131 aus den Spitälern. Wasserpflanzen erweisen sich als gute Indikatoren für Radioaktivitätsemissionen aus den Kernanlagen. Die Caesium-137-Konzentration im Luganersee als Folge des Reaktorunfalles Tschernobyl war auch 1995 mit 0.003 bis 0.034 Bq pro Liter immer noch höher als im Bodensee. In der Nähe des Seegrundes sind die Werte um etwa eine Grössenordnung höher als an der Oberfläche, was auf Rücklösung aus dem Sediment bzw. Aufkonzentrierung im Seewasser hindeutet. In den Zuflüssen liegt die Caesium-137-Konzentration bei 0.004 Bq pro Liter. In Sedimentborkernen sind deutlich die Ablagerungsmaxima des Kernwaffenausfalles (1958 und 1963) und von Tschernobyl (1986) zu erkennen (siehe Kap. B.3.9.).

2.3. Erboden und Bewuchs

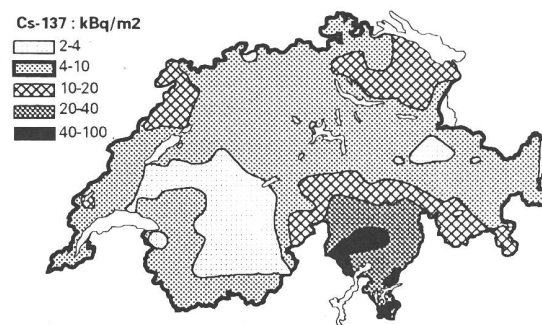


Fig. 1: Caesium-137-Belegung des Bodens in der Schweiz durch den Reaktorunfall Tschernobyl, berechnet aus den in-situ-Messungen, (vgl. Europäische Caesium-Karte, herausgegeben von der Europäische Kommission, Luxemburg, Juli 1996)

Natürliche Radionuklide wie das langlebige Kalium-40 und die Isotope der natürlichen Zerfallsreihen von Uran und Thorium sind im Erdboden seit jeher vorhanden. Auch in den Pflanzen findet man Kalium-40, das von diesen über die Wurzeln aufgenommen wird. Das langlebige Blei-210 wird dagegen hauptsächlich aus der Luft auf den Pflanzen abgelagert. Bei den künstlichen Radionukliden im Erdboden und Gras dominieren Strontium-90 und Caesium-137. Beim ersteren ist es der Beitrag der Kernwaffenversuche, beim letzteren ist das Muster der Tschernobyl-Ablagerungen immer noch erkennbar. Das auf dem Erdboden abgelagerte Caesium zerfällt und dringt auf Naturböden allmählich in tiefere Erdschichten ein. Die Cs-137-Ablagerungen in kBq pro m² in der Schweiz liegen für den Reaktorunfall Tschernobyl bei landwirtschaftlich genutzten Böden bei 10 bis über 40 im Tessin, 5 - 20 in den Alpen und der Ostschweiz und unter 10 in der übrigen Schweiz (Fig. 1), für den Atombombenausfall bei 2 - 8 in den Alpen und bei 2 - 4 in der übrigen Schweiz. Auf Waldböden verweilt das Caesium länger in der obersten, hauptsächlich organischen Erdschicht; deshalb sind dort teilweise die Ortsdosen höher und es treten in Wildpilzen erhöhte Caesium-Werte auf. Die höchsten Werte in Waldböden wurden im Tessin gefunden mit knapp 50 kBq Caesium-137 pro m² und einem Aktivitätsmaximum in 2 bis 5 cm Tiefe (siehe Kap. B.3.13.).

Tabelle 1: Übersicht: Radionuklide in Erde und Gras

Isotop	Erde: Bq/kg		Gras: Bq/kg trocken	
K-40	150-900		450 - 2500	
Ra-226 ¹⁾	20-100		---	
Ac-228 ²⁾	10-50		---	
	Alpen, TI	übrige Schweiz	Alpen, TI	übrige Schweiz
Cs-137	30 - 400	10 - 90	< 40 ³⁾	<10
Cs-134	< 20	< 5	< 10	< 5
Sr-90	5 - 30	0.3 - 5	4 - 40	1 - 10
Pu-239	0.2-2	0.2-2	---	---

1) Vertreter für die Uran-Reihe; 2) Vertreter für die Thorium-Reihe; 3) Ausnahme: Intragna: 250 Bq/kg T.S.

2.4. Lebensmittel

Überwacht wird die Radioaktivität der Lebensmittel in Zusammenarbeit mit den kantonalen Laboratorien, diese sind gemäss Strahlenschutzverordnung zuständig für die Kontrolle der Einhaltung der Toleranz- und Grenzwerte in Lebensmitteln (siehe Kap. B.3.10.). Auch in den Lebensmitteln pflanzlicher und tierischer Herkunft dominiert das natürliche Kalium-40, das 0.12 Promille des gesamten Kaliums ausmacht. In der Milch beträgt sein Gehalt rund 50 Bq pro Liter, beim Getreide etwa 100 Bq pro kg. Der Caesium-137-Gehalt in der Milch lag 1995 auf der Alpennordseite unter 0.17 Bq pro Liter, in den Alpen unter 0.5 während im Tessin und in den Bündner Südtälern immer noch vereinzelt Werte bis 17 Bq pro Liter auftraten. Beim Strontium-90 lagen die Werte auf der Alpennordseite unter 0.14 und in den Alpen und im Tessin unter 0.5 Bq pro Liter. Getreide wies einen Cs-137-Gehalt von weniger als 0.6 Bq pro kg auf, jener des Strontium-90 lag zwischen 0.2 und 0.5 Bq pro kg. Beim Wildfleisch und Wildpilzen treten als Folge des Tschernobyl-Unfalles teilweise noch erhöhte Caesium-Werte auf. Bei Stichproben von importiertem und einheimischem Wild lag die Cs-137-Aktivität 1995 unter dem Toleranzwert von 600 Bq pro kg. Einheimische Wildpilzen zeigten bei gewissen Sorten immer noch vereinzelt Caesium-137-Werte bis 1200 Bq pro kg Frischgewicht auf der Alpennordseite bzw. bis 5500 Bq pro kg im Tessin und ein eindeutiger Rückgang ist noch nicht zu erkennen. In Anbetracht der geringen Konsummengen von Wildfleisch und -Pilzen sind die daraus resultierenden Strahlendosen unbedeutend. Unter-

suchungen durch das Kantonale Labor Aargau bei einer Serie der häufigsten importierten Mineralwässer ergab bei den natürlichen, Alpha-strahlenden Radionukliden keine Überschreitung des FIV-Grenzwertes von 1 Bq pro Liter, so dass bei dieser Serie keine Massnahme erforderlich war (siehe Kap. B.3.8.). Ein anderes, importiertes Mineralwasser aus Portugal, das vom Kantonslabor Neuenburg zur Analyse erhoben wurde, musste wegen seinem Gesamtgehalt an natürlichen Alpha-Strahlern von 2.5 Bq pro Liter aus dem Verkehr gezogen werden. Diese Untersuchungen an Mineral- und Trinkwässern werden weitergeführt.

2.5. Radon in Häusern

Radon dringt als Zerfallsprodukt des im Erdboden vorhandenen natürlichen Radium hauptsächlich vom Bauuntergrund her in das Hausinnere ein, wo es sich anreichert. Beim Einatmen führen seine Folgeprodukte zu einer Lungenbestrahlung und damit zu einem erhöhten Lungenkrebsrisiko. Gemäss der Strahlenschutzverordnung gilt für Radon in Wohn- und Aufenthaltsräumen ein Grenzwert von 1000 Bq pro m³, im Arbeitsbereich 3000 Bq pro m³, bei Neu- und Umbauten ein Richtwert von 400 Bq pro m³. Der Vollzug dieser seit 1994 gültigen Vorschriften, insbesondere auch im Bezug auf Erhebungen und Kartierungen, Sanierungsverfügungen und entsprechende Bauvorschriften, liegt bei den Kantonen mit denen sich auf diesem Gebiet eine sehr enge Zusammenarbeit ergeben hat. Das BAG betreibt eine *Fach- und Informationsstelle Radon* (Siehe Kap. B.2.).

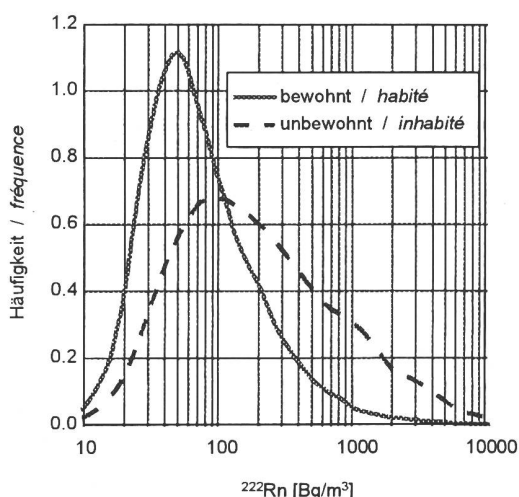


Fig. 2: Häufigkeitsverteilung der Radonkonzentration in Schweizer Häusern

Die bisherigen Radon-Erhebungen in rund 9000 Häusern in der ganzen Schweiz ergeben für die Wohnräume einen Medianwert von etwa 60 Bq pro m^3 (Fig. 2). In 1 - 2 Prozent, d.h. in einigen Tausend aller Wohnhäuser in der Schweiz, ist der Grenzwert von 1000 Bq pro m^3 überschritten, in 94 Prozent der Häuser liegt die Konzentration unter dem Richtwert von 400 Bq pro m^3 . Die Verteilung der Daten ist nicht ganz repräsentativ, da Einfamilienhäuser übervertreten sind, die meisten Messungen während der Heizperiode durchgeführt wurden und Regionen, wo höhere Radon-Pegel vermutet werden, übervertreten sind. Beim Radon kommt als Quelle in erster Linie der Erdboden in Frage; Baustoffe und Trinkwasser spielen eine untergeordnete Rolle. Hauptparameter sind der Radiumgehalt des Bauuntergrundes und vor allem die Gaspermeabilität des letzteren, sowie Undichtheiten von Böden und Wänden in den Untergeschossen der Gebäude. Wichtig ist auch der Kamineffekt durch die im Hausinnern aufsteigende warme Luft. Dadurch wird das Radon aus dem Bauuntergrund angesaugt. Die Konzentrationen sind in der Regel im Keller am höchsten und nehmen mit zunehmendem Stockwerk ab. Ältere Gebäude haben oft höhere Werte als neuere, ebenso Einfamilien- und Bauernhäuser im Vergleich zu Mehrfamilienhäusern. Eine gut gegossene Betonplatte als Gebäudefundament vermag häufig das Eintreten von Radon zu hemmen. Die Radongaskonzentration kann in benachbarten Häusern sehr unterschiedlich hoch sein; es wurden schon Unterschiede von einem

Faktor 100 beobachtet. Ein zuverlässiger Wert für den Radongehalt im Hausinnern kann allerdings nur durch Messungen bestimmt werden; eine Prognose allein aufgrund geologischer Parameter des Bauuntergrundes ist zu unsicher. Ebenso lässt sich das Radonpotential einer Region allein auf der Basis geologischer Kriterien zu wenig sicher bestimmen und die in einer Gegend scheinbar geltenden «Regeln» lassen sich nicht ohne weiteres auf andere Gebiete übertragen. Bei zu hohen Radonwerten kann das Eindringen des Radons in die Gebäude durch bauliche Massnahmen, z.B. Abdichten der Kellerböden und -wände in Verbindung mit einer Zwangsbelüftung von Unterboden- und Kellerräume, reduziert werden. Abdichtungen der Gebäudehülle zur Einsparung von Heizenergie führen jedoch nicht notwendigerweise zu erhöhten Radonpegeln im Hausinnern.

2.6. Menschlicher Körper

Über die Nahrung gelangt die Radioaktivität auch in den menschlichen Körper. Auch hier dominieren die natürlichen Radionuklide. So enthält der Körper eines Erwachsenen rund 100 g Kalium bei den Frauen, bzw. 150 g bei den Männern. Dies entspricht einer Kalium-40-Aktivität von 3000 bzw. 4500 Bq. Kalium befindet sich vor allem im Muskelgewebe, weshalb sein Gehalt beim Mann grösser ist als bei der Frau. Als Endkontrolle der Überwachung werden auch die künstlichen Radionuklide im menschlichen Körper gemessen, Strontium-90 in Milchzähnen und Wirbelknochen und Caesium-137 im Körper von Berufstätigen und Schülern. Strontium verhält sich physiologisch ähnlich wie Calcium, Caesium dagegen wie Kalium; die ersteren zwei gehen somit vor allem in Knochen und Zähnen, die beiden letzteren vor allem in das Muskelgewebe. In Milchzähnen bzw. Wirbelknochen lag die mittlere Strontium-90-Aktivität - sie wird auf den Calciumgehalt bezogen - bei 0.044 bzw. 0.020 Bq pro g Ca. Die Caesium-137-Messwerte von Gymnasiasten aus Genf und Basel lagen 1995 unter 10 bzw. unter 40 Bq (siehe Kap. B.3.14.).

3. Strahlendosen

Die Radioaktivität führt auf zwei Arten zu einer Strahlenexposition: eine externe Bestrahlung, d.h. von aussen, durch die Radioaktivität in Luft, Boden, Baustoffen etc. und einer interne Bestrahlung, d.h. von innen, durch über Atemluft und Nahrung in den Körper gelangen Radionuklide. Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über die Strahlendosen.

3.1. Externe Bestrahlung: Überwachung der Ortsdosen

Etwa die Hälfte der natürlichen, externen Ortsdosis im Freien - im schweizerischen Mittel 0.4 mSv pro Jahr - stammt von der terrestrischen Radioaktivität. Der Rest kommt von der kosmischen Strahlung die mit zunehmender Höhe ü. Meer ansteigt: Am Luganersee beträgt sie beispielsweise 0.35, in St. Moritz bereits 0.65 mSv pro Jahr. Die Ortsdosen im Freien werden durch das automatische NADAM-Netz und weitere Messungen überwacht (siehe Kap. B.3.4.). Der Tschernobyl-Beitrag zur Ortsdosis hat in den letzten Jahren stetig abgenommen, da das Cäsium-137 zerfällt und in tiefere Erdschichten eindringt. Im Hausinnern wird die externe Strahlendosis gegenüber derjenigen im Freien durch die Hauswände zwar geschwächt, andererseits kommt ein Beitrag durch die Radionuklide in Baumaterialien hinzu. Gesamthaft überwiegt meist der letztere, sodass die Strahlenexposition im Durchschnitt im Hausinnern etwa 20 Prozent höher ist als im Freien. Bei einer Aufenthaltszeit in Gebäuden von 80 Prozent ergibt sich im Durchschnitt für die Schweizer Bevölkerung eine externe Strahlenexposition von rund 0.8 mSv pro Jahr.

Das bei der Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoff in die Umwelt gelangende langlebige Edelgas Krypton-85 breitet sich weltweit aus und steigt langsam an. Es verursacht eine externe Bestrahlung der Haut und führt zu einer Effektiven Dosis von 0.000'01 mSv pro Jahr.

Die Ortsdosen im Freien liegen in der Schweiz insgesamt zwischen 0.7 bis 1.7 mSv pro Jahr. Davon entfallen auf den natürlichen Anteil, nämlich die kosmische Strahlung 0.32 bis 0.7, auf Kalium-40 zwischen 0.02 und 0.4, auf die Nuklide der Uran-Zerfallsreihe 0.02 bis 0.55 und auf jene der Thorium-Zerfallsreihe 0.02 bis 0.38 mSv pro Jahr. Die künstlichen stammen fast vollständig vom

Cesium-137. Etwa 0.02 vom Kernwaffenausfall und der Rest vom Unfall Tschernobyl, nämlich 0.1 bis 0.6 im Tessin, 0.02 bis 0.4 in den Alpen und 0.01 bis 0.1 in der übrigen Schweiz.

3.2. Interne Bestrahlung durch Radionuklide im menschlichen Körper

Von der natürlichen internen Dosis von 0.36 mSv pro Jahr kommt der Hauptbeitrag von Kalium-40 und Polonium-210 mit 0.18 bzw. 0.12 mSv pro Jahr. Die durch die kosmische Strahlung erzeugten Radionuklide Kohlenstoff-14, Beryllium-7, Natrium-22 und Tritium (H-3) ergeben zusammen rund 0.015 mSv pro Jahr. Die Nuklide der natürlichen Uran- und Thorium-Zerfallsreihen in der Erdkruste liefern weitere 0.04, das langlebigen Rubidium-87 etwa 0.006 mSv pro Jahr. Der regelmässige Konsum von Mineralwässern mit natürlichen Alpha-Strahlen mit Konzentrationen im Bereich von einem Bq pro Liter erhöht die jährliche Dosis um höchstens einige Hundertstel mSv. Radon und Folgeprodukte verursachen im Mittel 1.6 mSv pro Jahr, also fast die Hälfte der durchschnittlichen Strahlenexposition der Bevölkerung, wobei Extremwerte bis 100 mSv pro Jahr auftreten. Dessen radioaktiven Folgeprodukte führen beim Einatmen zu einer Lungenbestrahlung und erhöhen damit das Lungenkrebsrisiko. Von den gesamthaft in der Schweiz auftretenden Lungenkrebsfällen sind einige Prozent dem Radon zuzuschreiben. Gemäss WHO sollte ein Lungenkrebsrisiko durch Radon im Wohnbereich von mehr als 1 Fall pro Tausend Einwohner und Jahr vermieden werden, dies entspricht gerade dem gemäss Strahlenschutzverordnung gültigen Grenzwert von 1000 Bq pro m³.

Der Beitrag durch künstliche Radionuklide im Körper - hauptsächlich von den Kernwaffenversuchen und vom Reaktorunfall in Tschernobyl - liegt heute für Personen mit durchschnittlichen Ernährungsgewohnheiten bei etwa 0.006 mSv pro Jahr. Hiervon kommt mit je 0.002 bis 0.003 mSv pro Jahr der grösste Teil von Cäsium-137 und Strontium-90, während der anthropogene Anteil bei Kohlenstoff-14 und Tritium heute noch weniger als 0.002 bzw. 0.000'05 mSv pro Jahr ausmacht. Plutonium-239 verursacht etwa 0.000'03 mSv pro Jahr. Die übrigen künstlichen Radionuklide führen zu vernachlässigbar kleinen internen Strahlendosen.

4. Spezielle Überwachung: Kernanlagen, Betriebe und Spitäler

Aus Kernanlagen und Betrieben, die radioaktive Stoffe erzeugen bzw. verarbeiten können Radionuklide über Abluft und Abwasser in die Umwelt gelangen, weshalb eine Bilanzierung der Emissionen und eine Umgebungsüberwachung notwendig ist. In diesem Kapitel sind die Ergebnisse dieser Überwachung zusammengestellt.

4.1. Kernanlagen (siehe Kap. B.4.)

Bei der Umgebungsüberwachung der Kernanlagen arbeiten die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), das Bundesamt für Gesundheitswesen (BAG/SUER) und weitere kantonale und Bundesstellen eng zusammen. Die Messungen erfassen - nebst den Ortsdosen - die Radioaktivität in Luft, Niederschlägen, Boden, Gras, Getreide, Milch und weiteren landwirtschaftlichen Produkten, sowie Fluss- und Grundwasser, Fische, Wasserpflanzen und Sedimente, ergänzt durch in-situ-Messungen, Aeroradiometrieflüge und Kohlenstoff-14-Bestimmungen an Baumblättern. Die Ortsdosen in der Umgebung der Kernkraftwerke werden durch ein automatische Überwachungsnetz (MADUK) mit je 12 bis 18 Stationen erfasst. Im Berichtsjahr wurden bei der Umgebungsüberwachung der Kernkraftwerke und des Paul-Scherrer-Institutes in Villigen/AG keine Überschreitungen der Richtwerte festgestellt. Geringfügige Einflüsse der Kernanlagen zeigen sich lediglich bei der Direktstrahlung im Nahbereich von Siedewasserreaktoren sowie in Sedimenten und Wasserpflanzen der Flüsse unterhalb der Anlagen. Auch beim Kohlenstoff-14 ist in der Nahumgebung eine Erhöhung um bis 10 Prozent gegenüber dem weltweiten Pegel messbar. In der Umgebung des PSI ist die Erhöhung des Kohlenstoff-14-Pegels seit der Stilllegung des Forschungsreaktors SAPHIR deutlich zurückgegangen und liegt heute unter 15 Prozent. Die Auswirkungen der Radioaktivitäts-Emissionen aus Schweizer Kernanlagen bei Normalbetrieb auf die Umwelt sind unbedeutend und die daraus resultierenden Strahlendosen der Bevölkerung liegen deutlich unter der Limite von 0.2 mSv pro Jahr.

In den letzten Jahren wurde von der EAWAG im Auftrag der HSK die Ausbreitung der mit dem Abwasser aus den Kernkraftwerken abgegebenen

Radionuklide in den Flüssen und der Übergang in die Sedimente untersucht. Die Ergebnisse erlauben eine bessere Modellierung der Transportvorgänge im aquatischen Milieu und führten auch zu einer Anpassung des Umgebungsüberwachungsprogrammes, insbesondere bei den Probenahme- und Messverfahren (siehe Kap. B.3.7.).

Das ehemalige Versuchsatomkraftwerk Lucens/VD wurde nach vollständiger Demontage der Anlage und Verfüllung der Kaverne mit Beton 1995 bis auf eine kleine Parzelle aus der Atomgesetzgebung entlassen und dem Kanton Waadt zur Nutzung übergeben. Die Anlage Lucens wurde 1969 nach einem schweren Zwischenfall, der glücklicherweise keine Auswirkungen auf die Umwelt hatte, stillgelegt. Im Auftrag des BAG werden die austretenden Sickerwässer während den nächsten 30 Jahren regelmässig auf Radioaktivität untersucht.

Die Abgabelimiten für die Kernkraftwerke Beznau (KKB), Gösgen-Däniken (KKG), Leibstadt (KKL), Mühleberg (KKM) und das Paul-Scherrer-Institut (PSI) sind in der Betriebsbewilligung so festgelegt, dass die Dosis für Personen der Umgebungsbevölkerung nicht mehr als 0.2 mSv pro Jahr betragen kann. Die Betriebe sind verpflichtet, ihre Radioaktivitätsemissionen über Abluft und Abwasser an die Umwelt laufend zu überwachen und zu bilanzieren. Die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) als Aufsichtsbehörde kontrolliert diese Daten durch eigene Messungen und berechnet die für die Umgebungsbevölkerung resultierenden maximalen Strahlendosen. 1995 haben die Kernkraftwerke und das Paul-Scherrer-Institut ihre Abgabegrenzwerte eingehalten. Die für die ungünstigsten Annahmen berechneten maximalen Strahlenexposition für Erwachsene und Kleinkinder in der Nahumgebung betrugen 1995 0.010 mSv beim KKW Mühleberg, 0.004 mSv beim KKW Leibstadt, 0.002 mSv bei den KKW's Gösgen-Däniken und Beznau und 0.006 mSv beim Paul-Scherrer-Institut in Villigen. Bei den Kernkraftwerken kommt anteilmässig der grösste Dosisbeitrag von den Kohlenstoff-14-Abgaben.

4.2. Industrielle Betriebe und Spitäler (siehe Kap. B.5.)

Der Umgang mit radioaktiven Stoffen in Betrieben, Spitälern und der Forschung erfordert eine Bewilligung des Bundes. Die Aufsicht erfolgt durch das

Bundesamt für Gesundheitswesen bei Medizin, Forschung und Lehre, bzw. durch die Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (SUVA) bei Industrie, Handel, Gewerbe, analytischen Labors sowie in Betrieben der öffentlichen Verwaltung. Bei Betrieben, die grössere Mengen verarbeiten, kann eine Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe sowie eine Umgebungsüberwachung vorgeschrieben werden. Solche Messungen werden u.a. bei Tritium-verarbeitenden Industriebetrieben in Teufen/AR und Niederwangen/BE und bei Leuchtfarbenetzereien in der Region La Chaux-de-Fonds durchgeführt.

Die Industriebetriebe, die zuhanden der SUVA eine Abgabebilanz erstellen müssen, haben 1995 die in den Bewilligungen festgelegten Limiten für die Abgabe radioaktiver Stoffe an die Umwelt eingehalten. Die Umgebungsüberwachung ergibt zwar in Niederschlägen und Oberflächengewässer wie schon früher Tritium-Konzentrationen bis einige Tausend Bq pro Liter, die Immissionsgrenzwerte der Strahlenschutzverordnung wurden jedoch nicht überschritten und es ergeben sich keine unzulässigen Strahlendosen bei der Bevölkerung. Der Tritiumabfluss der Region La Chaux-de-Fonds betrug 1995 aufgrund der Messungen am Ausfluss der Kläranlage rund 15 TBq. Die Tritium-Emissionen dieser Betriebe führen bei der Bevölkerung in der Umgebung - wie früheren Urinuntersuchungen in Teufen/AR und Niederwangen/BE bestätigten - zu zusätzlichen Dosen von höchstens 0.03 mSv pro Jahr.

Die Radioaktivitäts-Abgaben über die Kläranlagen der grösseren Städte Zürich, Basel, Bern, Lausanne

und Genf werden durch regelmässige Sammelproben überwacht. In deren Abwasser und z.T. auch im Klärschlamm wird im wesentlichen das bei Schilddrüsenbehandlungen in Spitälern verwendete Jod-131 und Tritium aus der Kehrriechverbrennung und industriellen Anwendungen nachgewiesen. Am Ausfluss der ARA Bern wurden 1995 keine erhöhten Jod-131-Werte mehr festgestellt und die Messwerte der Wochenproben lagen häufig unter der Messgrenze. Der Jod-131-Abfluss der ARA Bern betrug 1995 etwa 15 - 25 GBq, jener für Tritium etwa 0.5 TBq. In der Aare unterhalb Bern betrugen die wöchentlichen Tritiumwerte 2.2 bis 7.5 Bq pro Liter mit einem Jahresmittel von 3.2 Bq pro Liter. Da in allen genannten Fällen das Abwasser der Betriebe bzw. der Kläranlagen nicht unaufbereitet getrunken, sondern durch Einleiten in Flüsse stark verdünnt wird, sind die Strahlendosen bei der Bevölkerung vernachlässigbar klein. In der Umgebung der überwachten Betriebe wurden keine gemäss Strahlenschutzverordnung unzulässigen Immissionen festgestellt.

Beim Kohlenstoff-14 in Baumblättern aus der Umgebung des "alten" (abgebrochenen) Verbrennungsofens der CIBA in Basel ist ein markanter Rückgang der Erhöhung von 40 Prozent auf 10 Prozent feststellbar, weil die Emissionen seit Juli 1994 unterbrochen sind. Bei Proben aus der Nähe des SANDOZ-Areals, die 1994 Erhöhungen von weniger als 10 Prozent gezeigt hatten, ergab sich 1995 keine Veränderung.

Tabelle 2: Überwachung der Kläranlagen (Wochenproben)

ARA	Bq/l J-131	Bq/l Tritium	Ausnahmen
Zürich	≤ 1	≤ 10	--
Basel	$\leq 0.1 - 1$	≤ 20	4 Proben bis 60 Bq/l
Bern	$\leq 0.5 - 2$	9 - 20	--
Lausanne	$\leq 0.6 - 0.9$	2 - 8	--
Genf	≤ 0.5	≤ 20	5 Proben bis 144 Bq/l

5. Strahlendosen der Bevölkerung (siehe Tabelle 3)

Die jährliche Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung beträgt im Mittel gesamthaft etwa 4 mSv. Davon entfallen etwa 40 Prozent auf Radon und seine Folgeprodukte im Hausinnern, das auch den grössten Variationsbereich aufweist. Rund 30 Prozent stammen von der natürlichen Bestrahlung, ein weiteres Viertel von den medizinischen Anwendungen und weniger als 5 Prozent, von allen andern künstlichen Strahlenquellen zusammen. Der natürliche Anteil kommt von den Radionukliden in Erdboden und Baumaterialien, der kosmische Strahlung und den im menschlichen Körper enthaltenen Radionukliden, wobei der Hauptanteil vom Kalium-40 stammt (Fig. 3).

Der Beitrag durch künstliche Radioaktivität, die über die Nahrung in den Körper gelangt, beträgt weniger als ein Hundertstel mSv pro Jahr. Bei den künstlichen Strahlenquellen überwiegt der Anteil aus der medizinischen Röntgendiagnostik und Nuklearmedizin, der im Einzelfall stark von Art und Häufigkeit der Untersuchungen abhängt. Die in der Tabelle 3 angegebene Zahl für die Dosis aus Röntgenuntersuchungen stammt aus einer Erhebung von 1978 und dürfte nicht mehr dem heutigen Stand entsprechen; eine neue Studie ist daher in Vorbereitung. Die Radioaktivitäts-Emissionen von Kernanlagen, Industrien und Spitälern verursachen, auch bei der Bevölkerung in der Nahumgebung, nur sehr geringe Strahlendosen. Dies auch dann, wenn man für deren Berechnung von den ungünstigen Voraussetzungen bezüglich Aufenthaltsort, Lebens- und Ernährungsgewohnheiten ausgeht. Die Auswirkungen des Reaktorunfalles Tschernobyl vom April 1986 und die früheren Kernwaffenversuche führen heute nur noch zu geringen Strahlendosen, hauptsächlich durch das auf dem Boden abgelagerte bzw. über die Nahrung aufgenommene Caesium-137. Der Unfall Tschernobyl führt in der Schweiz zu keinen nachweisbaren gesundheitlichen Auswirkungen wie Krebserkrankungen oder genetische Missbildungen (siehe Kap. B.1.2. und B.1.3.). Ein weiterer, nur ungenau abschätzbarer Beitrag zur Strahlenexposition kommt von den zivilisationsbedingten Strahlenquellen und den sogenannten "Kleinquellen". Dies sind Gebrauchsgegenständen und Konsumgüter, die Radionuklide in geringen Mengen enthalten, u.a. Uhren mit Leuchtziffern auf

Tritiumbasis ¹⁾, natürliche Radionuklide in Fliesen, Glühstrümpfen oder Zahnkeramik, Ionisations-Rauchmelder, ferner auch das beim Rauchen eingeatmete Polonium-210. Die erhöhte kosmische Strahlung in Flugzeugen führt in 10 bzw. 12 km Höhe zu einer Ortsdosis von 5 bzw. 8 micro-Sv pro Stunde, was beim fliegenden Personal zu zusätzlichen Jahresdosen von bis etwa 5 mSv führt. Die 60'892 beruflich strahlenexponierten Personen in Kernkraftwerken, Industrien, Handel, öffentliche Dienste, Forschung und Medizin akkumulierten 1995 Dosen bis maximal 50 mSv mit einer Kollektivdosis von 10 Personen-Sievert. Nur bei 3.7 Prozent lag die Dosis über 1 mSv pro Jahr, in 2 Fällen über der Limite von 20 mSv/Jahr gemäss Strahlenschutzverordnung.

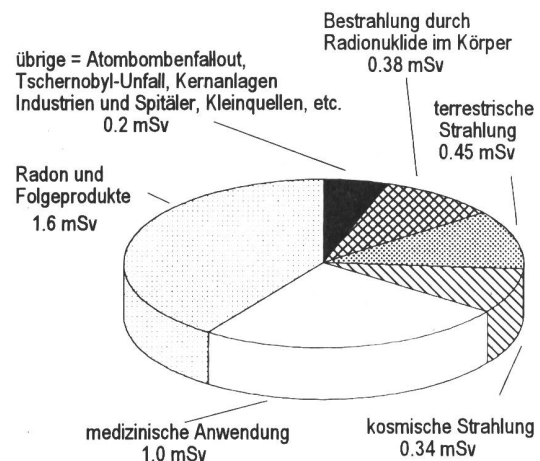


Fig. 3: Durchschnittliche Beiträge zur Strahlenexposition (Gesamtdosis: 4 mSv/Jahr)

1) Armbanduhr mit Leuchtziffern dürfen in der Schweiz maximal 0.29 GBq, im Mittel 0.19 GBq Tritium enthalten. Diese Uhren geben pro Jahr etwa 5 Prozent dieses Tritium in die Umgebungsluft ab, das dann teilweise eingeatmet wird. Bei Uhren mit Plastikgehäuse erfolgt eine geringe Tritium-Aufnahme bei der Person, welche die Uhr trägt, auch direkt über die Haut via Plastikgehäuse. Messungen in Österreich (P. Brunner et al. in Health Physics 70/4 (1996) pp. 484-487) ergaben bei Personen, die dauernd eine Tritium-Uhr mit Plastikgehäuse tragen, einen Tritiumgehalt im Urin von rund 200 bis 1100 Bq pro Liter. Dies entspricht bei Dauerbelastung einer jährlichen Dosis von 0.004 bis 0.02 mSv. Seit 1993 wird von der Firma SMH bei Uhren mit Plastikgehäuse keine Tritium-Leuchtfarbe mehr appliziert.

Tabelle 3: Strahlendosen der Schweizer Bevölkerung 1995

approximative Durchschnittswerte und Wertebereiche, angegeben als effektive Dosis in milli-Sievert pro Jahr unter Berücksichtigung der Aufenthaltsdauer im Hausinnern.

Bestrahlung	Quelle	Beschreibung	Wertebereich mSv/Jahr	Mittelwert mSv/Jahr
natürliche Bestrahlung	terrestrische Strahlung	Uran- und Thorium-Folge- produkte und Kalium-40 im Erdboden (incl. Baustoffe)	0.2 - 1.5	0.45
	kosmische Strahlung	höhenabhängig: $D(\text{mSv/a}) = 0.324 \cdot e^{(0.38z)}$ (z = Höhe in km)	0.3 - 0.6	0.34
	natürliche Radio- nuklide im Körper	Kalium-40, Uran und Thorium mit Folgeprodukten, Tritium, Kohlenstoff-14 etc.	0.2 - 0.5	0.38
zivilisation- bedingte Bestrahlung und künstliche Strahlen- quellen	Radon und Folgeprodukte	Landesdurchschnitt im Haus- innern: 60 Bq Radon-222/m ³	0.3 - 100	1.6
	Reaktorunfall Tschernobyl	Dosis für 1995: Gesamtbilanz (1986-2000):	0.01 - 0.1 (0.2 - 5)	0.01 (0.5)
	Kernwaffen- ausfall	Dosis für 1995: Gesamtbilanz (1946-2000):	0.01 - 0.02 (0.5 - 5)	0.01 (1.2)
	Abgaben aus den Kernanlagen	Unter ungünstigsten Annahmen errechnete Werte für die Umgebungsbevölkerung	≤ 0.015	---
	Abgaben aus andern Betrieben	Maximalwerte für die Umgebungsbevölkerung	≤ 0.03	---
	Kleinquellen und weitere zivili- sationsbedingte Strahlendosen	z.B. Uhren mit Leuchtziffern, Polonium-210 beim Rauchen, Fliegen und weitere Kleinquellen	0 - 5	0.1
	Medizinische Anwendungen	Röntgendiagnostik (1978) Nuklearmedizin (1989/90)	0 - 30 0 - 80	1 0.04
Berufstätige	berufliche Strahlenexposition	60'892 Personen erhielten 1995 total 10 Personen-Sievert; Durchschnitt = 0.16 mSv/Jahr	0 - 50 ≥ 1 bei 3.7 %	0.16
Flugpersonal	erhöhte kosmische Strahlung	Dosisleistung in 10 - 12 km Höhe: 5 - 8 micro Sv/Stunde	2 - 5 *)	---

*) Geschätzte zusätzliche Jahresdosis des Flugpersonals während der Arbeitszeit

Einheiten, Vorschriften und Überwachung

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 von Gamma-Quanten auszusenden. Natürliche radioaktive Stoffe kommen in der Umwelt seit jeher vor; künstliche werden 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. 10^{-3} , 10^{-6} , 10^{-9} bzw. 10^{-12} Becquerel werden mBq, μ Bq, nBq bzw. pBq (milli-, micro-, nano- bzw. pico-) geschrieben. Entsprechend werden 10^3 , 10^6 , 10^9 bzw. 10^{12} als kBq, MBq, GBq bzw. TBq (kilo-, Mega-, Giga- bzw. Tera-) geschrieben. Früher wurde vor allem die Einheit Curie (Ci) verwendet ($1 \text{ nCi} = 37 \text{ Bq}$ bzw. oder $1 \text{ Bq} = 27 \text{ pCi}$).

Die **Strahlendosen** der Bevölkerung werden als effektive Dosis (E) in milli-Sievert (mSv) angegeben. Dies ist die Summe der (Äquivalent-) Dosen aller bestrahlten Organe des Körpers, gewichtet mit ihrer jeweiligen Strahlenempfindlichkeit. Sie gilt als Bewertungsgrösse für die biologische Wirkung der Strahlung auf den ganzen Menschen und ist unabhängig von Art und Herkunft derselben.

Gemäss **Strahlenschutzverordnung** (StSV) dürfen die Dosen beruflich strahlenexponierter Personen 20 mSv pro Jahr, diejenigen der Bevölkerung durch zivilisationsbedingte Radioaktivität und Strahlung in der Umwelt - jedoch ohne Radon und medizinische Anwendungen - 1 mSv pro Jahr nicht übersteigen. 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 führen würde. Für die Direktstrahlung gilt ein Grenzwert von 5 mSv pro Jahr für die Ortsdosen im öffentlich zugänglichen Bereich, bzw. 1 mSv pro Jahr für jene 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, aber noch kein Strahlenrisiko, darstellt. Radioaktive Stoffe dürfen nur kontrolliert an die Umwelt

abgegeben werden, wobei von der Bewilligungsbehörde Abgabelimits festgelegt werden. Diese sind beispielsweise bei den Kernanlagen so gewählt, dass keine Person in der Nahumgebung eine zusätzliche Dosis von mehr als 0.2 mSv pro Jahr erhalten kann. Für Radongas gilt ein Grenzwert für Wohn- und Aufenthaltsräume von 1000 Bq/m^3 . Bei Überschreiten dieser Grenzwerte sind die Gebäude zu sanieren. Bei Neu- oder Umbauten soll ein Richtwert von 400 Bq/m^3 nicht überschritten werden.

Überwachung:

a) das Messprogramm erfasst die:

- grossräumig verteilte **Umweltradioaktivität**,
- **Immissionen** bei Kernanlagen, Industriebetrieben und Spitälern,
- **Strahlendosen der Bevölkerung**.

b) Automatische Mess- und Frühwarnnetze:

- NADAM: Ortsdosen an 58 Stationen,
- MADUK: Ortsdosen in der Nahumgebung der Kernkraftwerke,
- RADAIR: Radioaktivität der Luft an 10 Stationen.

c) Messungen an Umweltproben

Kontinuierlich an mehreren Stellen im ganzen Lande gesammelt werden: Aerosole der Luft, Niederschläge, Flusswasser, Abwässer der Kläranlagen der Agglomerationen; Stichprobenweise Erdboden, Gras, Milch, Getreide, weitere Lebensmittel, Grundwasser, Fische, Wasserpflanzen, Sedimente und weitere Proben Ganzkörpermessungen zur Bestimmung von Caesium im menschlichen Körper und Analysen an Milchzähnen und Wirbelknochen Verstorbener zur Bestimmung von Strontium-90. Für die Umgebung der Kernanlagen und Betrieben bestehen Spezialprogramme, ebenso für das Radon im Hausinnern.

d) An den Messungen und Probenahmen sind beteiligt (siehe auch Seite III):

- **Bewilligungs- und Aufsichtsbehörden:** BAG, HSK, SUVA,
- **Kantonalen Laboratorien** für die Lebensmittel,
- **Weitere Institutionen des Bundes**,
- **Universitätsinstitute**.

A

Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements 1995: sommaire ¹⁾

H. Völkle

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

Résumé

La radioactivité de l'environnement et des denrées alimentaires en Suisse fait l'objet d'une surveillance systématique depuis 40 ans. Ce rapport contient les résultats des mesures de 1995 et les doses de rayonnements qui en résultent pour le public. La surveillance porte sur l'air, les précipitations, les eaux, le sol, l'herbe, les aliments et le corps humain ainsi que sur la radiation naturelle, la teneur en radon dans les habitations, les émissions des installations et entreprises nucléaires utilisant des radionucléides et sur les autres sources de rayonnements. Les centrales nucléaires et les entreprises soumises à autorisation pour la manipulation de substances radioactives ont respecté en 1995 leurs limites annuelles de rejet et les contrôles dans l'environnement n'ont signalé aucune valeur inadmissible d'impact ou de dose. La dose moyenne de rayonnements de la population correspond globalement à 4 mSv par an, dont 40 pour-cent incombe au radon à l'intérieur des maisons (valeurs extrêmes jusqu'à 100 mSv), 30 pour-cent à la radiation naturelle hors radon, 25 pour-cent aux applications médicales de radiation et moins de 5 pour-cent à la radioactivité artificielle.

1. Introduction

Radioactivité et radiation ionisante font partie depuis toujours de notre environnement. Leurs origines naturelles sont la radiation cosmique et la radioactivité de la croûte terrestre. L'air, le sol, les eaux, les plantes et le corps humain contiennent également des radionucléides naturels. L'utilisation de la fission nucléaire dans les bombes atomiques et les réacteurs nucléaires engendre des radionucléides artificiels, qui peuvent se répandre dans l'environnement. En outre des radioisotopes s'utilisent aussi dans la recherche, l'industrie et la médecine.

L'ordonnance sur la radioprotection (ORaP) limite les doses annuelles pour des personnes professionnellement exposées aux rayonnements à 20 mSv, celles du reste de la population en raison des immissions radioactives dans l'environnement - sans les applications médicales et la radiation naturelle - à 1 mSv. L'ordonnance fixe également des valeurs limites d'impact pour l'air, l'eau et les doses ambiantes aux endroits accessibles au public, des

valeurs limites et de tolérance pour certains radionucléides dans les aliments ainsi que des valeurs limites et directrices pour le radon dans l'habitat et à la place de travail.

2. Radioactivité de l'environnement

Ce chapitre donne un aperçu des résultats de surveillance.

2.1. Air et précipitations

Dans l'air, on détecte encore au niveau du césium-137 des traces de quelques micro-Bq par m³ attribuables aux essais d'armes nucléaires et à l'accident au réacteur de Tchernobyl. D'autres radionucléides artificiels montrent des concentrations encore plus faibles, p.ex. inférieures à 0.002 micro-Bq par m³ pour le plutonium-239. Les concentrations des gaz rares radioactifs s'échelonnent de 1 à 2 Bq par m³ pour le krypton-85 et de 0.7 à 4 mBq par m³ pour l'argon-37. Le krypton, dont les concentrations augmentent progressivement depuis le

1) Traduction française Dr. Ch. Murith

milieu des années 70, est un indicateur du retraitement du combustible nucléaire, tandis que l'argon témoigne des essais souterrains d'armes nucléaires. Outre ces radionucléides artificiels, l'air contient également des radionucléides d'origine naturelle. Il s'agit des descendants du radon ($0.5 - 20 \text{ Bq par m}^3$), y compris plomb-210 ($0.2 - 5 \text{ mBq par m}^3$) et polonium-210, mais aussi du béryllium-7 ($1 - 8 \text{ mBq par m}^3$) ainsi que du tritium et du carbone-14. Ces deux derniers sont essentiellement produits par la radiation cosmique et dans une moindre proportion par les activités humaines. Pour le carbone-14, la concentration dans la biosphère se situe actuellement encore environ 12% au-dessus du niveau naturel en conséquence des essais d'armes nucléaires.

Dans les précipitations, à part le béryllium-7 naturel et le tritium, on ne détecte guère d'autres radionucléides artificiels. La teneur de tritium, qui avait augmenté dans les années 60 jusqu'à plusieurs centaines de Bq par litre suite aux essais d'armes nucléaires, a depuis constamment diminué. Elle correspond encore actuellement à $1.4 - 2 \text{ Bq par litre}$ dans les régions non influencées par des émetteurs locaux. Dans le voisinage immédiat d'entreprises traitant du tritium, on enregistre jusqu'à quelques milliers de Bq par litre.

2.2. Eaux

Dans les échantillons de prélèvement continu d'eau de rivières - si l'on excepte le tritium avec des concentrations < 1 à 10 Bq par litre (exception: Doubs, St. Ursanne) - les autres radionucléides artificiels ne sont pratiquement plus détectables avec les procédés habituels: p.ex. concentration inférieure à $0.02 \text{ Bq par litre}$ pour le césium-137. La teneur en tritium signale des influences liées à la civilisation, p.ex. en provenance de l'industrie traitant du tritium et des installations nucléaires, ce en particulier dans des petits cours d'eau limitrophes d'entreprises de peintures luminescentes avec des concentrations jusqu'à 100 Bq par litre . A titre d'exemple on mesure jusqu'à 30 Bq/l de tritium dans le Doubs à St. Ursanne/JU. De même certaines eaux de décantation de dépotoirs où par le passé des déchets contenant du tritium avaient été éliminés, présentent encore des concentrations tritium accrues. Les sédiments prélevés dans des rivières et des lacs permettent de détecter principalement le césium provenant de l'accident au réacteur de

Tchernobyl ainsi que des contributions attribuables aux rejets liquides en aval des installations nucléaires; dans les boues d'épuration, on décèle parfois l'iode-131 issu des hôpitaux. Les végétaux aquatiques s'avèrent d'excellents indicateurs pour les émissions de radioactivité par les installations nucléaires. La concentration de césium-137 dans le lac de Lugano suite à l'accident au réacteur de Tchernobyl est restée en 1995 avec 0.003 jusqu'à $0.034 \text{ Bq par litre}$ supérieure à celle dans le lac de Constance. A proximité du fond du lac, les valeurs sont approximativement un ordre de grandeur plus élevées qu'à la surface, ce qui indique une resuspension à partir des sédiments resp. une reconcentration dans l'eau du lac. Dans les affluents, la concentration de césium-137 est voisine de $0.004 \text{ Bq par litre}$. Les carottages de sédiments mettent en évidence (voir chap. B.3.9.) les maxima du dépôt de la retombée des essais d'armes nucléaires (1958 et 1963) et de Tchernobyl (1986).

2.3. Sols et végétaux

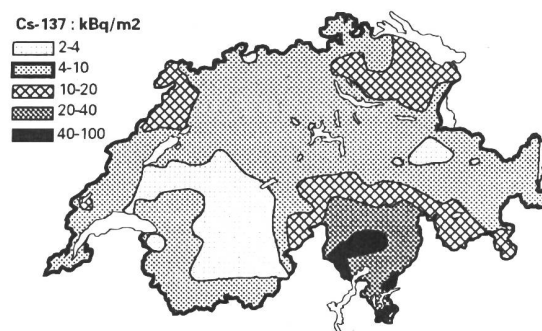


Fig. 1: Dépôt césium-137 sur le territoire suisse suite à l'accident au réacteur de Tchernobyl, calculé à partir des mesures in situ (cf. carte-césium européenne publiée par la Commission européenne, Luxembourg, juillet 1996).

Les radionucléides naturels tels le potassium-40 de longue vie et les isotopes des séries naturelles de l'uranium et du thorium sont depuis toujours présents dans le sol. On retrouve également le potassium-40 dans les végétaux qui l'assimilent à travers les racines. Par contre, le plomb-210 de longue vie est essentiellement déposé sur les végétaux à partir de l'air. Au niveau des radionucléides artificiels dans le sol et les végétaux, ce sont le strontium-90 et le césium-137 qui dominent. Le

strontium témoigne des essais d'armes nucléaires, tandis que le césium reflète encore la contamination de Tchernobyl. Le césium déposé au sol se désintègre et pénètre naturellement dans des couches plus profondes. L'inventaire du césium-137 de Tchernobyl exprimé en kBq par m² (Fig. 1) s'échelonne en Suisse de 10 à plus de 40 au Tessin, de 5 à 20 dans les Alpes et la Suisse orientale, et est inférieur à 10 dans le reste de la Suisse, tandis que pour la retombée des bombes atomiques les dépôts s'étendent de 2 à 8 dans les Alpes et de 2 à 4 dans le reste de la Suisse. En forêt le césium réside plus

longtemps dans la couche supérieure du sol essentiellement organique; c'est pourquoi des valeurs encore partiellement accrues y sont enregistrées au niveau de la dose ambiante et des concentrations de césium dans les champignons sauvages. Les valeurs extrêmes dans les sols forestiers ont été mesurées au Tessin avec près de 50 kBq de césium-137 par m² et un maximum de l'activité à une profondeur de 2 jusqu'à 5 cm (voir chap. B.3.13.).

Tableau 1: aperçu: radionucléides dans le sol et l'herbe

Isotope	Sol: Bq/kg		Herbe: Bq/kg sec	
K-40	150-900		450 - 2500	
Ra-226 ¹⁾	20-100		---	
Ac-228 ²⁾	10-50		---	
	Alpes, TI	reste de la Suisse	Alpes, TI	reste de la Suisse.
Cs-137	30 - 400	10 - 90	< 40 ³⁾	< 10
Cs-134	< 20	< 5	< 10	< 5
Sr-90	5 - 30	0.3 - 5	4 - 40	1 - 10
Pu-239	0.2 - 2	0.2 - 2	---	---

1) Représentant pour la série uranium; 2) représentant pour la série thorium, 3) exception: Intragna: 250 Bq/kg

2.4. Denrées alimentaires

La surveillance de la radioactivité des denrées alimentaires se fait en collaboration avec les laboratoires cantonaux, qui sont compétents, conformément à l'ordonnance sur la radioprotection pour le contrôle du respect des valeurs de tolérance et des valeurs limites dans les aliments (voir chap. B.3.10.). Dans les denrées d'origine végétale et animale, c'est également le potassium-40 naturel qui domine, même s'il ne représente que 0.12 pour mille du potassium global. Sa teneur est voisine de 50 Bq par litre dans le lait et de 100 Bq par kg dans les céréales. Dans le lait, la concentration de césium-137 en 1995 n'a pas dépassé 0.17 Bq par litre au nord des Alpes et 0.5 Bq par litre dans les Alpes, tandis qu'au Tessin et dans les vallées du sud des Grisons on a encore pu enregistrer des valeurs isolées jusqu'à 17 Bq par litre. Quant au

strontium-90, les teneurs sont restées en 1995 inférieures à 0.14 Bq par litre dans le lait du nord des Alpes et à 0.5 Bq par litre dans celui des Alpes et du Tessin. Pour la même période, les céréales ont indiqué des concentrations inférieures à 0.6 Bq par kg pour le césium-137 et comprises entre 0.2 et 0.5 Bq par kg pour le strontium-90. Dans le gibier et les champignons sauvages, des valeurs partiellement accrues de césium témoignent encore de l'accident de Tchernobyl. Les échantillons de gibier importé et indigène n'ont signalé en 1995 aucune activité de césium-137 supérieure à la valeur de tolérance de 600 Bq par kg. Certaines espèces de champignons sauvages indigènes ont encore indiqué des valeurs isolées de césium-137 jusqu'à 5000 Bq par kg au Tessin, ne laissant pas encore entrevoir un recul significatif. En regard des faibles taux de consommation de gibier et de champignons, les doses par ingestion qui en résultent sont

insignifiantes. Des enquêtes effectuées par le laboratoire cantonal d'Argovie sur la teneur en émetteurs alpha naturels d'une série d'eaux minérales d'importation courante n'ont mis en évidence aucun dépassement de la valeur limite OSEC de 1 Bq par litre; aucune mesure restrictive n'a donc été nécessaire (voir chap. B.3.8.). Par contre une eau minérale importée du Portugal, soumise à l'examen par le laboratoire cantonal de Neuchâtel, a dû être retirée du marché en raison de sa teneur globale en émetteurs alpha naturels de 2.5 Bq par litre. Ces enquêtes concernant les eaux minérales et potables vont être poursuivies.

2.5. Radon à l'intérieur des maisons

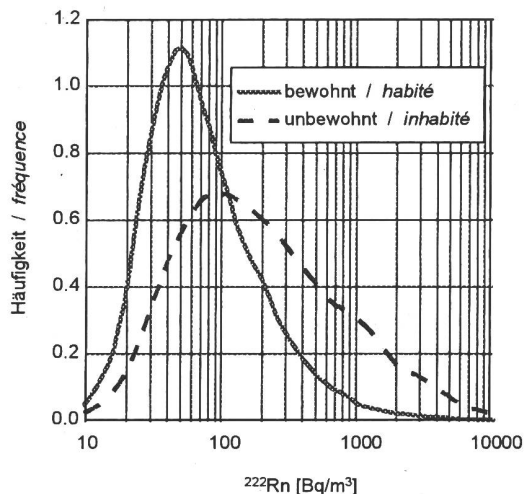


Fig. 2: Fréquence de distribution de la concentration dans les maisons suisses

Le radon, en tant que produit de désintégration du radium naturellement présent dans le sol, pénètre depuis le sous-sol vers l'intérieur des maisons, où il s'enrichit. Lors de l'inhalation ses descendants induisent une irradiation des poumons liée à un accroissement du risque de cancer. Conformément à l'ordonnance sur la radioprotection, une valeur limite de 1000 Bq par m³ s'applique pour le radon dans les locaux d'habitation et les séjours, une valeur limite de 3000 Bq par m³ dans les secteurs de travail tandis qu'une valeur directrice de 400 Bq par m³ est prescrite pour les nouvelles constructions et les bâtiments en transformation. L'exécution de ces prescriptions en vigueur depuis 1994, en particulier au niveau des sondages et des cadastres, mais aussi des dispositions d'assainissement et des

aménagements appropriés de la construction relève des cantons, qui ont permis d'atteindre dans ce domaine une fructueuse collaboration. L'OFSP met à disposition un service technique et d'information sur le radon (voir chap. B.2.). Les enquêtes-radon disponibles actuellement sur près de 9000 maisons de l'ensemble du territoire suisse indiquent une valeur moyenne de l'ordre de 60 Bq par m³ pour les séjours (Fig. 2). On peut également en déduire que dans quelques milliers de maisons suisses, c'est-à-dire 1 à 2 pour cent des habitations, la valeur limite de 1000 Bq par m³ est dépassée, tandis que dans 94 pour cent des maisons, la concentration se situe en dessous de la valeur directrice de 400 Bq par m³.

La distribution des données n'est pas exactement représentative en raison d'une sur-représentation des maisons à une famille, de l'exécution de la majorité des mesures durant la période de chauffage et de l'examen préférentiel des régions où l'on s'attend à des niveaux accrus de radon. Le sol constitue le réservoir principal de radon. Les matériaux de construction et l'eau potable ne représentent que des sources secondaires. Les paramètres fondamentaux sont la teneur en radium du sous-sol et surtout la perméabilité de ce dernier au gaz ainsi que les passages peu étanches des sols et des parois dans les sous-sol des bâtiments. L'effet de cheminée lié à l'ascendance de l'air chaud à l'intérieur des maisons est également important. Il en résulte l'aspiration du radon depuis le sous-sol. Les concentrations les plus élevées s'enregistrent en général à la cave et diminuent à mesure des étages. Les anciens bâtiments présentent souvent des valeurs plus élevées que les nouveaux, comme d'ailleurs les maisons à une famille et les fermes en comparaison des maisons à plusieurs familles. Couler une dalle de béton au niveau de la fondation du bâtiment suffit souvent à réduire l'entrée du radon. La concentration de gaz radon peut s'avérer très différente d'une maison à l'autre dans un même voisinage. Ainsi des écarts d'un facteur 100 ont déjà été observés. Seules des mesures peuvent donc garantir une valeur fiable de la teneur en radon à l'intérieur des maisons. Un pronostic basé exclusivement sur des paramètres géologiques du sous-sol est trop incertain. De même le potentiel radon d'une région ne peut pas être déduit avec suffisamment de précision sur la base exclusive de critères géologiques et les "règles" apparemment valables dans une région ne s'appliquent pas forcément à d'autres. En présence

de valeurs radon trop élevées, l'entrée du radon dans le bâtiment peut être réduite par des interventions au niveau de la construction p.ex. revêtement étanche des sols et des parois de la cave, couplée à une aération forcée du sous-sol et des locaux de la cave. Des isolations thermiques destinées à économiser le chauffage n'entraînent pas nécessairement des niveaux accrus de radon à l'intérieur des maisons.

2.6. Corps humain

La radioactivité parvient aussi dans le corps humain par l'alimentation. Dans ce cas également l'apport des radionucléides naturels prédomine. Ainsi le corps d'une personne adulte contient près de 100 g de potassium chez les femmes, resp. 150 g chez les hommes. Cela correspond à des activités de potassium-40 de 3000 Bq, resp. 4500 Bq. Le potassium séjourne essentiellement dans le tissu musculaire, ce qui explique sa teneur plus importante chez l'homme que chez la femme. Comme ultime contrôle de la surveillance, les radionucléides artificiels sont également mesurés dans le corps humain; il s'agit du strontium-90 dans les dents de lait et dans les vertèbres ainsi que du césium-137 dans le corps de personnes professionnellement exposées aux rayonnements et d'écoliers. Le strontium a un comportement physiologique analogue au calcium, tandis que le césium s'apparente physiologiquement au potassium. C'est pourquoi le calcium et le strontium se retrouvent essentiellement dans le squelette et les dents, alors que potassium et césium se fixent préférentiellement dans le tissu musculaire. L'activité moyenne de strontium-90 rapportée à la teneur de calcium a été voisine de 0.044 Bq par g de calcium dans les dents de lait resp. de l'ordre de 0.020 Bq par g de calcium dans les vertèbres. Les valeurs de césium-137 mesurées dans le corps de lycéens de Genève et de Bâle se sont situées en 1995 en dessous de 10 Bq resp. de 40 Bq (voir chap. B.3.14.).

3. Dose de rayonnements

La radioactivité entraîne une exposition aux rayonnements sous deux formes: une irradiation externe qui agit depuis l'extérieur en raison de la radioactivité présente dans l'air, le sol et les matériaux de construction et une irradiation interne induite depuis l'intérieur du corps par les radionucléides inhalés et

ingérés. Ce chapitre donne un aperçu des différentes doses de rayonnements.

3.1. Irradiation externe: surveillance des doses ambiantes

Près de la moitié de la dose ambiante externe naturelle en plein air, soit en moyenne suisse 0.4 mSv par an, provient de la radioactivité terrestre. Le complément est attribuable à la radiation cosmique, qui augmente en fonction de l'altitude par rapport au niveau de la mer; au bord du lac de Lugano, cette composante représente par exemple 0.35 mSv par an tandis qu'à St. Moritz elle atteint déjà 0.65 mSv par an. Les doses ambiantes en plein air font l'objet d'une surveillance automatique par le réseau NADAM complétée par d'autres mesures (voir chap. B.3.4.). La contribution Tchernobyl à la dose ambiante a constamment diminué dans les dernières années en raison de la désintégration du césium-137 et de son transfert en profondeur dans le sol. A l'intérieur des maisons, la dose externe de rayonnements est certes atténuée par les parois de l'habitat par rapport à sa valeur en plein air, mais se trouve par contre augmentée d'une contribution attribuable aux radionucléides présents dans les matériaux de construction. Globalement cette dernière prédomine le plus souvent, de sorte que l'exposition externe aux rayonnements est en moyenne de l'ordre de 20 pour cent plus élevée à l'intérieur qu'en plein air. En admettant un temps de séjour dans des locaux de 80 pour cent, il résulte en moyenne pour la population suisse une exposition externe aux rayonnements estimée à 0.8 mSv par an.

Le gaz noble krypton-85 de longue vie, qui parvient dans l'environnement suite au retraitement du combustible nucléaire, se répand à l'échelle mondiale et voit sa concentration augmenter progressivement. Il occasionne une irradiation externe de la peau et entraîne une dose efficace de 0.000'01 mSv par an.

Les doses ambiantes globales en plein air sont comprises en Suisse entre 0.7 et 1.7 mSv par an. Elles se répartissent comme suit: pour la contribution naturelle, 0.2 à 0.7 mSv par an de la radiation cosmique, entre 0.02 et 0.4 mSv par an du potassium-40, de 0.02 à 0.55 mSv par an des nucléides de la série de désintégration de l'uranium et de 0.02 à 0.38 mSv par an des nucléides de la série de désintégration du thorium. La part artificielle

provient presque exclusivement du césium-137, avec environ 0.02 mSv par an de la retombée des essais nucléaires et le reste en conséquence de l'accident de Tchernobyl, soit 0.1 à 0.6 mSv par an au Tessin, 0.02 à 0.4 mSv par an dans les Alpes et 0.01 à 0.1 mSv par an dans les autres régions suisses.

3.2. Irradiation interne par les radionucléides dans le corps humain

Au niveau de la dose naturelle interne, qui représente 0.36 mSv par an, la contribution majeure provient du potassium-40 et du polonium-210 avec 0.18 resp. 0.12 mSv par an. Les radionucléides engendrés par la radiation cosmique, carbone-14, béryllium-7, sodium-22 et tritium (H-3) induisent ensemble près de 0.015 mSv par an. Les nucléides des séries naturelles de l'uranium et du thorium présents dans la croûte terrestre occasionnent une dose interne de 0.04 mSv par an, à laquelle s'ajoute environ 0.006 mSv par an dû au rubidium-87 de longue vie. La consommation régulière d'eaux minérales avec des concentrations dans le domaine du Bq par litre augmente la dose annuelle d'au plus quelques centièmes de mSv. Le radon et ses descendants occasionnent en moyenne 1.6 mSv par an, c'est-à-dire presque la moitié de l'exposition moyenne de la population aux rayonnements, avec des valeurs extrêmes jusqu'à 100 mSv. Les produits de filiation du radon entraînent après inhalation une irradiation des poumons et augmentent ainsi le risque de cancer. Sur l'ensemble des cas de cancer du poumon qui apparaissent en Suisse quelques pour-cent sont attribuables au radon. Selon WHO il ne faudrait pas tolérer un risque de cancer du poumon imputable au radon dans l'habitat qui soit supérieur à un cas par millier d'habitants par an. Cela correspond exactement à la valeur limite en vigueur de 1000 Bq par m³, conformément à l'ordonnance sur la radioprotection.

La contribution des radionucléides artificiels dans le corps - provenant essentiellement des essais d'armes nucléaires et de l'accident au réacteur de Tchernobyl - se situe actuellement pour des personnes aux habitudes alimentaires moyennes autour de 0.006 mSv par an. Les principaux responsables sont le césium-137 et le strontium-90 avec chacun 0.002 resp. 0.000'05 mSv par an. Le plutonium-239 occasionne environ 0.000'03 mSv

par an. Les autres radionucléides artificiels n'entraînent que des doses de rayonnements insignifiantes.

4. Surveillance particulière: installations nucléaires, entreprises et hôpitaux

Les installations nucléaires et les entreprises, qui produisent resp. traitent des substances radioactives, peuvent relâcher des radionucléides dans l'environnement par les rejets atmosphériques et liquides. Pour cette raison, un bilan des émissions et une surveillance de l'environnement sont incontournables. Ce chapitre donne une synthèse des résultats de cette surveillance.

4.1. Installations nucléaires (CN = centrale nucléaire) (voir chap. B.4.)

La division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN), l'Office fédéral de la santé publique (OFSP/SUER) et d'autres institutions cantonales et fédérales collaborent étroitement pour la surveillance de l'environnement auprès des installations nucléaires. Les mesures englobent - outre les doses ambiantes - la radioactivité dans l'air, la pluie, le sol, l'herbe, les céréales, le lait et d'autres produits agricoles ainsi que celle dans les eaux de rivières et des nappes phréatiques, dans les poissons, les végétaux aquatiques et les sédiments. Ces contrôles sont complétés par les mesures in situ, les vols aéroradiométriques et les déterminations du carbone-14 dans les feuillages. Les doses ambiantes auprès des centrales nucléaires sont recensées par un réseau automatique de surveillance (MADUK) comportant 12 à 18 stations dans le voisinage de chacune d'entre elles. Dans l'année couverte par ce rapport, aucun dépassement des valeurs directrices n'a été constaté lors de la surveillance de l'environnement des centrales nucléaires et de l'Institut Paul Scherrer à Villigen/AG. De faibles impacts des installations nucléaires s'observent occasionnellement au niveau du rayonnement direct à proximité immédiate des réacteurs à eau bouillante ainsi que dans les sédiments et les végétaux aquatiques des rivières, en aval des installations. De même on constate une augmentation de la concentration du carbone-14 dans le voisinage immédiat des installations jusqu'à près de 10 pour cent par rapport au niveau mondial actuel. A proximité du PSI, l'augmentation

du niveau du carbone-14 a nettement diminué depuis l'arrêt du réacteur de recherches SAPHIR pour se situer aujourd'hui en dessous de 15 pour cent. Les répercussions des émissions de radioactivité des installations nucléaires suisses sur l'environnement s'avèrent négligeables en fonctionnement normal et les doses de rayonnements qui en résultent pour la population avoisinante sont nettement inférieures à la limite de 0.2 mSv par an.

Ces dernières années l'EAWAG a étudié sur la demande de la DSN, la dispersion dans les rivières des radionucléides rejetés avec les eaux résiduaires des centrales nucléaires et leur transfert dans les sédiments. Les résultats permettent une meilleure modélisation des processus de transport dans le milieu aquatique et ont conduit à adapter le programme de surveillance dans ce milieu, en particulier du point de vue des procédés de prélèvement et de mesure (voir chap. 3.7.).

L'ancienne centrale atomique expérimentale de Lucens/VD a été soustraite, à une petite parcelle près, à la législation atomique en 1995 après son démantèlement complet et le remplissage de la caverne avec du béton; l'utilisation du site a été attribué au canton de Vaud. L'installation de Lucens avait été mise hors service en 1969 à la suite d'un grave incident, qui n'entraîna heureusement aucun impact sur l'environnement. Sur la demande de l'OFSP, un contrôle périodique de la radioactivité des eaux de drainages et d'écoulement sera effectué durant les 30 prochaines années.

Les limites de rejet pour les centrales nucléaires de Beznau (KKB), Gösgen-Däniken (KKG), Leibstadt (KKL), Mühleberg (KKM) et l'Institut Paul-Scherrer (PSI) sont fixées dans l'autorisation d'exploitation de telle sorte que la dose pour des riverains ne dépasse pas 0.2 mSv par an. Les exploitants sont tenus de surveiller en permanence leurs émissions de radioactivité par voie atmosphérique et liquide et d'en établir le bilan. La Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN) contrôle en tant qu'autorité compétente, l'ensemble de ces données par des mesures autonomes et calcule les doses maximales de rayonnements qui résultent pour la population locale.

Les centrales nucléaires et l'Institut Paul-Scherrer ont respecté en 1995 leurs limites de rejets. L'exposition maximale aux rayonnements calculée sur la

base d'hypothèses les plus défavorables pour des adultes et des enfants en bas âge du voisinage proche a été estimée pour 1995 à 0.010 mSv auprès de la CN Mühleberg, 0.004 mSv auprès de la CN Leibstadt, 0.002 mSv auprès des CN Gösgen-Däniken et Beznau et 0.006 mSv auprès de l'Institut Paul-Scherrer à Villigen. Pour les centrales nucléaires, la contribution majeure à la dose revient en proportion aux rejets de carbone-14.

4.2. Industries et hôpitaux

(voir chap. B.5.)

La manipulation de substances radioactives dans les entreprises, les hôpitaux et la recherche requiert une autorisation de la Confédération. L'inspection incombe à l'Office fédéral de la santé publique pour la médecine, la recherche et la formation, resp. à la Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents (SUVA) pour l'industrie, le commerce, l'apprentissage, les laboratoires analytiques ainsi que les services de l'administration publique. Pour des entreprises, qui traitent d'importantes quantités de substances radioactives, un bilan des rejets de ces substances et une surveillance appropriée de l'environnement peuvent être exigés. C'est le cas p.ex. pour les entreprises traitant du tritium à Teufen/AR et à Niederwangen/BE et pour les ateliers de posage de peintures luminescentes dans la région de La Chaux-de-Fonds.

Les entreprises industrielles, qui doivent établir un bilan des rejets à l'attention de la SUVA, ont respecté en 1995 les limites pour les rejets de substances radioactives dans l'environnement stipulées dans les autorisations. La surveillance de l'environnement signale comme déjà par le passé des concentrations tritium jusqu'à quelques milliers de Bq par litre dans les précipitations et les eaux de surface; ces concentrations sont inférieures aux limites d'impact de l'ordonnance sur la radioprotection et n'impliquent aucune dose inadmissible de rayonnements pour la population. L'écoulement tritium de la région de La Chaux-de-Fonds s'est situé autour de 15 TBq en 1995, sur la base des mesures à la sortie de la station d'épuration. Les émissions de tritium de ces entreprises occasionnent pour la population environnante des doses additionnelles d'au plus 0.03 mSv par an, comme l'avaient confirmé par le passé des examens portant sur les urines à Teufen/AR et Niederwangen/BE.

Les rejets de radioactivité à travers les stations d'épuration des grandes agglomérations de Zurich, Bâle, Berne, Lausanne et Genève sont surveillés par des échantillons périodiques. Dans leurs eaux usées et en partie aussi dans la boue d'épuration, on décèle principalement le iode-131 utilisé pour les traitements de la thyroïde dans les hôpitaux ainsi que le tritium issu des stations d'incinération et des applications industrielles. A la sortie de la STEP de Berne, une augmentation de l'iode-131 n'a plus été détecté en 1995 et les valeurs de mesure se sont souvent situées en dessous de la limite de détection dans les échantillons hebdomadaires. A la STEP de Berne, l'écoulement annuel de iode-131 a été en 1995 de l'ordre de 15 à 25 GBq, celui de tritium d'environ 0.5 TBq. Dans l'Aar en aval de Berne, les valeurs hebdomadaires de tritium sont restées comprises entre 2.2 et 7.5 Bq par litre avec en moyenne annuelle 3.2 Bq par litre. Comme les eaux

usées des entreprises resp. des stations d'épuration ne sont dans tous les cas pas consommées sans traitement préalable, mais subissent encore une forte dilution dans les rivières, les doses de rayonnements qu'elles représentent pour la population sont négligeables. Aucun impact inadmissible du point de vue de l'ordonnance sur la radioprotection n'a été constaté sur l'environnement des entreprises contrôlées.

Concernant le carbone-14 dans les feuillages, on a observé dans le voisinage de l'ancien four d'incinération (hors service) de la CIBA à Bâle un net recul des augmentations, qui se sont abaissées de 40 à 10 pour cent, en raison de l'arrêt des émissions depuis juillet 1994. Auprès de l'enceinte de Sandoz, les échantillons qui signalaient des augmentations inférieures à 10 pour cent en 1994, n'ont indiqué aucun changement en 1995.

Tableau 2: Surveillance des stations d'épuration (échantillons hebdomadaires)

STEP	Bq/l I-131	Bq/l Tritium	Exception Bq/l H-3
Zurich	≤ 1	≤ 10	--
Bâle	$\leq 0.1 - 1$	≤ 20	4 échantillons jusqu'à 60 Bq/l
Berne	$\leq 0.5 - 2$	9 - 20	--
Lausanne	$\leq 0.6 - 0.9$	2 - 8	--
Genève	≤ 0.5	≤ 20	5 échantillons jusqu'à 144 Bq/l

5. Doses de rayonnements de la population (voir tab. 3)

L'exposition annuelle aux rayonnements de la population équivaut en moyenne globale pour la Suisse à environ 4 mSv. Près de 40 pour cent en revient à l'irradiation naturelle due au radon et à ses descendants à l'intérieur des maisons, qui présente d'ailleurs le plus large domaine de variation. Environ 30 pour-cent provient de l'irradiation naturelle hors radon, puis 25 pour cent des applications médicales et approximativement 5 pour cent de l'ensemble des autres sources artificielles de rayonnements. La part naturelle, sans le radon, peut être subdivisée selon la composante des radionucléides présents dans le sol et les matériaux de construction, la radiation cosmique et les radionucléides dans le

corps humain, dont le potassium-40 constitue la contribution essentielle (Fig. 3).

L'apport de la radioactivité artificielle, qui parvient dans le corps au travers de l'alimentation, représente moins d'un centième de mSv par an. Parmi les sources artificielles de rayonnements, la contribution du radiodiagnostic médical et de la médecine nucléaire, qui dépend fortement du type et de la fréquence des examens, est prédominante. La valeur reportée dans le tableau 3 pour la dose due aux examens radiodiagnostics résulte d'un sondage effectué en 1978 et pourrait ne plus traduire la situation actuelle; c'est pourquoi une nouvelle étude est en cours de préparation. Les émissions de radioactivité des installations nucléaires, de l'industrie et des hôpitaux occasionnent seulement de très

faibles doses de rayonnements, aussi pour la population limitrophe. Cette affirmation reste vraie, même si l'on se base pour le calcul des doses sur les hypothèses les plus défavorables relativement au temps de séjour, au mode de vie et aux habitudes alimentaires. Les répercussions de l'accident au réacteur de Tchernobyl d'avril 1986 et la retombée des essais nucléaires passés contribuent encore de nos jours à de faibles doses de rayonnements, essentiellement par le césium-137 déposé au sol resp. par son assimilation à partir de l'alimentation. L'accident de Tchernobyl n'occasionne en Suisse aucune répercussion observable sur la santé, comme des maladies cancéreuses ou des malformations génétiques (voir chap. B.1.2. et B.1.3.). Une contribution additionnelle à l'exposition aux rayonnements difficile à estimer provient des sources de rayonnements conditionnées par la civilisation et de celles qualifiées de "faibles sources". Font partie de ces dernières, des objets utilitaires et des biens de consommation qui contiennent des radionucléides en faible quantité, entre autres des montres luminescentes au tritium ¹⁾, des catelles, des manchons à incandescence, des céramiques dentaires ou des détecteurs de fumée à ionisation renfermant des radionucléides naturels ainsi que le polonium-210 inhalé en fumant. La radiation cosmique accrue dans les avions occasionne à 10 resp. 12 km d'altitude une dose ambiante de 5 resp. 8 micro-Sv par heure, qui se répercute chez le personnel naviguant par des doses annuelles supplémentaires jusqu'à 5 mSv. Les 60'892 personnes professionnellement exposées aux radiations dans les installations

nucléaires, l'industrie, le commerce, les services publics, la recherche et la médecine ont accumulé en 1995 des doses jusqu'à 50 mSv au maximum avec une dose collective de 10 personne-sievert par an. Pour 3.7 pour cent des employés seulement, la dose a été supérieure à 1 mSv par an et la limite de 20 mSv fixée dans l'ordonnance sur la radioprotection n'a été dépassée que pour 2 d'entre eux.

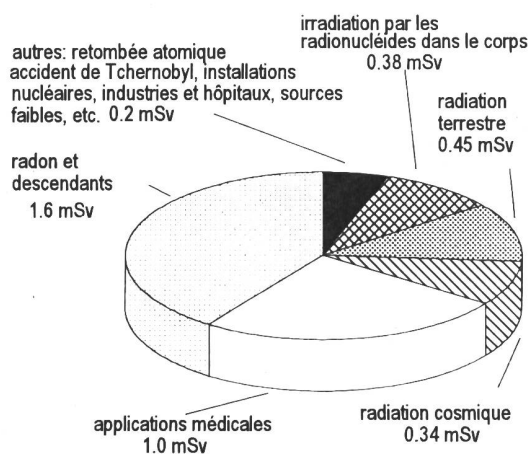


Fig. 3: Contributions moyennes à l'exposition aux rayonnements (total 4 mSv/an)

¹⁾ Des montres à bracelets avec des cadrans luminescents ne peuvent contenir en Suisse que 0.29 GBq de tritium au maximum, en moyenne 0.19 GBq. Environ 5 pour cent de ce tritium s'échappe chaque année dans l'air voisin pour être partiellement inhalé. Pour les montres dont le boîtier est en plastique, il résulte également une assimilation directe du tritium par la peau des personnes qui les portent. Des mesures effectuées en Autriche (P. Brunner et al. dans Health Physics 70/4 (1996) pp. 484-487) ont indiqué chez des personnes portant en permanence une montre au tritium avec boîtier en plastique, une teneur de tritium dans l'urine de 200 jusqu'à 1100 Bq par litre. Cela correspond pour une exposition continue à une dose annuelle de 0.004 à 0.02 mSv. Depuis 1993 la firme SMH n'utilise plus de tritium pour les montres avec boîtier en plastique.

Tableau 3: Doses de rayonnements de la population suisse en 1995

valeurs moyennes et domaines approximatifs, exprimés en dose efficace en mSv par an compte tenu de la durée de séjour à l'intérieur des maisons.

Irradiation	Source	Description	Domaine des valeurs mSv/an	Moyenne mSv/an
irradiation naturelle	radiation terrestre	séries uranium et thorium et potassium-40 dans le sol (mat. de construction compris)	0.2 - 1.5	0.45
	radiation cosmique	dépendance avec l'altitude: $D(\text{mSv/a}) = 0.324 \cdot e^{(0.38 z)}$ (z = Altitude en km)	0.3 - 0.6	0.34
	radionucléides naturels dans le corps	potassium-40, séries uranium et thorium, tritium, carbone-14 etc.	0.2 - 0.5	0.38
irradiation liée à la civilisation et sources artificielles de rayonnements	radon et descendants	moyenne suisse à l'intérieur des maisons: 60 Bq Radon-222/m ³	0.3 - 100	1.6
	accident au réacteur de Tchernobyl	dose pour 1995: bilan global (1986-2000):	0.01 - 0.1 (0.2 - 5)	0.01 (0.5)
	retombée des armes nucléaires	dose pour 1995: bilan global (1946-2000):	0.01 - 0.02 (0.5 - 5)	0.01 (1.2)
	rejets des installations nucléaires	valeurs calculées pour la population avoisinante sur les hypothèses les plus pessimistes	≤ 0.015	---
	rejets des autres entreprises	valeurs maximales pour la population avoisinante	≤ 0.03	---
	faibles sources et doses additionnelles de rayonnements liées à la civilisation	p.ex. montres à chiffres luminescents, polonium-210 en fumant, aviation et autres faibles sources	0 - 5	0.1
	applications médicales	radiodiagnostic (1978) médecine nucléaire (1989/90)	0 - 30 0 - 80	1 0.04
professionnel-lement exposés	exposition professionnelle aux rayonnements	60'892 personnes ont reçu en 1995 un total de 10 personne-sievert; moyenne = 0.16 mSv/an	0 - 50 ≥ 1 à 3.7 %	0.16
personnel naviguant	radiation cosmique accrue	débit de dose à 10 - 12 km d'altitude: 5 - 8 micro Sv/heure	2 - 5 *)	---

*) Estimation de la dose annuelle supplémentaire du personnel naviguant durant son travail

Unités, prescriptions et surveillance

La radioactivité est une propriété des noyaux instables de se transmuter (désintégration radioactive) sans influence extérieure en émettant une radiation (ionisante) 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. 10^{-3} , 10^{-6} , 10^{-9} resp. 10^{-12} becquerel s'écrivent mBq, μ Bq, nBq resp. pBq (milli-, micro-, nano- resp. pico-). De même 10^3 , 10^6 , 10^9 resp. 10^{12} becquerel sont notés kBq, MBq, GBq resp. TBq (kilo-, Mega-, Giga- resp. Tera-). Dans le passé, l'unité Curie (Ci) était couramment utilisée (1 nCi = 37 Bq resp. 1 Bq = 27 pCi).

Les doses de rayonnements de la population sont indiquées comme dose efficace (E) en milli-sievert (mSv). Cette grandeur représente la somme des "équivalents" de dose de tous les organes irradiés du corps, pondérée par la radiosensibilité de chacun d'entre eux. C'est la grandeur d'appréciation de l'effet biologique de la radiation sur l'être entier qui ne dépend ni du type, ni de l'origine de la radiation:

Conformément à l'**ordonnance sur la radioprotection** (ORaP), les doses des personnes professionnellement exposées ne doivent pas dépasser 20 mSv par an. D'autre part, les doses de la population par la radioactivité de l'environnement liées à la civilisation - à l'exclusion toutefois du radon et des applications médicales - ne doivent pas dépasser 1 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. Pour le rayonnement direct, une valeur limite de 5 mSv par an s'applique aux doses ambiantes dans les secteurs accessibles au public, resp. 1 mSv par an pour les doses ambiantes dans les locaux habités, les salles de séjour et les places de travail. Des valeurs limites et de tolérance pour les radionucléides dans les denrées alimentaires sont publiées dans l'ordonnance sur les substances étrangères et les composants (OSEC). Du point de vue de la radioprotection, la valeur limite est essentielle, tandis que la valeur de tolérance traduit simplement un critère de qualité, qui ne signifie cependant aucun risque radiologique. L'émission de substances radioactives se fait de manière contrôlée dans l'environnement, selon les limites de rejets fixées

par les autorités qui délivrent l'autorisation. A titre d'exemple, les limites de rejets pour les installations nucléaires sont fixées de sorte qu'aucun riverain ne puisse recevoir une dose additionnelle supérieure à 0.2 mSv par an. Pour le gaz radon, une valeur limite de 1000 Bq par m^3 s'applique aux locaux d'habitation et aux séjours. En cas de dépassement de cette valeur limite, les bâtiments doivent être assainis. Pour les constructions nouvelles ou celles en transformation, une valeur directrice de 400 Bq/ m^3 ne doit pas être dépassée.

a) Objectifs du programme de mesure:

- recenser la **radioactivité de l'environnement** répandue à l'échelle mondiale,
- contrôler l'**impact** sur l'environnement des installations nucléaires, des industries et des hôpitaux,
- **déterminer les doses à la population.**

b) Réseaux automatiques de mesure et d'alerte:

- NADAM: doses ambiantes en 58 stations,
- MADUK: doses ambiantes dans le voisinage proche des centrales nucléaires,
- RADAIR radioactivité de l'air en 10 stations.

c) Mesures d'échantillons de l'environnement

Dans plusieurs stations réparties sur le territoire suisse, les précipitations, les aérosols de l'air, les eaux de rivières et les eaux usées des stations d'épuration des agglomérations sont collectés en continu pour être analysés en laboratoire. A cela s'ajoute l'examen par échantillonnage du sol, de l'herbe, du lait, des céréales et autres denrées alimentaires, des eaux souterraines, des poissons, des végétaux aquatiques, des sédiments et d'échantillons supplémentaires. Un ultime contrôle porte sur la détermination du césium dans le corps humain et les analyses du strontium-90 dans les dents de lait et les vertèbres de personnes décédées. Des programmes particuliers sont réalisés au voisinage des installations et des entreprises nucléaires ainsi que pour le radon à l'intérieur des maisons.

d) Associés aux prélèvements et aux mesures (voir aussi page III):

- **les autorités compétentes pour l'autorisation et pour l'inspection (OFSP, DSN, SUVA),**
- **les laboratoires cantonaux** pour le contrôle des denrées alimentaires,
- **D'autres services de la Confédération,**
- **Des instituts universitaires.**

A

Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione nel 1995: riassunto ¹⁾

H. Völkle Sezione sorveglianza della radioattività (SUER)
Ufficio federale della sanità pubblica, Ch. du Musée 3, 1700 FRIBOURG

Riassunto

Da ormai quarant'anni, la radioattività dell'ambiente e delle derrate alimentari in Svizzera è sottoposta a una sorveglianza sistematica. Il presente rapporto illustra gli esiti delle misure svolte nel 1995 e indica le dosi d'irradiazione della popolazione che ne derivano. Oggetto della sorveglianza sono l'aria, le precipitazioni, le acque, il suolo, l'erba, le derrate alimentari e l'organismo umano, come anche la radioattività naturale, il contenuto di radon all'interno delle case, le emissioni di impianti nucleari e altre aziende che impiegano radionuclidi e le rimanenti fonti di radiazioni. Nel 1995, le centrali e gli impianti nucleari autorizzati a servirsi di sostanze radioattive hanno osservato i limiti posti all'evacuazione annuale di radioattività nell'ambiente. Dalle misure ambientali non sono risultate immissioni o dosi superiori a quelle ammesse. La dose totale media d'irradiazione della popolazione è di 4 mSv all'anno, di cui il quaranta per cento proviene del radon all'interno delle case, che talvolta raggiunge anche valori estremi fino a circa 100 mSv. Il trenta per cento deriva dalla radioattività naturale, un quarto dalle applicazioni mediche di radiazioni e meno del cinque per cento dalla radioattività artificiale.

1. Introduzione

Radioattività e radiazioni ionizzanti sono da sempre presenti nel nostro ambiente naturale, a causa della radiazione cosmica e della radioattività naturale della crosta terrestre. Anche l'aria, il suolo, le acque, le piante e l'organismo umano contengono radionuclidi naturali. L'applicazione della scissione nucleare per bombe atomiche e reattori nucleari crea radionuclidi artificiali che possono a loro volta penetrare nell'ambiente. Isotopi radioattivi trovano inoltre impiego anche per la ricerca, l'industria e la medicina.

L'Ordinanza sulla radioprotezione (ORaP) limita la dose d'irradiazione delle persone professionalmente esposte a 20 mSv per anno. Per la popolazione rimanente, il valore limite d'irradiazione in seguito ad immissioni radioattive nell'ambiente (senza le applicazioni mediche e le radiazioni naturali) è fissato a 1 mSv all'anno. Nell'ordinanza si trovano inoltre i valori limite e di tolleranza applicabili al contenuto di radionuclidi nelle derrate alimentari nonché i valori limite e valori operativi per il radon nei locali abitati e nelle aree di lavoro.

2. Radioattività ambientale

Il seguente capitolo offre uno sguardo riassuntivo sugli esiti della sorveglianza.

2.1. Aria e precipitazioni

Nell'aria sono tuttora accertabili tracce di cesio-137, di alcuni micro-Bq al m³ al massimo, provenienti dagli esperimenti con armi nucleari e dall'incidente nel reattore di Cernobil. Altri radionuclidi artificiali sono presenti in concentrazione ancora inferiore: ad esempio, meno di 0,002 micro-Bq al m³ per il plutonio-239. Per il gas nobile cripto-85 e il argo-37 le valori misurate sono da 1 a 2 Bq al m³ e 0.7 a 4 mBq al m³ rispettivamente. Il primo è un indicatore della rigenerazione di combustibili nucleari, in lento aumento dalla metà degli anni 70, l'ultimo si sprigiona durante gli esperimenti sotterranei con armi nucleari. Accanto a quelli artificiali, l'aria contiene anche radionuclidi di origine naturale. Si tratta dei prodotti di decadimento del radon (0,5-20 Bq al m³) – incluso il piombo-210 (0,2-5 mBq al m³) e il polonio-210 –, ma anche del berillio-7 (1-8 mBq al m³), del tritio e del carbonio-14. Questi ultimi derivano principalmente dalla radiazione cosmica; in minor

1) Traduzione italiana: Claudia Forni-Degkwitz, Bülach

misura sono tuttavia prodotti anche dall'attività umana. In seguito agli esperimenti con armi nucleari, la concentrazione del carbonio-14 nella biosfera supera attualmente ancora del 12 per cento circa il livello naturale.

Nelle precipitazioni non sono più accertabili – accanto al berillio-7 di origine naturale e al tritio – radionuclidi artificiali di alcun tipo. Il contenuto di tritio, che in seguito agli esperimenti con armi nucleari negli anni sessanta era salito ad alcune centinaia di Bq per litro, si è da allora continuamente ridotto. Nelle regioni non influenzate da emittenti locali, comporta soltanto ancora 1,4-2 Bq per litro, nelle immediate vicinanze delle aziende industriali di lavorazione del tritio può raggiungere alcune migliaia di Bq per litro.

2.2. Acque

Nei campioni d'acqua fluviale regolarmente prelevati non sono generalmente accertabili, con i metodi di misura usuali, radionuclidi artificiali all'infuori del tritio, che presenta una concentrazione di < 1 a 10 Bq per litro (eccezione fatta per il Doubs, cfr. qui sotto). La concentrazione del cesio-137, ad esempio, è inferiore a 0,02 Bq per litro. Il contenuto di tritio rispecchia in parte influssi antropogeni, ad esempio quelli dell'industria di lavorazione del tritio e degli impianti nucleari. Questo vale in particolar modo per i fiumi più piccoli nelle immediate vicinanze di aziende che producono vernici luminescenti, dove la concentrazione può anche raggiungere 100 Bq per litro. Nel Doubs presso St. Ursanne/JU si sono ad esempio misurati fino a 30 Bq per litro. Anche nelle acque di rifiuto delle discariche in passato adoperate per rifiuti contenenti tritio si trovano tuttora concentrazioni elevate di questo radionuclide. Nei sedimenti di fiumi e laghi si riscontrano ancora contributi di cesio provenienti in primo luogo dall'incidente nel reattore di Cernobil; a valle delle centrali nucleari si osservano anche contributi causati dalle emissioni liquide di queste ultime e a valle degli ospedali si trova iodio-131 nei fanghi di depurazione. Le piante acquatiche sono buoni indicatori delle emissioni di radioattività degli impianti nucleari. Con valori compresi tra 0,003 e 0,034 Bq per litro, la concentrazione di cesio-137 nel Ceresio causata dall'infortunio nel reattore di Cernobil era superiore a quella misurata nel Lago Bodanico anche nel 1995. Vicino al fondo del lago, i valori misurati superano quelli registrati alla superficie di un ordine di grandezza circa, segno che il radionu-

clide si scioglie nuovamente dal sedimento, accrescendo la propria concentrazione nelle acque del lago. Negli affluenti, la concentrazione del cesio-137 si aggira sugli 0,004 Bq per litro. Nelle carote di sedimenti prelevate si possono nettamente distinguere i massimi di sedimentazione provenienti dalle ricadute delle armi nucleari (1958 e 1963) e da Cernobil (1986; v. capitolo B.3.9).

2.3. Suolo e vegetazione

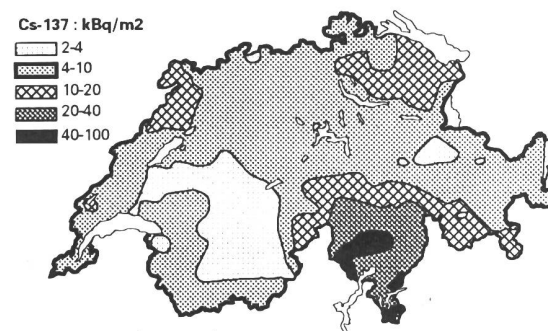


Fig. 1 Densità d'attività del cesio-137 sul suolo in Svizzera in seguito all'incidente nel reattore di Cernobil, calcolata sul fondamento di misure in situ (cfr. Mappa europea del cesio edita dalla Commissione europea, Lussemburgo, luglio 1996)

Radionuclidi naturali come il potassio-40, di lunga durata, e gli isotopi delle catene di decadimento naturali dell'uranio e del torio si trovano da sempre nel suolo. Il potassio-40 si trova anche nelle piante, dov'è assorbito attraverso le radici. Il radionuclide di lunga durata piombo-210 si deposita invece nelle piante principalmente attraverso l'aria. Per quanto riguarda i radionuclidi artificiali, nel suolo e nell'erba si trovano soprattutto lo stronzio-90, proveniente dagli esperimenti con armi nucleari, e il cesio-137, che permette tuttora di riconoscere gli strati di sedimentazione derivanti dall'incidente di Cernobil. Il cesio che si sedimenta sul suolo naturale decade e penetra lentamente negli strati più profondi del terreno. Il cesio-137 proveniente da Cernobil e depositato sui terreni coltivati presenta concentrazioni di 10 a più di 40 kBq per m^2 nel Ticino, 5-20 nelle Alpi e la Svizzera occidentale meno di 10 nel resto della Svizzera (fig. 1); quello derivante dalle ricadute delle bombe atomiche presenta valori compresi tra 2 e 8 kBq per m^2 nelle Alpi e tra 2 e 4 nel resto della Svizzera. Nei boschi, il cesio permane più a lungo nello strato superiore, per la maggior parte organico. La dose ambiente vi è perciò in parte ancora elevata e alcuni funghi selvatici pre-

sentano alte concentrazioni di cesio. I valori più alti misurati in terreni boschivi sono quelli registrati nel Ticino, con quasi 50 kBq di cesio-137 per m² e un

massimo di attività alla profondità di 2 a 5 cm (v. capitolo B 3.13).

Tabella 1: Sommario dei radionuclidi nel suolo e nell'erba

Isotopo	suolo: Bq/kg		erba: Bq/kg peso secco	
K-40	150-900		450-2500	
Ra-226 ¹⁾	20-100		---	
Ac-228 ²⁾	10-50		---	
	Alpi, Ticino	resto della Svizzera	Alpi, Ticino	resto della Svizzera
Cs-137	30-400	10-90	< 40 ³⁾	< 10
Cs-134	< 20	< 5	< 10	< 5
Sr-90	5-30	0,3-5	4-40	1-10
Pu-239	0.2 - 2	0.2 - 2	---	---

1) Rappresentante della catena dell'uranio; 2) Rappresentante della catena del torio, 3) eccezione: Intragna: 250 Bq/kg

2.4. Prodotti alimentari

La sorveglianza della radioattività nelle derrate alimentari si svolge in cooperazione con i laboratori cantonali. Conformemente all'Ordinanza sulla radioprotezione, questi ultimi sono responsabili del controllo sull'osservanza dei valori limite e di tolleranza nelle derrate alimentari (v. capitolo B.3.10). Anche nelle derrate alimentari vegetali o animali, il radionuclide dominante è solitamente il potassio-40, di origine naturale, che costituisce lo 0,12 per mille della quantità complessiva di potassio. Il contenuto di potassio-40 nel latte è di circa 50 Bq per litro, nei cereali di 100 Bq per chilogrammo. Nel 1995 il contenuto di cesio-137 nel latte era inferiore a 0,17 Bq per litro a nord delle Alpi e a 0,5 nella regione alpina, mentre nel Ticino e nelle vallate grigionesi a sud delle Alpi si sono ancora riscontrati valori fino a 17 Bq per litro. Per quanto riguarda lo stronzio-90, i valori misurati erano inferiori a 0,14 Bq per litro a nord delle Alpi e a 0,5 nella regione alpina e nel Ticino. I cereali presentavano una concentrazione inferiore a 0,6 Bq per chilogrammo di cesio-137 e tra 0,2 e 0,5 Bq per chilogrammo di stronzio-90. La selvaggina e i funghi selvatici presentano in parte ancora valori elevati di cesio dovuti all'incidente di Cernobil. Misure svolte su campioni di selvaggina importata e domestica hanno rivelato nel 1995 attività di cesio-137 inferiori al valore di tolleranza di 600 Bq per chilogrammo. Determinati funghi domestici non coltivati presentavano ancora valori fino a 1200 Bq per chilogrammo di merce fresca a nord delle Alpi e fino a 5500 Bq per chilogrammo nel Ticino. Non si nota ancora alcun calo evidente. Dato il basso tasso di consumo di selvaggina e funghi, le

dosi d'irradiazione che ne risultano sono tuttavia modeste. Da analisi svolte nel laboratorio cantonale argoviese su alcune tra le acque minerali importate più diffuse non sono risultati per gli emettitori alfa naturali valori superiori al limite di 1 Bq per litro stipulato dall'OEC ¹⁾; per questa serie non è perciò stato necessario ricorrere a provvedimenti (v. capitolo B.3.8). Un'altra acqua minerale, importata dal Portogallo e sottoposta ad analisi nel laboratorio cantonale di Neuchâtel ha invece dovuto essere tolta dalla circolazione, dato che presentava una concentrazione complessiva di emettitori alfa naturali di 2,5 Bq per litro. I controlli delle acque minerali e potabili proseguono.

2.5. Radon nelle case

Come prodotto del decadimento del radio naturale contenuto nel suolo, il radon penetra negli edifici soprattutto attraverso il terreno di fondazione e quindi vi si accumula. Penetrando nell'organismo attraverso la respirazione, i prodotti del suo decadimento irradiano i polmoni e accrescono perciò il rischio di cancro ai polmoni. Conformemente all'Ordinanza sulla radioprotezione, il limite di concentrazione del radon è fissato a 1000 Bq per m³ nei locali d'abitazione e di soggiorno e a 3000 nelle aree di lavoro. Il valore operativo per le nuove costruzioni e le ristrutturazioni è di 400 Bq per m³. L'esecuzione di queste prescrizioni, in vigore dal 1994, ossia la rilevazione del radon, l'allestimento delle mappe, le disposizioni di risanamento e le prescrizioni corris-

¹⁾ Ordinanza sulle sostanze estranee e sui componenti nelle derrate alimentari.

pondenti relative all'edilizia sono compito dei Cantoni con i quali si è instaurata in questo campo una stretta cooperazione. L'UFSP gestisce un servizio tecnico e d'informazione sul radon (v. capitolo B.2).

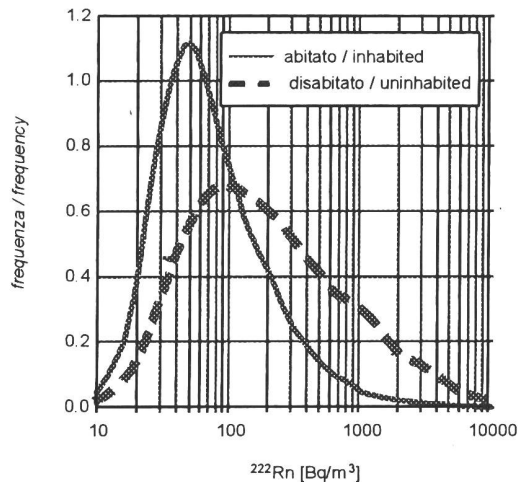


Fig. 2 Curva di frequenza della concentrazione di radon nelle case in Svizzera

Il valore mediano delle misure del radon svolte sinora in circa 9000 case in tutta la Svizzera è di circa 60 Bq per m³ (fig. 2). L'1 a 2 per cento, ossia alcune migliaia di case della Svizzera, superano il valore limite di 1000 Bq per m³, mentre nel 94 per cento dei casi la concentrazione è inferiore al valore operativo di 400 Bq per m³. La distribuzione dei dati non è interamente rappresentativa, dato che le case monofamiliari sono state considerate più che proporzionalmente alla loro quota, la maggior parte delle misure si è svolta durante la stagione fredda in case riscaldate e il numero dei rilevamenti operati è relativamente maggiore nelle regioni dove si presumeva un alto livello di concentrazione del radon. I fattori più importanti che influenzano la concentrazione del radon sono il contenuto di radio e, soprattutto, la permeabilità del suolo, nonché la penetrabilità dei pavimenti e delle pareti dei piani inferiori. A questi s'aggiunge il cosiddetto "effetto camino", vale a dire il movimento ascendente dell'aria calda all'interno dell'edificio che risucchia il radon dal terreno di fondazione. In generale la concentrazione diminuisce di piano in piano; i valori più alti sono perciò quelli misurati in cantina. La concentrazione è spesso maggiore negli edifici vecchi che in quelli nuovi, nelle case monofamiliari e contadine che in quelle plurifamiliari. Un soletta di cemento armato ben colata quale fondamento è spesso in grado d'ostacolare la penetrazione del radon. La concentrazione del radon può essere assai diversa in due

edifici vicini; si sono osservate differenze fino al fattore 100. Per determinare con sufficiente affidabilità il contenuto di radon di una casa è necessario ricorrere a misure; i pronostici fondati unicamente sui parametri geologici del terreno di fondazione sono troppo incerti. Allo stesso modo, non si può determinare con sufficiente certezza il potenziale di radon di una regione unicamente in base a criteri geologici e le «regole» che valgono apparentemente per una regione non sono necessariamente applicabili a un'altra. Gli edifici che presentano valori elevati si possono risanare riducendo le possibilità di penetrazione del gas con provvedimenti di costruzione, ad esempio con misure atte a impermeabilizzare il pavimento e le pareti della cantina o con l'aerazione forzata della cantina e dei locali sotterranei. L'isolazione degli edifici verso l'esterno allo scopo di risparmiare energia di riscaldamento non comporta tuttavia necessariamente un aumento della concentrazione di radon all'interno.

2.6. Organismo umano

Con l'alimentazione, la radioattività penetra anche nell'organismo umano. Anche qui prevalgono i radionuclidi naturali. Il corpo di una donna adulta contiene, ad esempio, circa 100 g di potassio, quello di un uomo 150 g. Questo corrisponde a un'attività di 3000, rispettivamente 4500 Bq di potassio-40. Poiché il potassio è incorporato soprattutto nel tessuto muscolare, l'organismo maschile ne contiene più di quello femminile. Quale controllo finale dell'intera sorveglianza, si misurano i radionuclidi artificiali contenuti nell'organismo umano: lo stronzio-90 nei denti di latte e nelle vertebre e il cesio-137 nell'organismo di persone attive e di studenti. Lo stronzio ha un comportamento fisiologico simile a quello del calcio, il cesio a quello del potassio. Calcio e stronzio si trovano principalmente nelle ossa e nei denti, potassio e cesio nel tessuto muscolare. La concentrazione media dello stronzio-90 (usualmente indicata per rapporto al calcio) nei denti di latte era di 0,044 Bq, nelle vertebre di 0,020 Bq per ogni grammo di calcio. Le misure del cesio-137 svolte su liceali ginevrini hanno dato nel 1995 una media inferiore a 10, quelle sui liceali basilesi a 40 Bq (v. capitolo B.3.14).

3. Dosi d'irradiazione

La radioattività influisce sull'organismo umano in due modi: irradiandolo dall'esterno attraverso la

radioattività dell'aria, del suolo, dei materiali di costruzione, ecc. e dall'interno attraverso i radionuclidi giunti nel corpo con l'aria respirata e con il cibo. Il presente capitolo offre un compendio delle dosi d'irradiazione.

3.1 Irradiazione esterna: sorveglianza delle dosi ambiente

La metà circa della dose ambiente esterna naturale all'aperto (pari a 0,4 mSv all'anno in media per la Svizzera) deriva dalla radioattività terrestre. Il resto proviene dalla radiazione cosmica che aumenta con l'altitudine: sulle rive del Ceresio comporta ad esempio 0,35 mSv, a San Moritz 0,65 mSv all'anno. Con la rete di misura automatica NADAM e altri metodi di misura si sorvegliano le dosi ambiente all'aperto (v. capitolo B.3.4). Nel corso degli ultimi anni, il contributo di Cernobil alla dose ambiente è gradualmente calato, dato che il cesio-137 decade e penetra in strati più profondi del terreno. All'interno delle case, la dose d'irradiazione esterna risulta attenuata per l'influsso schermante dei muri; d'altra parte viene ad aggiungersi il contributo dei radionuclidi contenuti nei materiali di costruzione. Tutto sommato, quest'ultimo prevale solitamente sull'effetto dei muri dell'edificio, per cui nelle case l'esposizione a irradiazione è in media del 20 per cento circa superiore a quella all'aperto. Se si presuppone che una persona trascorra in casa l'80 per cento del tempo, si ottiene una dose media d'esposizione della popolazione svizzera a radiazioni esterne di 0,8 mSv all'anno.

Il cripto-85, una gas nobile di lunga durata che giunge nell'ambiente in seguito alla rigenerazione di combustibile nucleare, è in lento aumento e si sta diffondendo su tutta la terra. Ne deriva un'irradiazione esterna della pelle con una dose efficace di 0,000'01 mSv all'anno.

Complessivamente, in Svizzera, le dosi ambiente all'aperto sono comprese tra 0,7 e 1,7 mSv all'anno. Per quanto riguarda le fonti naturali, 0,32 a 0,7 mSv all'anno provengono dalla radiazione cosmica, 0,02 a 0,4 dal potassio-40, 0,02 a 0,55 dai radionuclidi della catena di decadimento dell'uranio e 0,02 a 0,38 da quelli del torio. I contributi artificiali derivano quasi esclusivamente dal cesio-137: circa 0,02 mSv all'anno dalle ricadute delle armi nucleari e il resto (0,1 a 0,6 mSv all'anno nel Ticino, 0,02 a 0,4 nella regione alpina e 0,01 a 0,1 nella parte rimanente del Paese) dall'incidente di Cernobil.

3.2. Irradiazione interna attraverso radionuclidi nell'organismo umano

I contributi principali alla dose d'irradiazione naturale interna di 0,36 mSv all'anno sono quelli del potassio-40 con 0,18 mSv e del polonio-210 con 0,12 mSv all'anno. I radionuclidi carbonio-14, berillio-7, sodio-22 e tritio (^3H), originati dalla radiazione cosmica, causano complessivamente all'incirca 0,015 mSv all'anno. Altri 0,04 mSv provengono dai radionuclidi delle catene di decadimento naturali dell'uranio e del torio nella crosta terrestre, 0,006 mSv all'anno dal rubidio-87 di lunga durata. Per chi consuma regolarmente acque minerali contenenti emettitori alfa naturali in concentrazioni dell'ordine di grandezza di 1 Bq per litro, la dose annuale aumenta al massimo di alcuni centesimi di mSv all'anno. Con 1,6 mSv all'anno in media, il radon e i prodotti del suo decadimento causano quasi la metà dell'esposizione media ad irradiazione della popolazione svizzera. Si sono riscontrati estremi massimi di 100 mSv all'anno. Penetrando nell'organismo attraverso la respirazione, i prodotti radioattivi del suo decadimento irradiano i polmoni e accrescono perciò il rischio di cancro. In Svizzera, alcuni casi su cento di cancro ai polmoni si devono al radon. Conformemente alle raccomandazioni dell'OMS, si dovrebbe evitare che il rischio di cancro ai polmoni dovuto al radon nei locali abitati comporti più di un caso su mille abitanti all'anno, il che corrisponde ad una concentrazione di circa 1000 Bq/m³.

Il contributo dei radionuclidi artificiali presenti nell'organismo – provenienti per la maggior parte dagli esperimenti con armi nucleari e dall'incidente nel reattore di Cernobil – si aggira attualmente, per persone con abitudini alimentari medie, sugli 0,006 mSv all'anno. La maggior parte di questa dose è attribuibile al cesio-137 e allo stronzio-90, con 0,002-0,003 mSv all'anno ognuno, mentre il carbonio-14 causa sinora meno di 0,002 mSv all'anno, il tritio meno di 0,000'05. Dal plutonio-239 derivano all'incirca 0,000'03 mSv all'anno, mentre i radionuclidi artificiali rimanenti causano soltanto dosi interne negliegibili.

4. Sorveglianza speciale di impianti nucleari, imprese e ospedali

Attraverso l'aria emessa e le acque di scarico, radionuclidi possono giungere nell'ambiente da impianti nucleari e da imprese che producono o

trattano sostanze radioattive; è perciò necessario allestire un bilancio delle emissioni e sottoporre a sorveglianza la zona circostante. In questo capitolo riassumeremo gli esiti di questa sorveglianza.

4.1. Impianti nucleari

(v. capitolo B.4)

La sorveglianza dell'ambiente circostante gli impianti nucleari si svolge in stretta cooperazione tra la Divisione principale per la sicurezza degli impianti nucleari (DSN), l'Ufficio federale della sanità pubblica (UFSP/SUER) e altri enti cantonali e federali. Le misure includono, accanto alle dosi ambiente, la radioattività presente nell'aria, nelle precipitazioni, nel suolo, nell'erba, nei cereali, nel latte e in altri prodotti agricoli, come anche nell'acqua fiumana, nella falda freatica, nei pesci, nelle piante acquatiche e nei sedimenti. Le complementano misure in situ, voli aeroradiometrici e misure del carbonio-14 nelle foglie degli alberi. Le dosi ambiente in prossimità delle centrali nucleari sono registrate per mezzo di una rete automatica di misura (MADUK) con 12 a 18 stazioni di misura per ogni centrale. Nell'anno in rassegna, la sorveglianza dell'ambiente circostante le centrali nucleari e l'Istituto Paul Scherrer di Villigen/AG (PSI) non ha rivelato valori superiori ai limiti. Un modesto influsso delle centrali è accertabile unicamente per quanto riguarda le radiazioni dirette nelle immediate vicinanze di reattori ad acqua bollente, nonché nei sedimenti e nelle piante acquatiche dei corsi fiumani a valle degli impianti. In prossimità degli impianti nucleari si misura inoltre un superamento fino al 10 per cento del livello universale di concentrazione del carbonio-14. Nell'area circostante l'PSI, la concentrazione del carbonio-14 si è nettamente ridotta dallo spegnimento del reattore di ricerca SAPHIR dell'PSI e supera attualmente il livello naturale di meno del 15 per cento. In caso di funzionamento normale, l'impatto delle emissioni dagli impianti nucleari svizzeri sull'ambiente non è di rilievo e le dosi d'irradiazione della popolazione che ne derivano sono nettamente inferiori al limite di 0,2 mSv per anno.

Negli scorsi anni, l'Istituto federale per l'approvvigionamento, la depurazione e la protezione delle acque (EAWAG) ha svolto per mandato della DSN ricerche sulla diffusione nei fiumi e sulla sedimentazione dei radionuclidi evacuati con le acque di scarico delle centrali nucleari. Gli esiti di tali ricerche consentono di migliorare i modelli relativi al trasporto in ambiente

acquatico e hanno anche indotto un adeguamento del programma di sorveglianza dell'ambiente circostante le centrali, segnatamente per quanto riguarda i procedimenti di campionatura e di misura (v. capitolo B.3.7).

L'impianto, fuori funzione, della centrale atomica sperimentale di Lucens/VD è stato interamente smantellato e la caverna colmata di cemento. Ad eccezione di una piccola particella, la zona è stata rilasciata nel 1995 dalla legislazione sugli impianti atomici e trasferita per uso al Cantone di Vaud. Nel 1969, l'impianto di Lucens era stato fermato dopo un grave contrattempo che, per fortuna, non ebbe ripercussioni sull'ambiente. Per incarico dell'UFSP, la radioattività delle acque di drenaggio che ne defluiscono sarà regolarmente esaminata ancora per i prossimi trent'anni.

I limiti posti alle evacuazioni dalle centrali nucleari di Beznau (CNB), Gösgen-Däniken (CNG), Leibstadt (CNL) e Mühleberg (CNM) e dell'Istituto Paul Scherrer (PSI) sono fissati nelle rispettive licenze in modo tale che la dose d'irradiazione della popolazione residente nelle vicinanze non possa superare 0,2 mSv all'anno. Le aziende devono tenere continuamente sotto controllo le sostanze radioattive emanate con l'aria o con l'acqua di scarico e a redigerne il bilancio. L'autorità di vigilanza, la Divisione principale per la sicurezza degli impianti nucleari (DSN), controlla queste dichiarazioni con misure proprie e calcola le dosi massime d'irradiazione della popolazione circostante. Nel 1995, le centrali nucleari e l'Istituto Paul Scherrer hanno osservato i limiti d'evacuazione; l'esposizione massima a irradiazione di adulti e bambini nelle immediate vicinanze, calcolata in base alle premesse meno favorevoli, è stata di 0,010 mSv per la centrale nucleare di Mühleberg, di 0,004 mSv per quella di Leibstadt, di 0,002 mSv per quelle di Gösgen-Däniken e Beznau e di 0,006 mSv per l'Istituto Paul Scherrer di Villigen. Per le centrali nucleari, il contributo di dose principale è quello delle emanazioni di carbonio-14.

4.2. Aziende industriali e ospedali

(v. capitolo B.5)

Per impiegare sostanze radioattive in aziende, ospedali o istituti di ricerca è necessaria una licenza della Confederazione. L'Ufficio federale della sanità pubblica sorveglia gli istituti che si occupano di medicina, ricerca o insegnamento, mentre l'Istituto nazionale svizzero d'assicurazione contro gli infor-

tuni (SUVA) controlla le aziende industriali, commerciali e artigianali, i laboratori d'analisi e aziende dell'amministrazione pubblica. Dalle aziende che manipolano grandi quantità di sostanze radioattive si possono esigere un bilancio delle emanazioni e la sorveglianza dell'ambiente circostante. Misure di questo tipo hanno luogo tra altro presso le aziende industriali di lavorazione del tritio a Teufen/AR e Niederwangen/BE, nonché presso le sale di composizione con vernici luminescenti al tritio nella regione di La Chaux-de-Fonds.

Nel 1995, le aziende industriali tenute a presentare alla SUVA un bilancio delle loro emanazioni hanno osservato i limiti d'evacuazione di sostanze radioattive nell'ambiente fissati nelle rispettive licenze. Come in passato, dalle misure di sorveglianza dell'ambiente circostante risultano concentrazioni di tritio nelle precipitazioni e nelle acque di superficie fino ad alcune migliaia di Bq per litro; i valori limiti d'emissione fissati nell'Ordinanza sulla radioprotezione non sono tuttavia stati superati e non risultano dosi inammissibili d'irradiazione della popolazione. Il deflusso di tritio nella regione di La Chaux-de-Fonds per il 1995 misurato all'uscita dell'impianto di depurazione era di circa 15 TBq. Come confermano analisi dell'urina svolti in passato a Teufen/AR e Niederwangen/BE, le emissioni di tritio di queste aziende provocano dosi aggiuntive d'irradiazione della popolazione circostante non superiori a 0,03 mSv all'anno.

Le evacuazioni di radioattività attraverso gli impianti di depurazione delle grandi città Zurigo, Basilea, Berna, Losanna e Ginevra sono sottoposte anch'esse ad un continuo controllo per mezzo della

raccolta di campioni. Nelle acque di scolo, e in parte anche nei fanghi di depurazione, si rileva essenzialmente la presenza dello iodio-131 impiegato negli ospedali per il trattamento della tiroide e del tritio proveniente dall'incenerimento delle immondizie e da applicazioni industriali. Nel 1995 non si sono più constatate concentrazioni eccessive di iodio-131 nel deflusso dell'impianto di depurazione delle acque di Berna e spesso i valori dei campioni settimanalmente prelevati erano inferiori al limite di misurabilità. Il deflusso di iodio-131 dall'impianto di depurazione delle acque di Berna nell'anno in rassegna è stato di circa 15-25 GBq, quello di tritio di circa 0,5 TBq. Nell'Aar a valle di Berna, la concentrazione settimanale di tritio era compresa tra 2,2 e 7,5 Bq per litro, con una media annuale di 3,2 Bq per litro. Poiché, in tutti i casi menzionati, le acque provenienti dalle aziende o dagli impianti di depurazione non sono immediatamente destinate al consumo umano, ma vengono fortemente diluite con l'immissione nei fiumi, le dosi d'irradiazione della popolazione che ne derivano sono trascurabili. Nelle vicinanze delle aziende sorvegliate non si sono constatate immissioni illecite secondo l'Ordinanza sulla radioprotezione.

Per quanto concerne il carbonio-14 misurato nelle foglie di alberi vicini al «vecchio» inceneritore (ormai demolito) della CIBA a Basilea, il superamento del livello normale di concentrazione è sensibilmente diminuito dal 40 per cento al 10 per cento, dato che le emissioni sono cessate dal luglio 1994. Le misure svolte presso il terreno della SANDOZ, che nel 1994 avevano indicato aumenti di concentrazione inferiori al 10 per cento, sono rimaste invariate.

Tabella 2: Sorveglianza degli impianti di depurazione (campioni settimanali)

Impianto di depurazione delle acque	Bq/l J-131	Bq/l tritio	eccezioni
Zurigo	≤1	≤10	--
Basilea	≤0,1-1	≤20	4 campioni fino a 60 Bq/l
Berna	≤0,5-2	9-20	--
Losanna	≤0,6-0,9	2-8	--
Ginevra	≤0,5	≤20	5 campioni fino a 144 Bq/l

5. Dosi d'irradiazione della popolazione (v. tabella 3)

In media, la popolazione svizzera è esposta ogni anno ad una dose complessiva d'irradiazione di

circa 4 mSv. Il 40 per cento deriva dal radon e dai prodotti del suo decadimento all'interno delle case. Questo contributo presenta anche il più alto margine di variazione. Il 30 per cento circa della dose è attribuibile alle radiazioni naturali, un quarto alle appli-

cazioni mediche e meno del 5 per cento a tutte le rimanenti fonti artificiali di radioattività insieme. La parte di origine naturale proviene dai radionuclidi contenuti nel suolo e nei materiali di costruzione, dalla radiazione cosmica e dai radionuclidi naturali contenuti nell'organismo umano, di cui la parte principale si deve al potassio-40 (fig. 3).

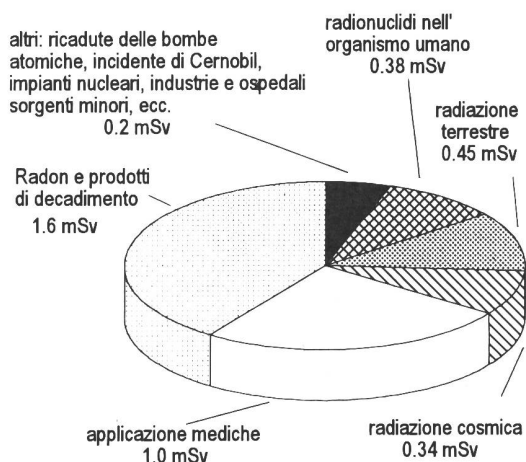


Fig. 3 Contributi medi all'esposizione a radiazioni (totale: 4 mSv/anno)

Il contributo della radioattività artificiale penetrata nell'organismo umano insieme con il cibo è inferiore a un centesimo di mSv all'anno. Tra le fonti radioattive artificiali predomina il contributo della radiodiagnostica medica e della medicina nucleare, che, in ogni singolo caso, dipende in larga misura dal tipo e dalla frequenza degli esami o trattamenti. I dati della tabella 3 relativi alla dose derivante degli esami radiodiagnostici provengono da una ricerca svolta nel 1978 e non corrispondono verosimilmente più allo stato attuale; un nuovo studio è perciò in fase di preparazione. Le emissioni radioattive degli impianti nucleari, dell'industria e degli ospedali causano soltanto dosi d'irradiazione assai modeste anche per la popolazione residente nelle immediate vicinanze. A questo risultato si giunge anche applicando i presupposti più sfavorevoli per quanto riguarda il luogo di soggiorno, le abitudini di vita e l'alimentazione. Le ripercussioni dell'incidente nel reattore di Cernobil nell'aprile del 1986 e degli esperimenti svolti in passato con armi nucleari causano oggi soltanto ancora dosi d'irradiazione modeste, soprattutto attraverso il cesio-137 sedimentato sul suolo o ingerito con il cibo. L'incidente di Cernobil non ha in Svizzera ripercussioni sanitarie

accertabili, ad esempio per quanto riguarda i casi di cancro e le malformazioni genetiche (v. capitoli B.1.2 e B.1.3). Un contributo all'esposizione difficile da valutare con precisione deriva inoltre dalle sorgenti radioattive legate al nostro modo di vivere e dalle cosiddette "fonti minori". Si tratta di oggetti d'uso e beni di consumo che contengono quantità modeste di radionuclidi, ad esempio di orologi con cifre luminose a base di tritio¹⁾, dei radionuclidi naturali in piastrelle, reticelle, ceramica dentaria e di avvisatori di fumo a ionizzazione, come anche del polonio-210 aspirato con il fumo del tabacco. La radiazione cosmica addizionale a cui si espone chi viaggia in aeroplano causa, a 10 km di altitudine, una dose ambiente di 5 micro-Sv/ora, a 12 km di 8 micro-Sv/ora. Il personale di volo subisce perciò una dose addizionale d'irradiazione annua di circa 5 mSv al massimo. Le 60'892 persone professionalmente esposte a radiazioni, occupate nelle centrali nucleari, nell'industria, nel commercio, nei servizi pubblici, nella ricerca e nella medicina, hanno accumulato nel 1995 dosi di 50 mSv al massimo. La dose collettiva è stata di 10 Sievert-persona all'anno. Soltanto nel 3,7 per cento dei casi la dose era superiore a 1 mSv per anno, in due casi si è superato il limite di 20 mSv prescritto dall'Ordinanza sulla radioprotezione.

1) Per gli orologi con cifre luminose è consentito in Svizzera un contenuto di tritio di 0,29 GBq al massimo e di 0,19 GBq in media. Ogni anno, questi orologi liberano circa il 5 per cento del tritio che contengono nell'aria circostante, in seguito respirata. Chi porta orologi in plastica assorbe una quantità modesta di tritio anche direttamente attraverso la pelle. In Austria, si sono misurate nell'urina di persone che portano continuamente un orologio in plastica contenente tritio concentrazioni di tritio di circa 200 a 1100 Bq per litro (P. Brunner et al., in *Health Physics* 70/4, 1996, pag. 484-487). In caso di esposizione permanente, questo corrisponde a una dose annua di 0.004 a 0.02 mSv. Dal 1993 il tritio non è mai utilizzato per le orologi in plastico della ditta SMH.

Tabella 3: Dosi d'irradiazione della popolazione svizzera nel 1995

Valori medi approssimativi e margini di variazione della dose efficace in millisievert all'anno, tenuto conto della durata di permanenza in casa.

Radiazione	Fonte	Descrizione	Margine di variazione mSv/anno	Media mSv/anno
naturale	radiazione terrestre	prodotti di decadimento dell'uranio e del torio e potassio-40 nel suolo (inclusi i materiali di costruzione)	0,2 - 1,5	0,45
	radiazione cosmica	dipendente dall'altitudine $D(\text{mSv/a}) = 0.324 \cdot e^{(0.38 \cdot z)}$ (z = altitudine in km)	0,3 - 0,6	0,34
	radionuclidi naturali nell'organismo umano	potassio-40, uranio e torio e prodotti del loro decadimento, tritio, carbonio-14 ecc.	0,2 - 0,5	0,38
legata al modo di vivere e da	radon e prodotti del suo decadimento	media svizzera in casa: 60 Bq radon-222/m ³	0,3 - 100	1,6
fonti radioattive artificiali	incidente di Cernobil	dose nel 1995: bilancio globale (1986-2000):	0,01 - 0,1 (0,2 - 5)	0,01 (0,5)
	ricadute delle armi nucleari	dose nel 1995: bilancio globale (1946-2000):	0,01 - 0,02 (0,5 - 5)	0,01 (1,2)
	evacuazioni degli impianti nucleari	dose massima per la popolazione nelle vicinanze	≤ 0,015	---
	evacuazioni di altre aziende	dose massima per la popolazione nelle vicinanze	≤ 0,03	---
	fonti minori e altre dosi imputabili al modo di vivere	es. orologi con cifre luminose, polonio-210 del fumo, volo e altre fonti minori	0-5	0,1
	applicazioni mediche	radiodiagnosi (1978)	0 - 30	1
		medicina nucleare (1989/90)	0 - 80	0,04
legata all'attività professionale	esposizione professionale	in totale, 60'892 persone hanno subito nel 1995 10 Sievert-personia media = 0,16 mSv/anno	0 - 50; ≥ 1 nel 3,7% dei casi	0,16
personale di volo	aumento della radiazione cosmica	a 10-12 km di altitudine: 5-8 micro-Sv/ora	2-5 ^{*)}	---

^{*)} Stima della dose addizionale annua per il personale di volo durante l'orario di lavoro

Unità di misura, regolamentazione legale e sorveglianza

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. 10^{-3} , 10^{-6} , 10^{-9} e 10^{-12} Bq si dicono millibecquerel (mBq), microbecquerel (μ Bq), nanobecquerel (nBq) e picobecquerel (pBq). 10^3 , 10^6 , 10^9 e 10^{12} Bq si designano con i termini chilobecquerel (kBq), megabecquerel (MBq), gigabecquerel (GBq) e terabecquerel (TBq). In passato, l'unità più in uso era il Curie (Ci): $1 \text{ Ci} = 37 \text{ Bq}$, $1 \text{ Bq} = 27 \text{ pCi}$.

Le **dosi d'irradiazione** della popolazione indicate sono dette dosi efficaci (E) e si misurano in millisievert (mSv). La dose efficace è definita come la somma delle dosi (equivalenti di dose) di tutti gli organi irradiati, ponderate secondo la sensibilità di ognuno di essi. Questa misura permette di valutare l'effetto biologico della radiazione sull'intero organismo umano indipendentemente dal tipo e dalla provenienza di quest'ultima.

Conformemente all'Ordinanza sulla radioprotezione (ORaP), le persone professionalmente esposte a radiazioni non devono subire dosi annuali superiori a 20 mSv. Per la popolazione rimanente il valore limite d'irradiazione in seguito alla radioattività legata alla civilizzazione e alle radiazioni presenti nell'ambiente (senza il radon e le applicazioni mediche) è fissato a 1 mSv all'anno. L'Ordinanza pone inoltre limiti all'immissione di sostanze radioattive nell'aria e nelle acque pubblicamente accessibili. Questi limiti sono fissati in modo tale che una persona che bevessa sempre acqua o respirasse aria appena conformi subirebbe per ognuno un'irradiazione di 0,2 mSv all'anno. Per l'irradiazione diretta, il valore limite della dose ambiente è di 5 mSv all'anno nelle aree pubblicamente accessibili e di 1 mSv all'anno nei locali di abitazione, di soggiorno e di lavoro. Valori limite e di tolleranza per i radionuclidi nelle derrate alimentari sono pubblicati nell'Ordinanza sulle sostanze estranee e sui componenti nelle derrate alimentari (OEC). Quello che conta per la radioprotezione è il valore limite, mentre il valore di tolleranza costituisce unicamente un criterio di qualità e il suo superamento non comporta alcun rischio. L'evacuazione di sostanze

radioattive nell'ambiente deve, in ogni caso, essere controllata. L'autorità cui compete il rilascio delle licenze fissa i limiti d'immissione. Per gli impianti nucleari, questi sono ad esempio scelti in modo tale che, anche nelle immediate vicinanze, nessuno subisca una dose aggiuntiva superiore 0,2 mSv all'anno. Il limite di concentrazione del radon nei locali d'abitazione e di soggiorno è fissato a 1000 Bq/m^3 . Edifici che presentano valori superiori a questo limite devono essere risanati. Gli edifici nuovi e quelli riattati non dovrebbero superare un limite operativo di 400 Bq/m^3 .

a) Oggetti del programma di misure sono:

- la **radioattività ambientale** diffusa su aree geograficamente estese;
- le **immissioni** nei pressi di impianti nucleari, aziende industriali e ospedali;
- le **dosi d'irradiazione della popolazione**.

b) Reti automatiche di misura e di preallarme:

- NADAM: Misura delle dosi ambiente in 58 stazioni;
- MADUK: Misura delle dosi ambiente in prossimità di ogni centrale nucleare;
- RADAIR: Radioattività dell'aria presso 10 stazioni di misura.

c) Misure su campioni prelevati dall'ambiente

In diversi punti del Paese si raccolgono e si esaminano regolarmente campioni d'acqua piovana e fiumana, di aerosoli e delle acque di scolo dagli impianti di depurazione nelle grandi agglomerazioni. Si analizzano inoltre sporadicamente anche campioni di terra, erba, latte, cereali, altre derrate alimentari, acqua della falda freatica, pesci, piante acquatiche, sedimenti e altro. Si svolgono misure del cesio nell'intero organismo e analisi di denti di latte come anche delle vertebre di persone decedute per determinarne il contenuto di stronzio-90. Nei dintorni degli impianti nucleari e delle aziende, come anche per quanto concerne il radon all'interno delle case, sono in atto progetti speciali.

d) Partecipano alle misure al controllo dei campioni (v. anche pag. III):

- le **autorità competenti per il rilascio delle licenze e per la sorveglianza (UFSP, DSN, SUVA)**;
- i **laboratori chimici cantonali** per il controllo delle derrate alimentari;
- **altre istituzioni della Confederazione**;
- **istituti universitari**.



Report on Environmental Radioactivity and Radiation Doses 1995: Summary ¹⁾

H. Völkle

Section of Environmental Radioactivity (SUER)

Swiss Federal Office of Public Health, Chemin du Musée 3, CH-1700 FRIBOURG

Switzerland has been performing systematic monitoring of radioactivity in the environment and in food for forty years. This report contains the results of measurements made in the course of 1995 and the consequential radiation doses for the population. The monitoring programme deals with radioactivity in the atmosphere, precipitation, aquatic systems, soil, grass, foodstuffs and the human body, but also includes natural radiation, doses due to radon inside dwellings, emissions from nuclear power stations and other operations using radionuclides, as well as miscellaneous radiation sources. All the nuclear power plants and other facilities licensed to handle radioactive substances remained within their annual release limits in 1995, and environmental measurements revealed no inadmissible immission or dose values. The population's mean annual radiation dose totals 4 mSv, with some 40% of this due to radon in the home (but with extreme values as high as 100 mSv), another 30% coming from natural radiation, a quarter from medical applications and less than 5% from artificial radiation.

1. Introduction

Radioactivity and ionising radiation have been present in our environment ever since it came into existence. Their natural causes are cosmic radiation and the natural radioactivity of the Earth's crust. The atmosphere, soil, aquatic systems, plants and the human body all also contain natural radionuclides. The use of nuclear fission in atomic bombs and nuclear reactors creates artificial radionuclides, and these may escape into the environment. Radioisotopes are also used in research, industry and medicine.

Switzerland's Radiological Protection Ordinance (*Strahlenschutzverordnung, StSV*) lays down an annual limit of 20 mSv for persons exposed to radiation in the course of their work and 1 mSv for doses due to radioactive immissions in the environment for the rest of the population, excluding, however, medical applications and natural radiation. The Ordinance also sets maximum immission values for the atmosphere and water and for ambient doses in publicly accessible places, plus tolerance and limit values for radionuclides in food, and also maximum values and guideline values for radon in residential accommodation and at the workplace.

2. Natural Radioactivity

This section provides a summary of the monitoring results.

2.1. Atmosphere and Precipitation

Traces of caesium-137 resulting from nuclear-weapons testing and the Chernobyl reactor accident are still detectable in the atmosphere at concentrations of up to a few micro-Bq/m³. Other man-made radionuclides have even lower concentrations, for instance: Plutonium-239 at less than 0.002 micro-Bq/m³. The radioactive inert gases krypton-85 and argon-37 have 1-2 Bq/m³ and 0.7-4 mBq/m³ respectively. The first of these is an indicator of the reprocessing of nuclear fuels and has been increasing slowly since the 1970s; the latter is released during underground nuclear-weapons tests. In addition to the artificial radionuclides, the atmosphere also contains radionuclides of natural origin. These are the descendent products of radon (0.5-20 Bq/m³), including lead-210 (0.2-5 mBq/m³), and polonium-210 as well as beryllium-7 (1-8 mBq/m³) and tritium and carbon-14. The latter two products are mainly the result of cosmic radiation, but a small amount is also caused by human activities. In the case of carbon-14, the concentration in the biosphere is still some 12%

1) English translation by Mike Evans, Freiburg/BrsG

above the natural level as a consequence of nuclear-weapons tests.

It is no longer possible to detect artificial radionuclides in precipitation, although the naturally-occurring beryllium-7 and tritium are still present. The tritium content, that rose to several hundred becquerels per litre in the 1960s at the time of atmospheric nuclear tests, has been declining steadily since then. In regions that are not affected by local emitters, it is now down at 1.4-2 Bq/l, but may reach several thousand Bq/l in the near vicinity of industrial operations working with tritium.

2.2. Aquatic systems

In river-water samples that are collected on a continuous basis, it is now generally no longer possible to detect artificial radionuclides using standard measuring techniques (caesium-137, for instance, is at less than 0.02 Bq/l). The only product that is an exception to this is tritium with a range of <1-10 Bq/l; the river Doubs is also an exceptional case and it is discussed below. On occasions, the tritium concentration does reveal anthropogenic effects, coming, for example, from tritium-processing industries and/or nuclear power facilities, and it is particularly smaller bodies of water in the near vicinity of factories producing luminescent dyestuffs that are affected, with concentrations of up to 100 Bq/l. Values as high as 30 Bq/l have been measured, for instance, in the river Doubs at St. Ursanne (Canton Jura). Leachates from landfills on which waste containing tritium had been dumped at some time in the past also occasionally still reveal higher tritium concentrations. Sediments taken from the beds of rivers and lakes contain detectable caesium doses due mainly to the Chernobyl reactor accident, although effluent from nuclear plants may lead to an increase in downstream concentrations, and iodine-131 is present in sewage sludge of hospital origin. Aquatic plants have turned out to be good indicators for radioactive emissions from nuclear facilities. In 1995, the caesium-137 concentration in Lake Lugano that resulted from the Chernobyl reactor accident was measured at between 0.003 and 0.034 Bq/l – values that are still higher than those for Lake Constance. Near the bottom of the lake, the concentrations are around an order of magnitude higher than at its surface, which would suggest that caesium-137 is being dissolved back out from the sediment and/or that it is concentrating in the lake water. The caesium-137

concentration in streams that run into Lake Lugano is around 0.004 Bq/l. Core borings taken from sediment show clear deposition maxima resulting from the fallout from nuclear-weapons tests (1958 and 1963) and Chernobyl (1986). (Discussed in detail in section B.3.9 of the report).

2.3. Soil and plant life

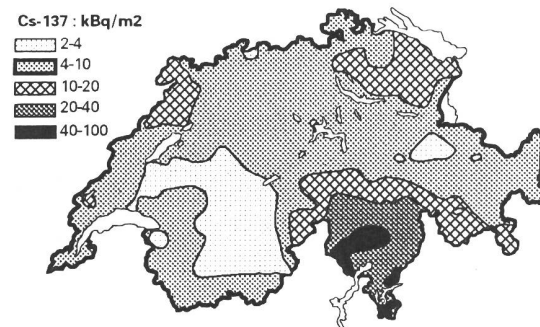


Fig. 1: Caesium-137 contamination of the soil in Switzerland resulting from the Chernobyl reactor accident calculated from *in-situ* measurements (cf. European caesium map issued by the European Commission, Luxembourg, July 1996)

Natural radionuclides such as the long-lived potassium-40 and the elements belonging to the natural decay chains of uranium and thorium have always been present in the soil. Potassium-40 is also to be found in plants, which take it up through their roots. The long-lived lead-210, on the other hand, is mainly deposited on plants from the atmosphere. Amongst the artificial radionuclides to be found in the soil and grass, it is strontium-90 and caesium-137 that dominate. For the first of these, it is the contribution of the nuclear-weapons tests that is the main source, whereas the latter still shows the very distinctive pattern of the Chernobyl deposits. Caesium deposited on the soil decays and gradually penetrates to lower strata. Measured in kBq/m², caesium-137 deposits in Switzerland resulting from the Chernobyl reactor accident stand at 10 to more than 40 on farmland in Ticino (Tessin), 5-20 in the Alps and Eastern Switzerland and at <10 in the rest of the country (Fig. 1); the nuclear-weapons fallout is at 2-8 in the Alps and around 2-4 in the rest of Switzerland. In forest soils, caesium persists for a longer period of time in the topmost, mainly organic layer; that explains why there should still be elevated ambient doses there and why fungi growing in the wild should still have higher caesium values. The highest values measured in forest soils

were recorded in Ticino at just about 50 kBq of caesium-137 per square metre and a maximum level

of activity at a depth of between 2 and 5 cm. (Discussed in detail in section B.3.13).

Table 1: Overview of radionuclides in the soil and grass

Isotope	Soil: Bq/kg		Grass: Bq/kg dry	
K-40	150 - 900		450 - 2500	
Ra-226 ¹⁾	20 - 100		---	
Ac-228 ²⁾	10 - 50		---	
	Alps, Ticino	Rest of Switzerland	Alps, Ticino	Rest of Switzerland
Cs-137	30 - 400	10 - 90	< 40 ³⁾	< 10
Cs-134	< 20	< 5	< 10	< 5
Sr-90	5 - 30	0.3 - 5	4 - 40	1 - 10
Pu-239	0.2 - 2	0.2 - 2	---	---

1) Representative of the uranium decay chain; 2) Representative of the thorium decay chain, 3) exception: Intragna: 250 Bq/kg

2.4. Foodstuffs

The monitoring of radioactivity in food is carried out jointly with the cantonal laboratories, which the Radiological Protection Ordinance has made responsible for ensuring that the tolerance and maximum values for food are respected (see section B.3.10). In food of both vegetable and animal origin, it is, once again, the naturally-occurring potassium-40 that dominates, accounting for 0.12 parts-per-thousand of total potassium. In milk, it reaches levels of around 50 Bq/l and, in cereals, approximately 100 Bq/kg. In 1995, the caesium-137 concentration in milk to the north of the Alps was less than 0.17 Bq/l, in the Alps, it was less than 0.5 Bq/l, whilst in Ticino and the southern valleys of Graubünden (Grisons), isolated peak concentrations of up to 17 Bq/l were still being recorded. For strontium-90, concentrations to the north of the Alps were less than 0.14 Bq/l, and in the Alps and Ticino they were less than 0.5 Bq/l. Cereals had a Cs-137 content of less than 0.6 Bq/kg and Sr-90 in the range of 0.2-0.5 Bq/kg. In some instances elevated caesium concentrations due to the Chernobyl reactor accident are still to be found in the meat of game animals and in fungi growing in the wild. In random samples of both imported and domestic game, the Cs-137 activity in 1995 was below the tolerance limit of 600 Bq/kg. Certain species of domestic fungi growing in forests still showed isolated caesium-137 values of 1200 Bq/kg of freshly picked weight on the northern side of the Alps and even of up to 5500 Bq/kg in Ticino. So far, there is no sign of any really appreciable reduction occurring here. Given

the fact that people only consume small amounts of game and wild fungi, the radiation doses resulting from them are insignificant. Analyses performed by the Aargau cantonal laboratory on a series of the most frequently imported mineral waters showed that none of them exceeded the limit value of 1 Bq/l for naturally-occurring alpha-emitting radionuclides laid down in the Swiss Ordinance on Food Contents and Contaminants ('F/V'), so that no measures were called for affecting that category of product (see section B.3.8). Another mineral water imported from Portugal, that had been sampled for testing by the Neuchâtel cantonal laboratory, had a total level of 2.5 Bq/l of natural alpha emitters and had to be withdrawn from sale. Investigations of mineral and other potable waters are continuing.

2.5. Radon in dwellings

Radon, a decay product of the radium that occurs naturally in the soil, makes its way into dwellings mainly through their substructures and, once inside, tends to accumulate. If inhaled, its descendent products irradiate the lungs, thereby increasing the lung-cancer risk. The Swiss Radiological Protection Ordinance has set a maximum value of 1000 Bq/m³ for residential accommodation and other buildings in which people are likely to spend time; for the workplace, the limit is increased to 3000 Bq/m³; for new and converted buildings, a guideline value of 400 Bq/m³ has been set. Enforcing these regulations, that have been in effect since 1994, is a matter for the cantons and involves, in particular, carrying out measurements, producing maps, order-

ing remedial work and adopting the appropriate building regulations. The federal authorities and the cantons liaise very effectively in this area. The Swiss Federal Office of Public Health runs a special *Radon Technical and Information Centre* (see section B.2).

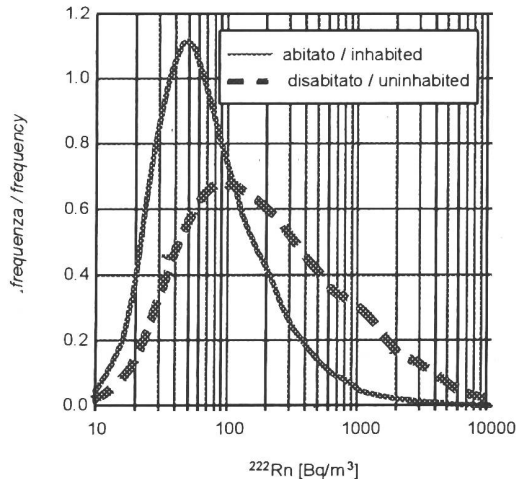


Fig. 2: Frequency distribution of radon concentration in Swiss homes

To date, some 9000 radon measurements have been made in people's homes throughout Switzerland and they have produced a median value of approximately 60 Bq/m³ for residential accommodation (Fig. 2). In some 1-2% of homes (i.e. in a few thousand buildings taking Switzerland as a whole) the limit value of 1000 Bq/m³ is exceeded; in 94% of houses, the concentration is below the guideline value of 400 Bq/m³. The distribution of the data is not entirely representative, since single-family dwellings are over-represented and most of the measurements were made during the heating seasons; regions of Switzerland in which higher radon levels are suspected are also over-represented. The primary source of radon is the soil; building materials and drinking water play a less important part. The main parameters are the radon content of the soil under the building, and especially soil permeability to gas, as well as inadequacies in the sealing of floors and walls in the lower storeys of buildings. An important factor is the chimney effect caused by warm air rising inside buildings, thereby aspirating radon out of the foundations. Concentrations are normally highest in cellars and decrease from floor to floor up the building. It is often the case that older buildings have higher values than newer ones and that detached houses and farm buildings have higher values than blocks of

flats. A properly cast concrete foundation slab is often a good means of inhibiting radon occurrence. Concentrations of radon gas can be very different indeed even between neighbouring houses; cases in which such differences have been as high as a factor of one hundred have already gone on record. However, the only way to obtain a reliable picture regarding radon levels inside houses is to carry out actual measurements; trying to make a prediction based on the geological parameters of the terrain underneath the building is simply not accurate enough. Nor is there sufficient certainty for determining the radon potential of a given region solely on the basis of geological criteria, and the 'rules' that appear to apply in one region cannot simply be transposed to others. Where radon values are too high, it is possible to reduce the amount of gas that penetrates a building by adopting construction measures, such as sealing the floors and walls of cellars in combination with the forced ventilation of cellars and any rooms below ground level. When the outer shell of a building is sealed in order to reduce the amount of energy needed to heat it, the outcome is not necessarily a higher concentration of radon on the inside.

2.6. Human body

Radioactivity also makes its way into the human body through food. Once again, it is the natural radionuclides that dominate. The body of an adult female contains roughly 100 g of potassium and a male some 150 g. That corresponds to a potassium-40 activity of 3000 or 4500 Bq respectively. Potassium tends to prefer muscular tissue, which is the main reason why men have more of it than women. As part of the final-stage verification of the monitoring process, man-made radionuclides in the human body are also measured; strontium-90 is determined in milk teeth and vertebrae and caesium-137 in whole-body analyses of members of the working population and children attending school. Physiologically, strontium behaves like calcium and caesium like potassium; found primarily in muscular tissue. The mean strontium-90 activity in milk teeth and vertebrae (which is indicated in terms of relative content compared with calcium) stood at 0.044 and 0.020 Bq/g Ca respectively. In 1995, the caesium-137 measurements recorded on children attending grammar schools in Geneva and Basle were below 10 and 40 becquerels respectively (see section B.3.14).

3. Radiation Doses

There are two different ways in which radioactivity leads to radiation exposure. The first of these is external radiation (i.e. radiation from outside the body) that comes from radioactivity in the atmosphere, soil, building materials, etc. The second is internal radiation (i.e. radiation from inside the body itself) caused by radionuclides that enter it through the air breathed in and through food. This section of the report provides a summary of radiation doses.

3.1. External radiation: monitoring ambient doses

Roughly one half of the natural external ambient dose in the open air (with the mean annual value for Switzerland standing at 0.4 mS/year) comes from terrestrial radioactivity. The rest comes from cosmic radiation, that increases at higher altitudes above sea level. On Lake Lugano, it is 0.35 mSv per year; up in St. Moritz, it has already risen to 0.65 mSv per year. Ambient outdoor doses are monitored by an automatic network known as NADAM plus a number of other measurements (see section B.3.4). The Chernobyl contribution to the ambient dose has declined steadily in recent years, since the caesium-137 is decaying and penetrating into deeper strata of soil. The walls of buildings have the effect of attenuating external radiation doses compared with outdoors; on the other hand, however, building materials make their own radionuclide contribution. Generally, this latter factor outweighs the former, so that radiation inside buildings is generally some 20% higher than outdoors. Given that people living in Switzerland spend 80% of their time inside buildings, the resultant average annual external radiation exposure for the Swiss population is approximately 0.8 mSv.

Gradual increases have been recorded world-wide in the concentration of the inert gas, krypton-85, that has a long half-life and makes its way into the environment during the reprocessing of nuclear fuel. It causes external radiation of the skin and leads to an effective annual dose of 0.000 01 mSv.

The annual outdoor ambient doses in Switzerland fall within a range of 0.7-1.7 mSv. These break down into a natural component (i.e. cosmic radiation) of 0.32-0.7, a potassium-40 contribution of between 0.02 and 0.4, with shares of 0.02-0.55 from nuclides of the uranium decay chain and 0.02-0.38

from nuclides of the thorium decay chain (the unit being mSv per year). The man-made element comes almost exclusively from caesium-137. Around 0.02 is from nuclear-weapons fallout and the rest from the Chernobyl reactor accident, accounting for 0.1-0.6 in Ticino, 0.02-0.4 in the Alps and 0.01-0.1 in the rest of Switzerland.

3.2. Internal radiation through radionuclides in the human body

Of the natural annual internal dose of 0.36 mSv, the main contributions come from potassium-40 and polonium-210, with 0.18 and 0.12 mSv per annum respectively. Those radionuclides that are produced by cosmic radiation – carbon-14, beryllium-7, sodium-22 and tritium (H-3) – add up to around 0.015 mSv per annum. The nuclides of the natural decay chains of uranium and thorium existing in the Earth's crust contribute a further 0.04 mSv per annum, and some further 0.006 mSv per annum come from the long-lived rubidium-87. The regular consumption of mineral waters with natural alpha emitters with concentrations in the range of a few becquerels per litre will increase the annual dose by, at most, a few hundredths of a millisievert. Radon and its descendent products cause an annual average of 1.6 mSv – in other words almost half of the total average radiation exposure of the population, with extreme annual values of up to 100 mSv being recorded. When the radioactive descendent products of radon are inhaled, they irradiate the lungs and thereby increase the risk of lung cancer. Of all the cases of lung cancer that occur in Switzerland, a few percent are to be ascribed to radon. According to the World Health Organisation, any lung-cancer risk through radon in dwellings should not exceed one case per thousand inhabitants per year, which corresponds exactly to the limit value of 1000 Bq/m³ laid down in the Swiss Radiological Protection Ordinance.

Today, the contribution from man-made radionuclides in the body (most of which come from the nuclear-weapons tests and the Chernobyl reactor accident) is around 0.006 mSv per annum for people with average nutritional habits. Of this, the largest component – 0.002-0.003 mSv per annum – is from each caesium-137 and strontium-90, whereas the anthropogenic share in carbon-14 and tritium is now even less than 0.002 or 0.000 05 mSv per annum respectively; for plutonium-239 the contribution is some 0.000 03 mSv/year. All the other

artificial radionuclides cause internal radiation doses at a negligibly low level.

4. Areas Subject to Particular Monitoring: Nuclear Facilities, Factories and Hospitals

There is a risk of radionuclides being released into the environment in the waste air and/or waste water of nuclear facilities and factories that produce or process radioactive materials. This makes it necessary to draw up emission balance sheets and carry out environmental monitoring. The results of this monitoring are summarised in this chapter.

4.1. Nuclear facilities

(See section B.4)

Monitoring the neighbourhoods of the nuclear facilities involves the close cooperation of the Nuclear Safety Inspectorate (*Hauptabteilung für Sicherheit der Kernanlagen, HSK*), the Swiss Federal Office of Public Health (*BAG/SUER*) and additional federal and cantonal agencies. In addition to ambient doses, the measurements include radioactivity in the air, rain, soil, grass, cereals, milk and other agricultural produce, river and underground water, fish, aquatic plants and sediments, and are complemented by *in-situ* measurements, aero-radio-metric flights and carbon-14 determinations on the leaves of trees. The ambient doses in the areas around the nuclear power stations are recorded on an automatic monitoring network (known as MADUK), with some 12-18 sensors per plant. During the year under review, no values in excess of the targets were recorded during environmental monitoring for any of the nuclear power plants or the Paul Scherrer Institute (in Canton Aargau). Slight effects due to the nuclear facilities are to be found merely in the direct radiation in the near vicinity of boiling-water reactors and in sediments and aquatic plants in rivers downstream of installations. For carbon-14, an increase of up to 10% compared with the world-wide level can also be measured in their immediate neighbourhood. As far as the Paul Scherrer Institute is concerned, the amount of increase in the carbon-14 level has declined noticeably since the SAPHIR research reactor was shut down and it is now under 15%. The effects on the environment of radioactive emissions from Swiss nuclear power plants under normal operating conditions are insignificant, and the resultant

radiation dose for the population is well below the limit of 0.2 mSv per annum.

In recent years, EAWAG, working on a contract from the Nuclear Safety Inspectorate, HSK, has been investigating the spread in rivers of radionuclides released with the waste water from nuclear power stations and the manner in which they make their way into sediments. The results have permitted enhanced modelling of the transport processes in the aquatic environment and have also led to an adaptation of the environmental monitoring programme, especially as regards the sampling and measuring techniques practised.

Following dismantling of the installation and the filling of the underground cavern with concrete, the former experimental nuclear reactor in Lucens (Canton Vaud) has been removed from the scope of nuclear legislation and handed over to the Canton-Vaud authorities for further use – with the exception of one tiny plot of land. The Lucens plant was shut down in 1969 following a serious incident that, fortunately, had no impact on the environment. The Swiss Federal Office of Public Health has issued a contract for the leachate from the site to be measured regularly for radioactivity for the next thirty years.

The emission limits for the nuclear power stations in Beznau (KKB), Gösgen-Däniken (KKG), Leibstadt (KKL) and Mühleberg (KKM) and the Paul Scherrer Institute (PSI) have been set down in the operating licences in such a way that the doses for members of the neighbourhood population will not exceed 0.2 mSv per year. All these installations have a duty to carry out continuous monitoring of the radioactive emissions in their waste air and effluent and to draw up balance sheets. The Nuclear Safety Inspectorate (HSK) counterchecks this data by carrying out measurements of its own and calculates the resultant maximum radiation doses for people living nearby. In 1995, all the nuclear power stations and the Paul Scherrer Institute operated within the emission limits set for them. Working on the least favourable assumptions, the maximum radiation exposure in 1995 for adults and small children in the near vicinity were 0.010 mSv for Mühleberg, 0.004 mSv for Leibstadt, 0.002 mSv for both Gösgen-Däniken and Beznau and 0.006 mSv for the Paul Scherrer Institute in Villigen. For the nuclear power stations, the biggest dose share comes from emissions of carbon-14.

4.2. Industrial operations and hospitals

(See section B.5)

Any industry, hospital or research organisation wishing to handle radioactive substances must first obtain a licence from the Swiss federal authorities. In the case of medical, research and academic applications, it is the Federal Office of Public Health that acts as the inspectorate; for industrial, trade, commercial and analytical applications as well as operations involving the public administration, it is the Swiss National Accident Insurance Organisation (SUVA) that assumes the same function. In the case of companies that process larger volumes, it is possible for the authorities to require the keeping of balance sheets of emissions of radioactive substances and the monitoring of the neighbourhood. Measurements of this nature are carried out, for instance, around the tritium-processing factories in Teufen (Canton Appenzell) and Niederwangen (Canton Berne) as well as the fluorescent-dye factories in the region of La-Chaux-de-Fonds.

Those industrial operations that are required to submit an emission balance sheet to SUVA all remained within the limits set in their licences for emissions of radioactive substances to the environment in 1995. Although environmental monitoring did show tritium concentrations of up to a few thousand Bq/l in precipitation and surface waters (as in the past), the immission limit values laid down in the Radiological Protection Ordinance were, however, not exceeded, and there was no inadmissible radiation dose for the population. Measurements made at the outflow of the effluent treatment works, showed that the tritium discharge in the La-Chaux-de-Fonds region was around 16 TBq in 1995. The tritium emissions of these plants cause additional doses for the local population of, at most, 0.03 mSv per year – as has been confirmed in the

past by urine analyses in Teufen and Niederwangen.

The radioactivity released through the sewage treatment plants of the biggest conurbations in Switzerland – Zurich, Basle, Berne, Lausanne and Geneva – are monitored through the taking of regular aggregate samples. The main substances detected in their waste water (and partly also in their sewage sludge) are iodine-131, that is used in hospitals for thyroid treatments, and tritium resulting from both waste incineration and industrial applications. In the whole course of 1995, no further increased iodine-131 values were measured at the outflow discharged from Berne sewage works, and the values of the weekly samples were frequently below the detectability limit. The total iodine-131 discharged by the Berne sewage works in 1995 was around 15-25 GBq and the total tritium approximately 0.5 TBq. In the river Aare downstream of Berne, the weekly tritium values ranged from 2.2 to 7.5 Bq/l, with an annual average of 3.2 Bq/l. Given that, in all the cases mentioned, the waste water from factories or sewage treatment works is not drunk unprocessed but is very considerably diluted through being discharged into rivers, radiation doses for the population are negligibly low. In the neighbourhood of the operations monitored, no immission was detected that would have been prohibited by the Radiological Protection Ordinance.

As far as carbon-14 in the leaves of trees near to Ciba's 'old' (and subsequently demolished) incineration plant in Basle is concerned, a marked decline in the amount of increase from 40% to 10% has been recorded, given that the emissions have ceased to occur since July 1994. Samples taken from near the Sandoz works, which had shown increases of less than 10% in 1994, presented the same picture in 1995.

Table 2: Monitoring sewage works (weekly samples)

Sewage works:	Bq/l I-131	Bq/l tritium	Exceptions
Zurich	≤1	≤10	-
Basle	≤0.1-1	≤20	4 samples: up to 60 Bq/l
Bern	≤0.5-2	9-20	-
Lausanne	≤0.6-0.9	2-8	-
Geneva	≤0.5	≤20	5 samples: up to 144 Bq/l

5. Population Radiation Doses

(See Table 3)

The annual overall radiation exposure of the Swiss population averages out at around 4 mSv. Some 40% of this is due to radon and its descendent products inside buildings, and this is also the component that is subject to the greatest degree of variability. Around 30% comes from natural radiation, a further quarter from medical applications and less than 5% from all the other artificial sources of radiation together. The natural component comes from radionuclides in the soil and building materials, cosmic radiation and radionuclides in the human body, with potassium-40 accounting for the largest share (Fig. 3).

The contribution of man-made radiation reaching the body through food is less than one hundredth of a millisievert per year. Amongst the artificial sources, the predominant component comes from medical X-ray diagnostics and nuclear medicine and varies from case to case as a function of the type and frequency of examinations. The figure given in Table 3 for the dose resulting from X-ray tests is taken from a survey that dates back to 1978 and is thus unlikely to be an accurate reflection of the current state-of-affairs; a new study is thus being prepared. Emissions of radioactivity from nuclear installations, factories and hospitals cause only very low radiation doses, even for the population living right next to them. That still applies even if the least favourable assumptions are made regarding exactly where people spend their time and what their daily and nutritional habits are. The effects of the Chernobyl reactor accident of April 1986 and the nuclear-weapons tests that took place before that are today only causing low levels of radiation doses, mainly through the caesium-137 deposited in the ground or ingested with food. In Switzerland, the Chernobyl accident is not having any impact on health that could be measured, such as cancer cases, or causing genetic malformations (see sections B.1.2 and B.1.3). A further contribution to radiation exposure that cannot be measured with anything like precision comes from sources of radiation associated with our form of civilisation and the so-called 'minor sources'. These include utilitarian objects and consumer goods that contain small amounts of radionuclides, such as clocks and

watches with tritium-based luminescent figures ¹⁾, natural radionuclides in tiles, fluorescent lights, dental ceramics, ionising smoke detectors, plus the plutonium-210 that is inhaled in cigarette smoke. The higher concentration of cosmic radiation in aircraft leads to an ambient dose of 5 or 8 μ Sv/h at altitudes of 10 or 12 km respectively, which means an additional annual radiation dose of up to around 5 mSv for airline crews. The 60'892 people whose jobs expose them to radiation in nuclear power stations, factories, trade, public services, research and medicine received accumulated doses up to a maximum of 50mSv in 1995, corresponding to a collective dose of 10 person-sieverts per year. In only 3.7% of cases was the dose greater than 1 mSv/year. Two workers exceeded the limited of 20 mSv/year laid down in the Radiological Protection Ordinance.

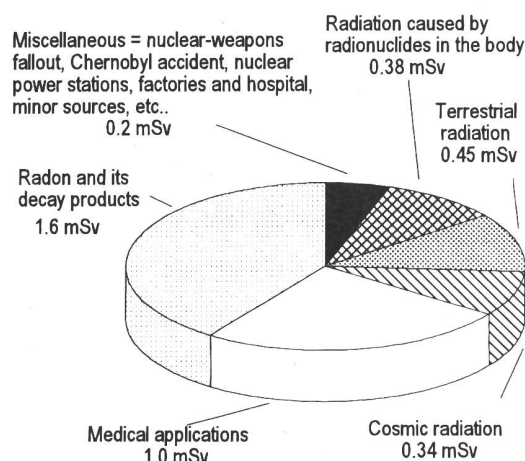


Fig. 3: Contributions to radiation exposure (total: 4 mSv/year)

1) In Switzerland, wrist watches with luminescent figures are not permitted to contain more than a maximum of 0.29 GBq of tritium or an average of 0.19 GBq. Such watches release around 5% of this tritium to the atmosphere around them every year, and some of that will then be inhaled. In the case of watches with a plastic body, a small amount of tritium will penetrate the plastic and enter the wearer's body directly as a result of the contact between the skin and the plastic. Measurements made in Austria (P. Brunner *et al.* reporting in *Health Physics*, 70/4 [1996], pp. 484-487) show that people who wear a tritium watch with a plastic body all the time have a tritium level of around 200-1100 Bq/l in their urine. Over time, this amounts to an annual dose of 0.004-0.02 mSv. Since 1993 tritium is not used any more on watches with plastic body by the factory SMH.

Table 3: Radiation doses of the Swiss population in 1995

Approximate mean values and value ranges indicated as effective doses in millisieverts per year, considering the amount of time spent inside buildings.

Radiation	Source	Description	Value range mSv/year	Mean value mSv/year
Natural radiation	Terrestrial radiation	Uranium and thorium descendent products plus potassium-40 in the soil (including building materials)	0.2-1.5	0.45
	Cosmic radiation	Altitude-dependent: $D(\text{mSv/y}) = 0.324 \cdot e^{(0.38z)}$ (where z is altitude in km)	0.3-0.6	0.34
	Natural radionuclides in the body	Potassium-40, uranium, thorium and decay products, tritium, carbon-14, etc.	0.2-0.5	0.38
Radiation resulting from civilisation and man-made radiation sources	Radon and its decay products	Nationwide mean inside houses: 60 Bq radon-222/m ³	0.3-100	1.6
	Chernobyl reactor accident	Dose for 1995: Total balance (1986-2000):	0.01-0.1 (0.2-5)	0.01 (0.5)
	Nuclear weapons fallout	Dose for 1995: Total balance (1986-2000):	0.01-0.02 (0.5-5)	0.01 (1.2)
	Discharges from nuclear facilities	Values calculated for population in the immediate vicinity assuming the least favourable circumstances	≤0.015	---
	Discharges from other factories	Maximum values for population in the immediate vicinity	≤0.03	---
	Minor sources and other radiation doses resulting from civilisation	For instance, watches with luminescent dials, polonium-210 in cigarette smoke, aircraft flights and miscellaneous minor sources	0-5	0.1
	Medical applications	X-ray diagnostics (1978): Nuclear medicine	0-30 0-80	1 0.04
Workers	Persons exposed as part of their jobs	In 1995, 60'892 persons received a total dose of 10 person-sieverts; mean = 0.16 mSv/y	0-50 ≥ 1 in 3.7% of cases	0.16
Airline crews	Increased cosmic radiation	Dose rate at an altitude of 10-12 km: 5-8 micro Sv/hour	2-5 *)	---

*) Estimated additional annual dose of airline crews on duty.

Units, Regulations and Monitoring

Radioactivity is a property of instable atomic nuclei to change (undergoing radioactive decay) without external influences, and, in the process, releasing 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. 10^{-3} , 10^{-6} , 10^{-9} and 10^{-12} becquerels are written mBq, μ Bq, nBq and pBq respectively (milli-, micro-, nano- and pico-). In the same way, 10^3 , 10^6 , 10^9 and 10^{12} becquerels are written kBq, MBq, GBq and TBq respectively (kilo-, Mega-, Giga- and Tera-). In the past, another unit, the Curie (Ci) was frequently used ($1 \text{ nCi} = 37 \text{ Bq}$ or $1 \text{ Bq} = 27 \text{ pCi}$).

The population's **radiation doses** are indicated as an effective dose (E) and the unit used is the millisievert (mSv). This is the sum of the (equivalent) doses of all the irradiated organs of the body weighted in terms of their individual radiation sensitivity. It is regarded as a parameter for assessing the biological impact of radiation on a human being as a whole and does not depend on the type or origin of radiation.

According to the **Swiss Radiological Protection Ordinance**, the doses of people exposed to radiation at their workplace must not exceed 20 mSv per year and the dose for the general 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. The Ordinance also lays down immission limits for the atmosphere and water in places accessible to the public, and if such limits were to be used to the full in terms of a continuous burden in drinking water and the air breathed, they would result in an additional approximately 0.2 mSv per year each. For direct radiation, a limit of 5 mSv per year applies to ambient doses in places accessible to the public and 1 mSv per year applies in the home, at the place of work and in other buildings where people congregate. Tolerance and limit values for radionuclides in food are published in the Swiss Ordinance on Food Contents and Contaminants ('FIV'). 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/m^3 . If this maximum is exceeded then remedial work must be performed on the buildings concerned. For new or converted buildings, the guideline value of 400 Bq/m^3 should not be exceeded.

a) The parameters measured by the monitoring programme are:

- **environmental radioactivity** spread over a large area,
- **immissions** from nuclear power stations, factories and hospitals,
- **population radiation doses**.

b) Automatic measuring and early-warning networks:

- NADAM: ambient doses measured at 58 locations,
- MADUK: ambient doses in the neighbourhoods of nuclear power stations,
- RADAIR: atmospheric radioactivity at ten sites.

c) Measurements on environmental samples

Samples of the following are collected continuously at different locations throughout the country: atmospheric aerosols, precipitation, river water, effluent from sewage treatment works in the big conurbations. Random samples are taken of soil, grass, milk, cereals, other foodstuffs, ground water, fish, aquatic plants, sediments and other materials. Whole-body measurements are carried out to determine caesium levels in human beings; milk teeth and vertebrae from cadavers are analysed to determine strontium-90. Special programmes apply to the neighbourhoods of nuclear facilities and factories and also for radon in the home.

d) The following are involved in measuring and sampling (cf. page III):

- **Licensing authorities and inspectorates (FOPH, HSK, SUVA),**
- **Cantonal food laboratories,**
- **Various other federal institutions,**
- **University institutes.**