

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: - (1994)

Rubrik: Überblick : Umweltradioaktivität und Strahlendosen 1994 = Aperçu : radioactivité de l'environnement et doses de rayonnement en 1994 = Ricapitolazione : radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione nel 1994 = Synopsis : environmental radioactivity and radiation exposure in 1994

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>

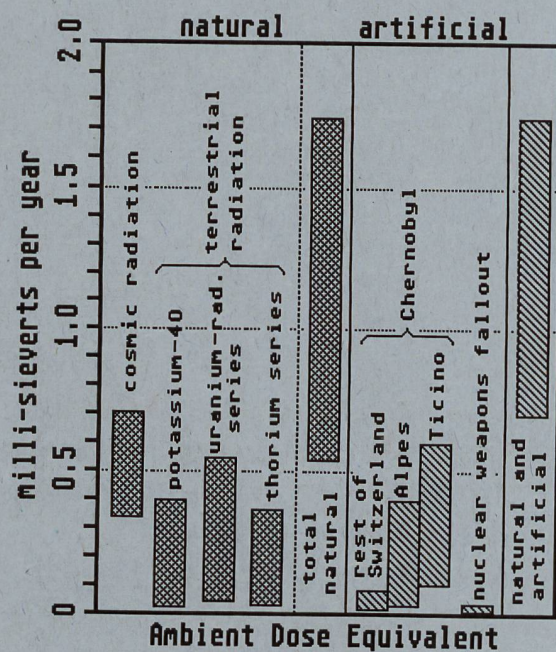
A

ÜBERBLICK

APERÇU

RICAPITOLAZIONE

SYNOPSIS



A

ÜBERBLICK - APERÇU - RICAPITOLAZIONE - SYNOPSIS

UMWELTRADIOAKTIVITÄT UND STRAHLENDOSEN 1994: ÜBERBLICK	A. 1
RADIOACTIVITE DE L'ENVIRONNEMENT ET DOSES DE RAYONNEMENTS EN 1994: APERÇU	A.14
RADIOATTIVITA DELL'AMBIENTE E DOSI D'IRRADIATIONE NEL 1994: RIASSUNTO	A.28
ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY AND RADIATION DOSES IN 1994: OVERVIEW	A.41

A

UMWELTRADIOAKTIVITÄT UND STRAHLENDOSEN 1994 : ÜBERBLICK

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

Zusammenfassung

Die Radioaktivität von Umwelt und Lebensmitteln wird in der Schweiz seit Mitte der 50er-Jahre systematisch überwacht. Dieser Bericht enthält die Ergebnisse der Messungen von 1994, ergänzt durch die Interpretation der Daten und die daraus resultierenden Strahlendosen der Bevölkerung. Überwacht wird die Radioaktivität in Luft, Niederschlägen, Gewässern, Boden, Gras, Lebensmitteln und im menschlichen Körper, aber auch die natürliche Strahlung, der Radon-Gehalt im Hausinnern, die Emissionen aus Kernanlagen und Betrieben, die Radionuklide verwenden, und übrige Strahlenquellen. Kernkraftwerke und Betriebe, die über eine Bewilligung für den Umgang mit radioaktiven Stoffen verfügen, haben 1994 (mit einer Ausnahme) ihre Jahresabgabelimiten 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.

I. Einleitung

Radioaktivität und ionisierende Strahlung sind in unserer Umwelt seit jeher vorhanden. Ihre natürlichen Ursachen sind die kosmische Strahlung und die natürliche Radioaktivität der Erdkruste. Luft, Erdboden, Gewässer, Pflanzen und der menschliche Körper enthalten ebenfalls natürliche Radionuklide. Durch die Anwendung der Kernspaltung in Atombomben und Kernreaktoren entstehen künstliche Radionuklide, die in die Umwelt gelangen können. Radioisotope werden zudem in Forschung, Industrie und Medizin angewendet. Die Gefährdung der Bevölkerung durch die Radioaktivität aus den Kernwaffenversuchen der 50er- und 60er-Jahre war der Auslöser für eine umfassende Umweltüberwachung in der Schweiz seit 1956. Heute steht jedoch die Strahlenexposition durch Radon im Hausinnern sowie die Überwachung der Umgebung von Kernanlagen und Radioisotope verarbeitenden Betrieben im Vordergrund.

Die am 1. Oktober 1994 in Kraft getretene neue Strahlenschutzverordnung (StSV vom 22.6.1994) begrenzt die Dosen für beruflich strahlenexponierte Personen auf 20 mSv pro Jahr, jene der übrigen Bevölkerung durch radioaktive Immissionen in der

Umwelt - mit Ausnahme medizinischer Anwendungen und natürlicher Strahlung - auf 1 mSv pro Jahr. In der Verordnung werden auch Immissionsgrenzwerte für Luft, Wasser und Ortsdosen im öffentlich zugänglichen Bereich, Toleranz- und Grenzwerte für Radionuklide in Lebensmitteln, sowie Grenzwerte für Radon im Wohnbereich festgelegt (Siehe Kästchen).

II. Umweltradioaktivität

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der grossräumigen Umweltüberwachung zusammengefasst. Die gemessenen Radioaktivitätskonzentrationen in Umweltproben werden in Bq (Becquerel, siehe Kästchen) angegeben.

a) Luft und Niederschläge

In Luft und Niederschlägen sind immer noch grossräumig verbreitete künstliche Radionuklide - vor allem Caesium-137 und Strontium-90 - von den Kernwaffenversuchen und vom Reaktorunfall in Tschernobyl vorhanden. Ihre Konzentration hat in den letzten Jahre stetig abgenommen und ist heute oft nur noch mit hochempfindlichen Messverfahren nachweisbar.

Einheiten und Vorschriften

Radioaktivität ist eine Eigenschaft instabiler Atomkerne, sich ohne äussere Einwirkung umzuwandeln (radioaktiver Zerfall) und dabei eine charakteristische (ionisierende) Strahlung in Form von Alpha- oder Beta-Teilchen sowie 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.

Die seit 1.10.94 gültige neue **Strahlenschutzverordnung** (StSV) basiert auf den neuesten Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) von 1991. Die Dosen beruflich strahlenexponierter Personen werden auf 20 mSv pro Jahr limitiert, diejenigen der Bevölkerung durch zivilisationsbedingte Radioaktivität und Strahlung in der Umwelt - jedoch ohne Radon und medizinische Anwendungen - auf 1 mSv pro Jahr. Für Luft und Wasser im öffentlich zugänglichen Bereich legt die Verordnung Immissionsgrenzwerte fest, deren Ausschöpfen bei Dauerbelastung über Trinkwasser und Atemluft zu je rund 0.2 mSv pro Jahr 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. Erstmals

werden auch Toleranz- und Grenzwerte für Radionuklide in Lebensmitteln eingeführt und 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 Abgabelimiten festgelegt werden. Diese sind beispielsweise bei den Kernanlagen so gewählt, dass keine Person in der Nahumgebung eine zusätzliche Dosis von mehr als 0.2 mSv pro Jahr erhalten kann. 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.

*) 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publication Nr. 60, Annals of the ICRP Vol.21/1-3 (1991); Pergamon Press Oxford. ISBN 0-08-041144-4 or ISSN 0146-6453.

Nebst den genannten künstlichen Radionukliden enthält die Luft auch solche natürlichen Ursprungs. Es sind dies die Radon-Folgeprodukte, inklusive Blei- und Polonium-210, aber auch Beryllium-7, Tritium und Kohlenstoff-14, die durch die kosmische Strahlung, bei den zwei letztgenannten zusätzlich auch durch menschliche Tätigkeiten, erzeugt werden. Beim Kohlenstoff-14 liegt die Konzentration in der Biosphäre infolge der Kernwaffenversuche heute noch um etwa 12 Prozent über dem natürlichen Pegel. Da dieses Nuklid auch von den Kernanlagen freigesetzt wird, sind dessen Konzentrationen in deren Nahumgebung um zusätzliche etwa 10 Prozent erhöht. Andere künstliche Radionuklide, die als Spuren in der Luft vorkommen, sind Plutonium-239, sowie die radioaktiven Edelgase Krypton-85 und Argon-37, als Indikatoren für die Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoff bzw. für unterirdische Kernwaffenversuche.

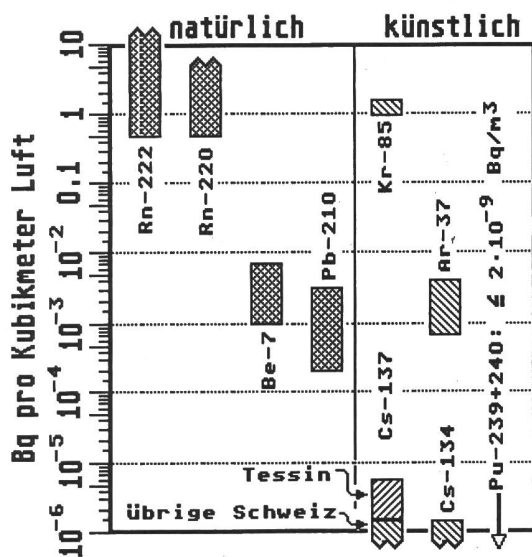


Fig. 1: Radionuklide in der Aussenluft

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

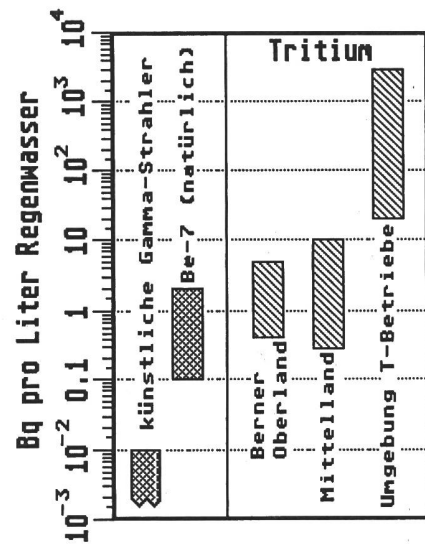


Fig. 2: Radionuklide im Regen

b) Gewässer

Die Überwachung der aquatischen Systeme umfasst Oberflächen- und Grundwasser, Fische, Wasserpflanzen, Sedimente, sowie Abwässer aus Kläranlagen und Deponien. In den kontinuierlich gesammelten Flusswasserproben sind - ausser Tritium - künstliche Radionuklide mit den üblichen Messverfahren meist nicht mehr nachweisbar. Der Tritiumgehalt in den monatlichen Flusswasserproben zeigt teilweise anthropogene Einflüsse z.B. aus der Leuchtfarbenindustrie und von den Kernanlagen, dies besonders in kleineren Gewässern in der Nahumgebung von Leuchtfarbenbetrieben. Auch Sickerwässer von Deponien, auf denen früher Tritium-haltige Abfälle beseitigt wurden, weisen teilweise noch erhöhte Tritium-Konzentrationen auf. In Sedimenten sind Caesium-Beiträge nachweisbar, vorwiegend vom Reaktorunfall Tschernobyl, unterhalb der Kernanlagen auch solche aus deren flüssigen Abgaben, im Klärschlamm Jod-131 aus den Spitätern. Auch Wasserpflanzen erweisen sich als gute Indikatoren für Radioaktivitätsemissionen aus den Kernanlagen. Sedimentbohrkerne aus dem Boden-, Genfer-, Bieler- und Luganersee lassen beim Caesium-137 sowohl den Kernwaffenausfall wie auch den Unfall Tschernobyl gut erkennen und ermöglichen eine Bilanzierung der abgelagerten Caesiummengen.

Was wird überwacht und wer führt die Messungen durch ?

a) Ziele des Messprogrammes

- Ziel der Überwachung ist die Erfassung der räumlichen und zeitlichen Verteilung der **Umweltradioaktivität**, insbesondere auch von langfristigen Trends und Akkumulationen von Radionukliden.
- Zu überwachen sind auch die **Immissionen** durch künstliche Radionuklide, insbesondere bei Kernanlagen, Industriebetrieben und Spitälern, zur Kontrolle der Einhaltung der Immissionsgrenzwerte.
- Schliesslich sind die **Strahlendosen der Bevölkerung** aus künstlichen und natürlichen Quellen zu ermitteln, wobei dem Radon im Wohnbereich eine besondere Bedeutung zukommt.

b) Automatische Mess- und Frühwarnnetze

- Das aus 58 Stationen bestehende **NADAM-Netz** registriert kontinuierlich die Ortsdosen in der ganzen Schweiz.
- Das **MADUK-System** überwacht die Ortsdosen in der Nahumgebung der Kernkraftwerk an je 12 bis 18 Messstationen.
- Das **RADAIR-Netz** überwacht die Aerosol-Radioaktivität der Luft an 10 Stationen in der Schweiz und einer im Fürstentum Liechtenstein; dieses Netz befand sich 1994/95 noch im Aufbau und wird die bestehenden Messgeräte (ohne Datenfernübertragung) ersetzen.

c) Messungen an Umweltproben

Kontinuierlich an mehreren Stellen im ganzen Lande gesammelt und durch Laboranalysen untersucht werden die Niederschläge, die Aerosole der Luft, die Flüsse, und die Abwasser der Kläranlagen der Agglomerationen Zürich, Basel, Bern und Lausanne. Stichprobenweise analysiert werden Proben von Erdboden, Gras, Milch, Getreide, weitere Lebensmittel, Grundwasser, Fische, Wasser-

pflanzen, Sedimente und weitere Proben. Zur Endkontrolle der Radioaktivität im menschlichen Körper werden Ganzkörpermessungen zur Bestimmung von Caesium und Analysen an Milchzähnen und Wirbelknochen Verstorbener zur Bestimmung von Strontium-90 durchgeführt. Für die Umgebung der Kernanlagen (sowie von Radioisotopeverarbeitenden Betrieben) bestehen Spezialprogramme, ebenso für das Radon im Hausinnern und für die natürliche Untergrundstrahlung.

d) An den Messungen und Probenahmen beteiligte Stellen

- Die **Bewilligungs- und Aufsichtsbehörden**: Bundesamt für Gesundheitswesen (BAG) Bern, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) Villigen und Schweiz. Unfallversicherungsanstalt (SUVA) Luzern.
- Die **Kantonalen Laboratorien** für die Überwachung der Lebensmittel.
- **Weitere Institutionen des Bundes**: Nationale Alarmzentrale (NAZ) Zürich; Institut für Geophysik der ETH Zürich; Paul-Scherrer-Institut (PSI) Abt. Strahlenhygiene, Villigen/AG; Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) Dübendorf; AC-Laboratorium der Armee, Spiez; Landeshydrologie und -Geologie des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) Ittigen/BE; Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC) Liebefeld/BE.
- **Universitätsinstitute**: Institut de Radiophysique Appliquée (IRA) Lausanne; Universität Bern; Kantonsspital Genf; Inselspital Bern; Kantonsspital Basel.

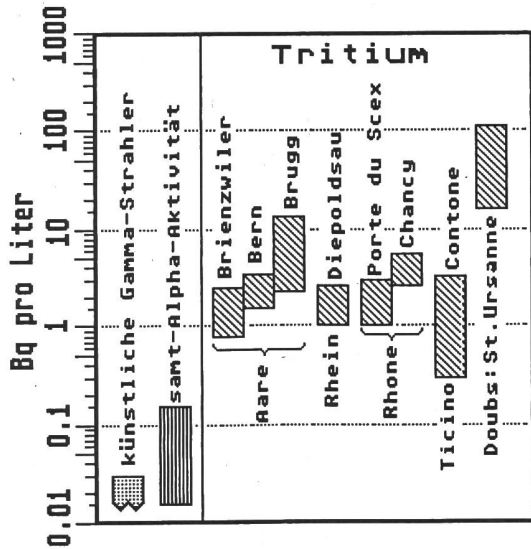


Fig. 3: Radionuklide in den Flüssen

c) Erboden und Bewuchs

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 - eines der letzten Glieder der Uran-Radium-Radon-Zerfallsreihe - wird dagegen hauptsächlich aus der Luft auf den Pflanzen abgelagert.

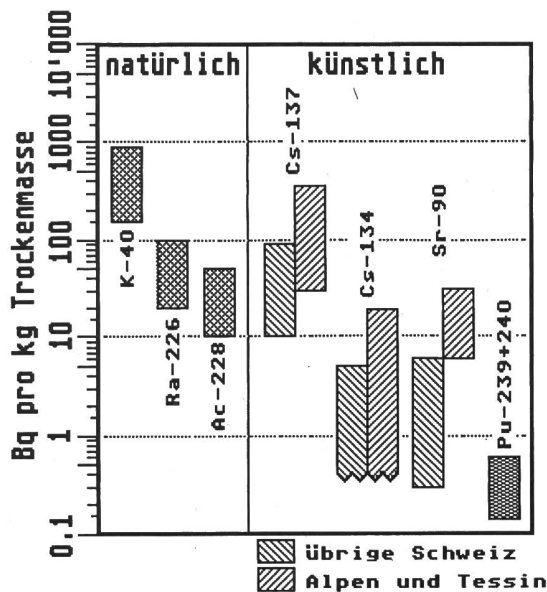


Fig. 4: Radionuklide im Erdboden

Bei den künstlichen Radionukliden im Erdboden und Gras dominieren Strontium-90 und Caesium-137. Beim ersteren ist es der Beitrag der Kernwaffenversuche, beim letzteren vor allem jener des Tschernobyl-Unfalles, wobei das Muster der Tschernobyl-Ablagerungen immer noch erkennbar ist. Das auf dem Erdboden abgelagerte Caesium zerfällt und dringt auf Naturböden allmählich in tiefere Erdschichten ein: 1994 für den Tschernobyl-Anteil bis etwa 10 cm und bis 30 cm für jenen des Bomben-Fallout; bei landwirtschaftlich genutzten Böden erfolgt die Durchmischung vor allem durch das Pflügen.

Auf Waldböden verweilt das Caesium länger in der obersten, hauptsächlich organischen Erdschicht; deshalb sind dort teilweise die Ortsdosen erhöht und es treten in Wildpilzen erhöhte Caesium-Werte auf. Beim fast ausschliesslich vom Fallout stammenden Strontium-90 ist meist eine gleichmässige Vermischung bis in ca. 30 cm Tiefe festzustellen.

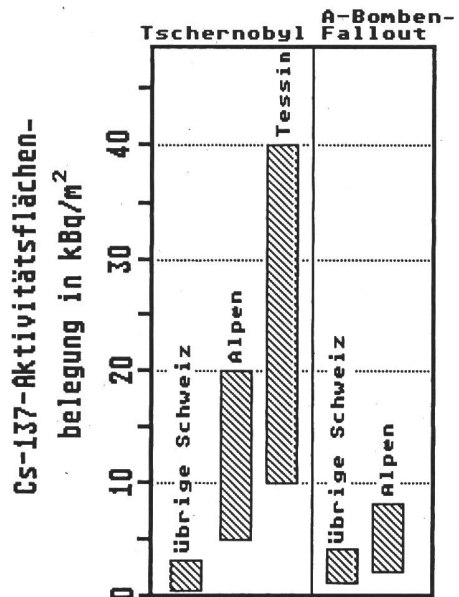


Fig. 5: Caesium-137-Ablagerungen

d) Lebensmittel

Überwacht wird die Radioaktivität der Lebensmittel in Zusammenarbeit mit den kantonalen Laboratorien, die gemäss der neuen Strahlenschutzverordnung für die Einhaltung der Toleranz- und Grenzwerte für Radionuklide in Lebensmitteln verantwortlich sind. Auch in den Lebensmitteln pflanzlicher und tierischer Herkunft dominiert meist das

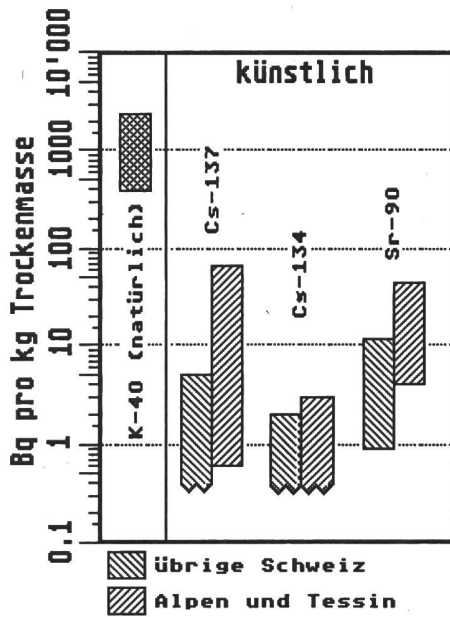


Fig. 6: Radionuklide im Gras.

natürliche Kalium-40, das 0.12 Promille des in der Natur vorkommenden Kaliums ausmacht. In den Hauptnahrungsmitteln Milch, Getreide und Fleisch ist die künstliche Radioaktivität, d.h. Caesium-134, Caesium-137 und Strontium-90 tief und auf der Alpennordseite nahe an der Messgrenze. Beim Wildfleisch und Wildpilzen treten als Folge des Tschernobyl-Unfalles teilweise noch erhöhte Caesium-Werte auf. Beim Wildfleisch ist, im Gegensatz zu gewissen einheimischen Wildpilzen - hauptsächlich Maronenröhrlinge und Zigeunerpilze, die immer noch vereinzelt Caesium-137-Werte bis 2700 Bq/kg aufweisen - ein allmählicher Rückgang zu verzeichnen. In Anbetracht der geringen Konsummengen von Wildfleisch und Pilzen sind, obwohl in gewissen Fällen die neuen Limiten (Grenzwert für Caesium-Nuklide 1250 Bq/kg) überschritten sind, die daraus resultierenden Strahlendosen klein; ebenso bei einigen handelsüblichen Mineralwässern, bei denen natürliche Radionuklide im Bereich Bq/l festgestellt wurden.

e) Radon in Häusern

Radon ist ein Zerfallsprodukt des im Erdboden vorhandenen natürlichen Radium und dringt als Edelgas hauptsächlich vom Bauuntergrund her in das Hausinnere ein, wo es sich anreichert.

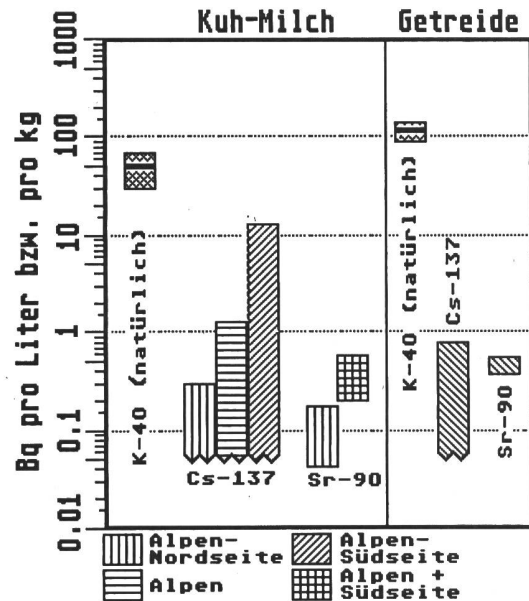


Fig. 7: Radionuklide in Grundnahrungsmitteln

Seit dem 1. Oktober 1994 sind in der neuen Strahlenschutzverordnung (StSV) Vorschriften betreffend Radon im Hausinnern in Kraft. In Wohn- und Aufenthaltsräumen darf der Radonpegel 1000 Bq/m^3 nicht übersteigen, im Arbeitsbereich 3000 Bq/m^3 . Bei Neu- und Umbauten gilt ein Richtwert von 400 Bq/m^3 . Der Vollzug dieser neuen Vorschriften, d.h. Radonerhebungen und Kartierungen, Sanierungsverfügungen und entsprechende Bauvorschriften, liegt bei den Kantonen. Die Fach- und Informationsstelle Radon beim BAG unterstützt die Kantone bei den Messkampagnen und sorgt für die Information der Öffentlichkeit und der Baufachleute.

Die bisherigen Radon-Erhebungen in rund 6000 Häusern in unserem Land ergeben für die Wohnräume einen auf die ganze Schweiz hochgerechneten Mittelwert von rund 60 Bq/m^3 , was auch dem Medianwert der Stichproben entspricht. Obwohl erst 3 Promille aller Häuser erfasst sind, kann dieser Mittelwert als repräsentativ angesehen werden. Ein bis zwei Prozent der Häuser weisen Extremwerte bis einige Tausend Bq/m^3 auf. 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 der im Hausinnern aufsteigende warme Luft. Dadurch

Radionuklide im menschlichen Körper

Der Mensch wird nicht nur von aussen, d.h. aus der Luft, dem Boden und den Baustoffen bestrahlt, sondern auch durch Aufnahme von Radionukliden über Atemluft, Trinkwasser und Nahrung in den Körper. Dabei gelangt die Radioaktivität der Lebensmittel über den Magen-Darm-Trakt - jene der Atemluft über die Lunge und das lymphatische System - via Blutbahn in die verschiedenen Körperorgane. Von Interesse sind vor allem Radionuklide jener chemischen Elemente, die im Stoffwechsel eine wichtige Rolle spielen. Beim Wasser ist dies Tritium (H-3), beim Kohlenstoff das Kohlenstoff-14, beim Kalium das Kalium-40. Wichtig sind auch Radionuklide von Elementen, die sich chemisch ähnlich verhalten wie gewisse Stoffwechselelemente, beispielsweise Strontium, Radium und Plutonium, die ähnlich wie Calcium vor allem in Knochen und Zähnen eingebaut werden, oder Caesium, das wie Kalium vor allem in das Muskelgewebe übergeht, während Jod bevorzugt in der Schilddrüse eingelagert wird.

Durch den Stoffwechsel werden diese Radioelemente allmählich - entsprechend ihrer biologischen Halbwertszeit (τ_b) - wieder ausgeschieden. Die massgebliche Zeitkonstante ist dabei die effektive Halbwertszeit τ_e , die sich aus der biologischen und physikalischen Halbwertszeit errechnet. Für Tritium kann beispielsweise mit einer effektiven Halbwertszeit von 10 Tagen, für Caesium mit 2 bis 3 Monaten, für Strontium mit einigen Jahren gerechnet werden. Bei einer einmaligen Zufuhr von Radioaktivität geht ein bestimmter Bruchteil der Aktivität in das Organ T und dessen Aktivität nimmt dann entsprechend der effektiven Halbwertszeit wieder ab. Bei gleichmässiger und konstanter Aktivitätszufuhr stellt sich im Organ mit der Zeit eine Gleichgewichtsaktivität ein, nämlich dann, wenn pro Zeiteinheit gleichviele Kerne des betreffenden Nuklides durch Aufnahme hinzukommen, wie durch Zerfall und durch Ausscheidung verloren gehen. Aus der Anzahl der im betrachteten Organ zerfallenen radioaktiven Atome, sowie deren Energie und Strahlungsart lässt sich die im Organ T absorbierte Strahlenenergie und damit die Äquivalent- oder Organdosis H_T in Sv [Sievert] berechnen. Summiert man die Dosen aller bestrahlten Organe und gewichtet sie dabei entsprechend ihrer Strah-

lenempfindlichkeit, so erhält man die sogenannte effektive Dosis E in Sv. Diese Grösse gilt als Mass für das Strahlennisiko des gesamten Menschen durch sämtliche Bestrahlungsarten. In den Anhängen der Strahlenschutzverordnung (StSV) sind die Dosisfaktoren für die gängigen Radionuklide angegeben, d.h. die effektiven Dosen in Sv bei Aufnahme von einem Bq über die Atemluft (e_{inh}) bzw. über die Nahrung (e_{ing}). Sie gelten primär für eine einmalige Aktivitätsaufnahme und geben dann die über 50 Jahre akkumulierte Dosis (sog. Folgedosis) an.

Der natürliche Dosisbeitrag von Radionukliden im Körper liegt im Mittel bei 0.36 mSv/Jahr. Bei den natürlichen liefern Kalium-40 und Polonium-210 mit 0.18 bzw. 0.12 mSv/Jahr den grössten Beitrag. Ein erwachsener Mensch hat pro kg Körpergewicht etwa 60 Bq Kalium-40 bzw. 0.2 Bq Polonium-210 im Körper und nimmt pro Tag über die Nahrung 100 Bq Kalium-40 bzw. 0.1 Bq Polonium-210 auf. Die durch die kosmische Strahlung kontinuierlich erzeugten (die sog. kosmogenen) Radionuklide Kohlenstoff-14, Beryllium-7, Natrium-22 und Tritium (H-3) ergeben Dosisbeiträge von 0.012, 0.003, 0.0002 bzw. 0.00001 mSv/Jahr. Die Nuklide der natürlichen Uran- und Thorium-Zerfallsreihen in der Erdkruste liefern etwa 0.035 - 0.040 mSv/Jahr und vom langlebigen Rubidium-87 kommen weitere 0.006 mSv/Jahr.

Der Beitrag durch künstliche Radionuklide im Körper - hauptsächlich von den Kernwaffenversuchen und vom Reaktorunfall in Tschernobyl - liegt gegenwärtig bei etwa 0.006 mSv/Jahr. Davon entfallen auf Caesium-137 und Strontium-90 je etwa 0.002 bis 0.003 mSv/Jahr. Beim Kohlenstoff-14 und bei Tritium bewirken die anthropogenen Beiträge der früheren Kernwaffenversuche heute noch 0.0016 bzw. 0.00005 mSv/Jahr. Das langlebige Edelgas Krypton-85, das vor allem bei der Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoff freigesetzt wird und sich weltweit verbreitet, führt zu etwa 0.00001 und Plutonium-239 und -240 zusammen zu etwa 0.000025 mSv/Jahr.

wird das Radon aus dem Bauuntergrund ansaugt. 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. 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.

Bei zu hohen Radonwerten kann das Eindringen des Radons in die Gebäude durch bauliche Massnahmen, z.B. Abdichten der Kellerböden und -wände bzw. Entlüftung der Unterbodenräume, reduziert werden. Abdichtungen der Gebäudehülle zur Einsparung von Heizenergie führen jedoch nicht notwendigerweise zu erhöhten Radonpegeln im Hausinnern. Informationen zur Radon-Messung und -Sanierung, sowie zur Interpretation der Ergebnisse sind bei der *Fach- und Informationsstelle Radon* erhältlich.

f) Menschlicher Körper

Über die Nahrung gelangt die Radioaktivität der Umwelt auch in den menschlichen Körper. Auch hier dominieren die natürlichen Radionuklide, insbesondere Kalium-40. Der Körper eines Erwachsenen enthält rund 100 g (Frauen) bzw. 150 g (Männer) Kalium; das entspricht 3000 bzw. 4500 Bq Kalium-40. Da Kalium vor allem im Muskelgewebe eingelagert ist, ist der Kaliumgehalt beim Mann grösser als bei der Frau.

Als Endkontrolle der Überwachung werden die Radionuklide im menschlichen Körper gemessen, insbesondere Strontium-90 in Milchzähnen und Wirbelknochen sowie 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 0.049 bzw. 0.026 Bq pro Gramm Calcium. Die Caesium-137-Messwerte von Gymnasiasten aus Genf lagen 1994 unter 10 Bq pro kg Körpergewicht.

III. Strahlendosen

Die Radioaktivität in der Umwelt führt auf zwei Arten zu einer Strahlendosis beim Menschen: zu einer Bestrahlung des Körpers von aussen (externe Dosis) durch die Radioaktivität in Luft, Boden, Baustoffen etc. und zu einer Bestrahlung von innen (interne Dosis), durch Radionuklide, die über Atemluft und Nahrung in den Körper gelangen (*siehe Kästchen*). In diesem Kapitel werden die Strahlendosen der Bevölkerung aus natürlichen und künstlichen Strahlenquellen zusammengefasst.

a) Externe Bestrahlung: Überwachung der Ortsdosen

Etwa die Hälfte der natürlichen 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 beispielsweise 0.35, in St. Moritz bereits 0.65 mSv pro Jahr. Auch Baustoffe enthalten geringe Mengen natürlicher Radionuklide. Die externen Ortsdosen im Freien werden durch das automatische NADAM-Netz und weitere Messungen überwacht. Der Beitrag durch das Tschernobyl-Caesium hat in den letzten Jahren - wie an ausgewählten NADAM-Stationen beobachtet werden konnte - jährlich um durchschnittlich 3 Prozent abgenommen.

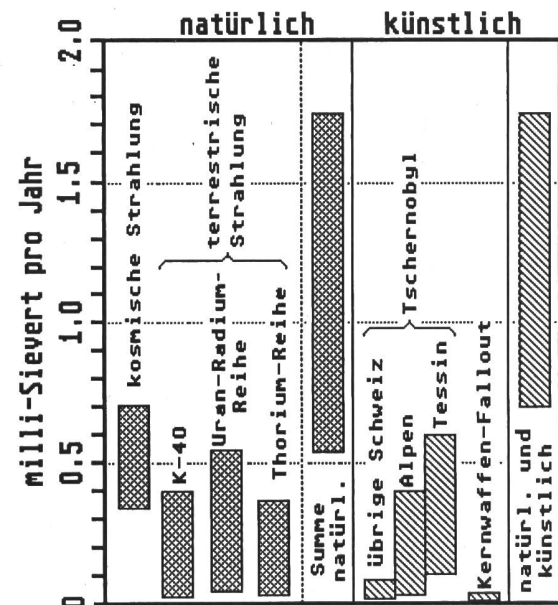


Fig. 8: Beiträge zur Ortsdosis im Freien

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 im Durchschnitt mit einer um etwa 20 Prozent höheren Dosis im Hausinnern gegenüber dem Freien zu rechnen ist. 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. Dies konnte durch Dosismessungen in Häusern im Kanton Freiburg und Untersuchungen über den Radionuklidgehalt von Baustoffen bestätigt werden.

b) Interne Bestrahlung durch Radionuklide im menschlichen Körper

Von der natürlichen internen Dosis von 0.36 mSv/Jahr stammt der Hauptbeitrag von Kalium-40 und Polonium-210 mit 0.18 bzw. 0.12 mSv/Jahr. Die durch die kosmische Strahlung erzeugten Radionuklide Kohlenstoff-14, Beryllium-7, Natrium-22 und Tritium (H-3) ergeben rund 0.015 mSv/Jahr. Die Nuklide der natürlichen Uran- und Thorium-Zerfallsreihen in der Erdkruste liefern weitere 0.04, das langlebigen Rubidium-87 0.006 mSv/Jahr (vergl. Kästchen). Der regelmässige Konsum von Mineralwässern mit natürlichen Alpha-Strahlern mit Konzentrationen im Bereich Bq/l erhöht die Dosis um höchstens einige Hundertstel mSv/Jahr. Radon und Folgeprodukte verursachen im Mittel 1.6 mSv pro Jahr, also fast die Hälfte der durchschnittlichen Strahlenexposition der Bevölkerung. Dabei treten Extremwerte bis 100 mSv/Jahr auf. Seine radioaktiven Folgeprodukte führen nach Einatmen zu einer Lungenbestrahlung und erhöhen damit das Lungenkrebsrisiko. Von den gesamthaft in der Schweiz auftretenden Lungenkrebsfällen - etwa 120 pro Million und Jahr (Frauen) bzw. 730 pro Million und Jahr (Männer) - wären ausgehend von einer schwedischen Studie*) rund 6 Prozent dem Radon zuzuschreiben. Gemäss WHO sollte ein Lungenkrebsrisiko durch Radon im Wohnbereich von mehr als 1 Fall pro Tausend Einwohner und Jahr - dies entspricht einem Radongehalt von rund 1000 Bq/m³ - vermieden werden.

Der Beitrag durch künstliche Radionuklide im Körper - hauptsächlich von den Kernwaffenversuchen und vom Reaktorunfall in Tschernobyl - liegt gewöhnlich bei etwa 0.006 mSv/Jahr. Hiervon kommt mit je 0.002 - 0.003 mSv/Jahr der grösste Teil von

Caesium-137 und Strontium-90, während Kohlenstoff-14 und Tritium heute noch weniger als 0.002 mSv/Jahr bewirken. Für 1994 beträgt in der Schweiz die Strahlenexposition durch künstliche Radionuklide in Lebensmitteln für Personen mit durchschnittlichen Ernährungsgewohnheiten noch wenige Tausendstel mSv. Die übrigen künstlichen Radionuklide führen zu unbedeutenden internen Strahlendosen. (vergl. Kästchen).

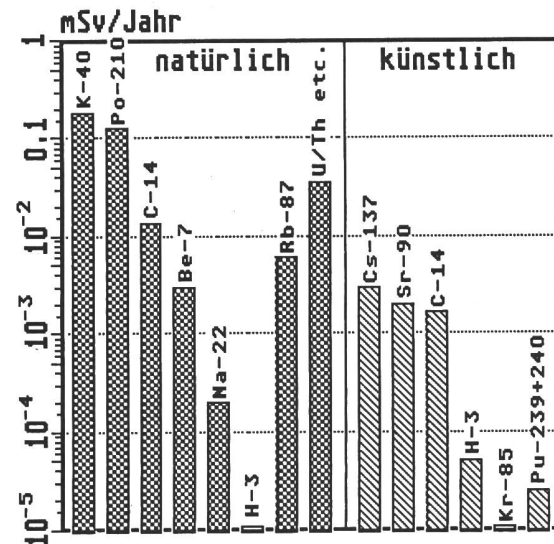


Fig. 9: Beiträge zur internen Strahlenexposition

*) G. Pershagen et al. in New England Journal of Medicine, 330/3 (1994) pp. 159-164.

IV. Spezielle Überwachung: Kernanlagen, Betriebe und Spitäler

Bei Kernanlagen und Betrieben, die radioaktive Stoffe erzeugen bzw. verarbeiten können Radionuklide über Abluft und Abwasser in die Umwelt gelangen. Deshalb ist eine Bilanzierung der Emissionen und eine Überwachung der Umgebung notwendig. In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Umgebungsüberwachung dieser Anlagen sowie die sich für die Bevölkerung ergebenden Strahlendosen zusammengefasst.

a) Kernanlagen

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 Messprogramme und Methoden umfassen - nebst den Ortsdosen - auch die Radioaktivität in Boden, Gras, Getreide, Milch und weiteren landwirtschaftlichen Produkten, sowie Fluss- und Grundwasser, Fische, Wasserpflanzen und Sedimente. Sie werden ergänzt durch in-situ-Messungen, Aeroradiometrieflüge und Kohlenstoff-14-Bestimmungen an Baumblättern. Das automatische Überwachungsnetz für die Ortsdosisleistung (MADUK) in der Nahumgebung der Kernkraftwerke, mit je 12 bis 18 Stationen pro Werk, ist seit Anfangs 1994 im Betrieb. Die im Berichtsjahr durchgeführte Überwachung der Kernanlagen ergab keine über den Richtwerten liegenden Konzentrationen oder Dosiswerte. Bei der Direktstrahlung im Nahbereich von Siedewasserreaktoren, in Sedimenten und Wasserpflanzen der Flüsse unterhalb der Anlagen sind - wenn meist auch nur geringe - Einflüsse der Werke nachweisbar. Dies gilt auch für die Nahumgebung des PSI im Anschluss an die unten erwähnte Tritiumabgabe. Auch beim Kohlenstoff-14 ist in der Nahumgebung der Kernanlagen eine Erhöhung messbar: Diese beträgt, bezogen auf den natürlichen Pegel, beim KKL bis 10 Prozent, beim KKM bis 8 Prozent, bei KKB/PSI bis 4 Prozent, und in unmittelbarer Nähe des PSI-Reaktors SAPHIR bis 20 Prozent. Die Auswirkungen der Radioaktivitäts-Emissionen aus Schweizer Kernanlagen bei Normalbetrieb auf Umwelt und Strahlendosen der Bevölkerung sind unbedeutend.

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/Jahr betragen können. 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. 1994 haben die Kernkraftwerke ihre Jahreshgrenzwerte eingehalten und die maximale Strahlenexposition der Bevölkerung in der Nahumgebung lag unter 0.012 mSv beim KKM Mühleberg bzw. unter 0.007 mSv bei den Anlagen Beznau, Gösgen-Däniken und Leibstadt. Bei den

drei letzteren kommt anteilmässig der grösste Dosisbeitrag von den Kohlenstoff-14-Abgaben.

Beim Paul-Scherrer-Institut in Villigen/AG wurden 1994 die Abgabelimiten - mit einer Ausnahme - eingehalten. Die für die Umgebung des Institutes aus den Abgaben berechneten Maximaldosen der Umgebungsbevölkerung betragen 0.01 mSv pro Jahr. Bei der Pilotverbrennungsanlage des PSI wurde am 24. - 25. März 1994 während der Verbrennung Tritium-haltiger Abfälle aus den Sammelkampagnen radioaktiver Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung, infolge ungenügend deklarierter Abfallgebände, 4.35 TBq Tritium an die Atmosphäre abgegeben. Diese Emission liegt 10 Prozent über dem Jahresabgabegrenzwert für Tritium, der beim PSI - da hier mehrere, über das gesamte Betriebsgelände verteilte Emissionsquellen vorhanden sind - verhältnismässig tief angesetzt ist. Die berechnete Inhalationsdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt im ungünstigsten Fall 0.005 mSv als Folge dieses Ereignisses. Die betroffenen Stellen haben Massnahmen getroffen, um solche Zwischenfälle in Zukunft zu vermeiden.

b) Industrielle Betriebe und Spitäler

Betriebe, die mit radioaktiven Stoffen umgehen, benötigen 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 entsprechenden Betrieben und Stellen der öffentlichen Verwaltung. Die Aufsichtsbehörde kann bei Betrieben, die grössere Mengen verarbeiten, eine Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe sowie eine entsprechende Umgebungsüberwachung verlangen. Solche Messungen werden u.a. bei Tritium-verarbeitenden Industriebetrieben in Teufen/AR und Niederrangen/BE und bei Leuchtfarbensetzereien in der Region La Chaux-de-Fonds durchgeführt.

Die Industriebetriebe, die zuhanden der SUVA eine Abgabebilanz erstellen müssen, haben 1994 die in den Bewilligungen festgelegten Limiten für die Abgabe radioaktiver Stoffe an die Umwelt eingehalten. Die Überwachungsmessungen in der Umgebung haben zwar in Niederschlägen und Oberflächengewässern wie schon früher Tritium-Konzentrationen bis einige Tausend Bq/l ergeben; diese lagen jedoch nicht über den entsprechenden Immissions-

grenzwerten der StSV und führten zu keinen unzulässigen Strahlendosen bei der Bevölkerung. Die Tritium-Abflussbilanz der Region La Chaux-de-Fonds, anhand der Messungen an der Kläranlage betrug 1994 etwa 25 TBq. Da auch die Emissionen über die Abluft via Niederschläge in die Gewässer gelangen, ergibt die Abflussbilanz über den Doubs mit rund 50 TBq einen höheren Wert. Gemüse- und Milchproben aus der Region Niederwangen ergaben 1994 Tritiumwerte bis 220 Bq/kg bzw. bis 184 Bq/l. Die Tritium-Emissionen dieser Betriebe führen bei der Bevölkerung in der Umgebung - wie früheren Urinuntersuchungen bestätigten - zu zusätzlichen Dosen von höchstens 0.03 mSv pro Jahr.

Die Radioaktivitäts-Abgaben aus den Kläranlagen der grösseren Städte Zürich, Basel, Bern und Lausanne - ab 1995 auch 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 Kerhrichtverbrennung und industriellen Anwendungen nachgewiesen. 1994 lagen die Jod-131-Werte bei den Kläranlagen Zürich, Lausanne, Basel und Bern bei < 0.2, resp. < 0.6, resp. < 2.1, resp. < 4 Bq/l. Der Jod-131-Jahresabfluss der ARA Bern ergab etwa 20 - 30 GBq. Da in allen genannten Fällen das Abwasser der Betriebe bzw. der Kläranlagen nicht unaufbereitet getrunken, sondern durch Einleiten in Flüsse stark verdünnt wird, können nennenswerte Strahlendosen bei der Bevölkerung ausgeschlossen werden. In der Umgebung der überwachten Betriebe wurden keine unzulässigen Immissionen festgestellt und die aus den Radioaktivitätsemissionen verursachten Strahlendosen der Bevölkerung sind deutlich unter den entsprechenden Richtwerten der StSV.

Kohlenstoff-14-haltige Abfälle werden teilweise auch in Kehrlichtverbrennungsanlagen verbrannt (cf. StSV Art. 83). Deshalb wurden 1994 erstmals auch Baumblätter aus der näheren Umgebung des alten Verbrennungsofens der CIBA in Basel auf Kohlenstoff-14 untersucht. Es ergaben sich Werte, die bis 40 Prozent über dem weltweiten Kohlenstoff-14-Pegel. Die dadurch verursachten Strahlendosen sind mit höchstens 0.001 mSv pro Jahr allerdings unerheblich.

V. Strahlendosen der Bevölkerung

(siehe auch Tabelle)

Die gesamte durchschnittliche Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung beträgt rund 4 mSv/Jahr. Davon entfallen etwa 40 Prozent auf Radon und seine Folgeprodukte im Hausinnern, das auch den grössten Variationsbereich aufweist, mit Extremwerten bis 100 mSv/Jahr. 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.

Ursache des natürlichen Dosisbeitrages sind die Radionuklide in Erdboden und Baumaterialien, die kosmische Strahlung und die im menschlichen Körper enthaltene natürliche Radioaktivität. Bei der letztgenannten stammt der Hauptbeitrag von 0.18 mSv/Jahr vom Kalium-40. Im Vergleich dazu beträgt die Dosis durch künstliche, über die Nahrung aufgenommene Radioaktivität weniger als ein Hundertstel mSv/Jahr.

Bei den Strahlendosen aus künstlichen Quellen überwiegt der Beitrag der Medizin. In der Tabelle sind die durchschnittlichen Dosen der Bevölkerung durch solche Untersuchungen, z.B. Röntgendiagnostik und Nuklearmedizin, angegeben; im Einzelfall hängen die Strahlendosen stark von Art und Häufigkeit der Untersuchungen ab.

Die Auswirkungen des Reaktorunfalles Tschernobyl im April 1986 und der früheren Kernwaffenversuche führen heute nur noch zu geringen Strahlendosen, hauptsächlich durch das auf dem Boden abgelagerte bzw. über die Nahrung aufgenommene Caesium-137.

Ein weiterer, nur ungenau abschätzbarer Beitrag kommt von den zivilisationsbedingten Strahlenquellen und sogenannten "Kleinquellen". Dies sind Gebrauchsgegenständen und Konsumgüter, die Radionuklide in geringen Mengen enthalten, u.a. Uhren mit Leuchtziffern auf Tritiumbasis, natürliche Radionuklide in Fliesen, Glühstrümpfen oder Zahneramik, Ionisations-Rauchmelder, ferner auch das beim Rauchen eingeatmete Polonium-210. Die erhöhte kosmische Strahlung in Flugzeugen verursacht in 10 bzw. 12 km Höhe 5 bzw. 8 μ Sv/Stunde, was beim fliegenden Personal zu zusätzlichen Jahresdosen von bis etwa 5 mSv führt.

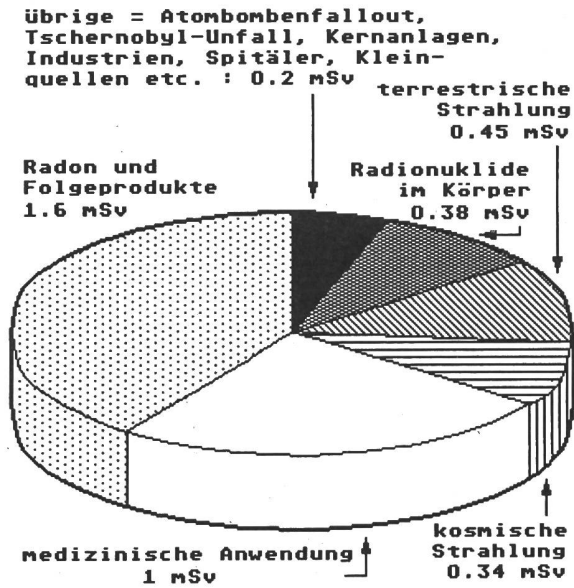


Fig. 10: Beiträge zur Strahlenexposition

Die Radioaktivitäts-Emissionen von Kernanlagen, Industrien und Spitätern 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 58'362 beruflich strahlenexponierten Personen in Kernkraftwerken, Industrien, Handel, öffentliche Dienste, Forschung und Medizin akkumulierten 1994 Dosen bis maximal 45 mSv mit einer Kollektivdosis von 10.2 Mann-Sievert pro Jahr. Nur bei 4 Prozent lag die Dosis über 1 mSv/Jahr, in 6 Fällen über 20 mSv, dem seit 1.1.95 für diese Personen gültigen Jahresgrenzwert der neuen StSV.

Verdankungen

Der Autor dankt den Herren Serge Prêtre (HSK), Jean-François Valley (IRA) und Bernard Michaud (BAG) für die wertvollen Anregungen und die kritische Durchsicht des Textes.

Tabelle 1: STRAHLENDOSEN DER SCHWEIZER BEVÖLKERUNG 1994

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 1994: Gesamtbilanz (1986-2000):	0.01 - 0.1 (0.2 - 5)	0.01 (0.5)
	Kernwaffen- ausfall	Dosis für 1994: 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	58'362 Personen erhielten 1994 total 10.2 Mann-Sievert; Durchschnitt = 0.17 mSv/Jahr	0 - 45 bei 95%: < 1 mSv	
Flugpersonal	erhöhte kosmische Strahlung	in 10 - 12 km Höhe: 5 - 8 micro Sv/Stunde	2 - 5	

A RADIOACTIVITE DE L'ENVIRONNEMENT ET DOSES DE RAYONNEMENTS EN 1994 : APERÇU

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 est régulièrement contrôlée en Suisse depuis 1956. Le présent rapport rend compte des résultats des mesures de 1994 avec l'interprétation des données et des doses de rayonnements qui en résultent pour la population. La surveillance englobe le contrôle de la radioactivité de l'air, des précipitations, des eaux, du sol, de l'herbe, des aliments et du corps humain, mais porte également sur la radiation naturelle, la teneur en radon dans les habitations, les émissions des installations nucléaires et des entreprises qui utilisent des radioéléments ainsi que sur des sources de rayonnements accessoires. Les centrales nucléaires et les entreprises, qui sont soumises à une autorisation pour la manipulation de substances radioactives, ont respecté (à une exception près) en 1994 leurs limites annuelles de rejets et les mesures dans l'environnement n'ont signalé aucune valeur inadmissible d'impact ni de dose. La dose moyenne de rayonnements de la population vaut globalement 4 mSv par an, dont 40 pour-cent incombe au radon dans les habitations (valeurs extrêmes jusqu'à 100 mSv), 30 pour-cent à la radiation naturelle (sans le radon), 25 pour-cent aux applications médicales de radiation et moins de 5 pour-cent à la radioactivité artificielle.

I. Introduction

Radioactivité et radiation ionisante font depuis toujours partie de notre environnement. Les origines naturelles sont la radiation cosmique et la radioactivité naturelle de la croûte terrestre. L'air, le sol, les eaux, les végétaux et le corps humain contiennent chacun des radionucléides naturels. L'utilisation de la fission nucléaire dans les bombes atomiques et dans les réacteurs nucléaires a engendré des radionucléides artificiels, qui peuvent parvenir dans l'environnement. D'autre part, des radioisotopes sont également utilisés dans la recherche, l'industrie et la médecine. La mise en danger de la population par la radioactivité issue des essais d'armes nucléaires dans les années 50 à 60 a motivé une surveillance globale de l'environnement en Suisse dès 1956. Actuellement ce sont cependant l'exposition aux rayonnements par le radon et ses descendants dans les habitations et la surveillance auprès des installations nucléaires et des entreprises traitant des radioisotopes qui se situent au premier plan.

La nouvelle ordonnance sur la radioprotection (ORaP du 22.6.1994), entrée en vigueur le 1^{er} octobre 1994, limite les doses pour les personnes exposées aux rayonnements dans l'exercice de leur profession à 20 mSv par an, tandis que pour le reste de la population, elle limite à 1 mSv par an les doses attribuables aux incidences radioactives dans l'environnement sans les applications médicales et la radiation naturelle. L'ordonnance fixe également des valeurs limites pour l'impact sur l'air, l'eau et les doses ambiantes dans le domaine accessible au public, des valeurs limites et de tolérance pour les radionucléides dans les denrées alimentaires ainsi que des valeurs limites pour le radon dans les locaux habités (cf. encadré).

II. Radioactivité de l'environnement

Le chapitre donne un aperçu des résultats de la surveillance globale de l'environnement. Les concentrations de la radioactivité mesurées dans les compartiments différents sont indiquées en Bq (Becquerel, cf. encadré).

Unités et prescriptions

La **Radioactivité** est une propriété de certains noyaux instables de se transformer sans influence extérieure (désintégration radioactive) et d'émettre lors de cette transmutation une radiation (ionisante) caractéristique sous forme de particules alpha ou bêta ainsi que de photons gamma. Les substances radioactives naturelles font depuis toujours partie de l'environnement; les substances produites artificiellement sont libérées lors des explosions d'armes nucléaires mais peuvent également provenir des installations nucléaires, ainsi que des entreprises et des hôpitaux, qui manipulent des radionucléides.

La **radioactivité** d'une substance s'indique en Becquerel (Bq). 1 Bq correspond à une désintégration radioactive 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} sont notés kBq, MBq, GBq resp. TBq (kilo-, Mega-, Giga- resp. Tera-). L'ancienne unité correspondante était le Curie (Ci) (1 nCi = 37 Bq ou resp. 1 Bq = 27 pCi).

Les **doses de rayonnements** de la population s'indiquent comme dose effective (E) en milli-sievert (mSv). Cette dose représente la somme des doses (équivalentes) de tous les organes irradiés du corps, pondérées par leur radiosensibilité respective. Elle sert à apprécier l'effet biologique de la radiation sur tout l'être humain et est indépendante du type et de l'origine de cette dernière.

La nouvelle **Ordonnance sur la radioprotection** (ORaP) entrée en vigueur depuis le 1.10.94 se base sur les dernières recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) de 1993 ^{*)}. Les doses des personnes exposées aux rayonnements dans l'exercice de leur profession sont limitées à 20 mSv par an, celles de la population en raison de la radioactivité et de la radiation dans l'environnement conditionnées par la civilisation - toutefois sans le radon et les applications médicales - à 1 mSv par an. Pour l'air et l'eau accessibles au public, l'ordonnance fixe des limites d'impact, dont l'épuisement pour une charge permanente de l'eau potable et de l'air conduirait à 0.2 mSv par an chacun. Pour le rayonnement direct, l'ordonnance prescrit une valeur limite de 5 mSv par an pour les doses ambiantes dans les locaux d'habitation, de séjour et de travail.

Pour la première fois, des valeurs de tolérance et des valeurs limites pour les radionucléides dans les denrées alimentaires sont introduites et publiées dans l'ordonnance sur les substances étrangères et les composants (OSEC). Du point de vue de la radioprotection, seule la valeur limite est relevante tandis que la valeur de tolérance ne représente qu'un critère de qualité mais non un risque radiologique. Des substances radioactives ne peuvent être relâchées dans l'environnement que sous contrôle, dont les limites de rejet sont fixées par l'autorité qui délivre l'autorisation. Ces limites sont par exemple réglementées auprès des installations nucléaires de telle sorte qu'aucune personne du voisinage immédiat ne puisse recevoir une dose additionnelle supérieure à 0.2 mSv par an. Pour le gaz radon, la valeur limite applicable aux concentrations dans les locaux d'habitation et de séjour est de 1000 Bq/m³. En cas de dépassement de cette valeur limite, des assainissements au niveau de la construction doivent être entrepris. Pour les nouveaux bâtiments ou les bâtiments transformés, une valeur directrice de 400 Bq/m³ ne doit pas être dépassée.

^{*)} *Recommandations 1990 de la Commission Internationale de Protection Radiologique. Publication No 60 Pergamon Press Oxford. ISBN 0-08-042275-6 (1993)*

a) Air et précipitations

L'air et les précipitations témoignent encore des radionucléides artificiels répandus à grande échelle - en particulier césium-137 - en conséquence des essais d'armes nucléaires et de l'accident au réacteur de Tchernobyl. La concentration du césium-137 a progressivement diminué ces dernières années et ne s'avère aujourd'hui pratiquement détectable qu'à l'aide de procédés de mesure de haute sensibilité.

En plus du césium-137, l'air extérieur contient également des radioéléments d'origine naturelle. Il s'agit des descendants du radon, y compris le plomb- et le polonium-210, mais en outre du beryllium-7, du tritium et du carbone-14 produits par la radiation cosmique et aussi pour les deux derniers cités par des activités humaines. Pour le carbone-14, la concentration dans la biosphère se situe aujourd'hui encore environ 12% au-dessus du niveau naturel en raison des essais d'armes nucléaires. Comme ce nucléide est également relâché par des installations nucléaires, sa concentration dans leur voisinage immédiat montre un accroissement additionnel de l'ordre de 10%. D'autres radionucléides artificiels, qui sont présents à l'état de traces dans l'air, comme le plutonium-239 ainsi que les gaz rares radioactifs krypton-85 resp. argon-37, sont des indicateurs pour le retraitement du combustible resp. pour les essais d'armes nucléaires souterrains.

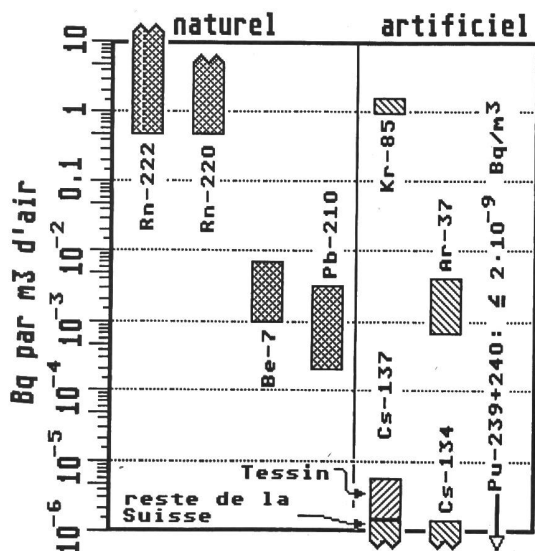


Fig. 1: Radionucléides dans l'air extérieur

Dans les précipitations - à l'exception du beryllium-7 naturel - seuls des accroissements du tritium par rapport à son niveau naturel restent encore décelables. La teneur en tritium, qui avait atteint quelques centaines de Bq par litre à la suite des essais d'armes nucléaires dans les années 60, a depuis continuellement diminué. Dans les régions non influencées par des émetteurs locaux, la concentration en tritium équivaut actuellement à quelques Bq/l alors que dans le voisinage immédiat d'entreprises industrielles traitant du tritium les valeurs peuvent atteindre jusqu'à quelques milliers de Bq/l.

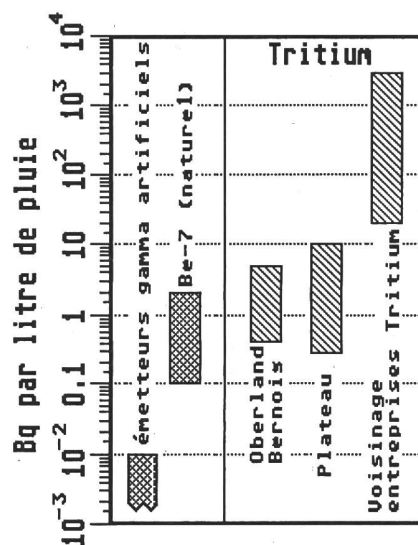


Fig. 2: Radionucléides dans les précipitations

b) Eaux

La surveillance du milieu aquatique englobe les eaux superficielles et souterraines, les poissons, les végétaux aquatiques, les sédiments ainsi que les eaux usées des stations d'épuration et des dépotoirs. Dans les échantillons de l'eau de rivières collectée en continu - en dehors du tritium - les procédés de mesure habituels ne permettent pratiquement plus la détection des radionucléides artificiels. La teneur en tritium dans les échantillons mensuels d'eau de rivières signale en partie des influences liées à la civilisation comme par exemple celles de l'industrie des peintures luminescentes et des installations nucléaires, en particulier dans certains petits cours d'eau du voisinage immédiat des entreprises de peintures luminescentes.

Objets et conduite de la surveillance

a) Objectifs du programme de mesures

- Le but de la surveillance est de recenser la distribution spatio-temporelle de la **radioactivité de l'environnement**, en accordant une attention particulière à l'évolution et à l'accumulation à long terme des radionucléides.
- L'**impact** sur l'environnement des radionucléides artificiels est spécialement surveillé auprès des installations nucléaires, des entreprises industrielles et des hôpitaux dans le but de contrôler le respect des limites d'impact.
- L'**estimation des doses de rayonnements de la population**, issues des sources artificielles et naturelles, parmi lesquelles celle due au radon dans les habitations revêt une importance particulière, constitue le but ultime de la surveillance.

b) Réseaux automatiques de mesures et de préalerte

- Le réseau **NADAM** constitué de 58 stations enregistre en permanence les doses ambiantes sur l'ensemble du territoire suisse.
- Le réseau **MADUK** surveille les doses ambiantes dans le proche voisinage des centrales nucléaires en 12 à 18 stations auprès de chacune d'entre elles.
- Le réseau **RADAIR** surveille la radioactivité des aérosols de l'air en 10 stations du territoire suisse et une dans la Principauté du Liechtenstein; ce réseau est en cours de réalisation et remplacera les appareils de mesure existants (sans transmission à distance des données).

c) Mesures des composants de l'environnement

Dans plusieurs stations réparties sur le territoire suisse, les précipitations, les aérosols de l'air, les eaux de rivières et celles des stations d'épuration des agglomérations de Zurich, Bâle, Berne et Lausanne sont collectés en continu avant d'être analysés en laboratoire. A cela s'ajoute l'examen par échantillonnage des

prélèvements de sol, d'herbe, de lait, de céréales, de denrées alimentaires supplémentaires, d'eaux souterraines, de poissons, de végétaux aquatiques, de sédiments et d'autres échantillons auxiliaires. Un contrôle final de la radioactivité dans le corps humain est opéré sur la base des mesures du corps entier pour la détermination du césium-137 et par l'intermédiaire des analyses de dents de lait et de vertèbres provenant de personnes décédées pour la détermination du strontium-90. Des programmes spéciaux sont mis en oeuvre pour le voisinage des installations nucléaires (aussi pour les entreprises traitant des radioisotopes), pour le radon dans les habitations et pour la radiation naturelle permanente.

d) Organismes impliqués dans les mesures et les prélèvements

- **Les autorités d'autorisation et de surveillance:**
Office Fédéral de la Santé Publique (OFSP) Berne, la Division principale de la Sécurité des installations Nucléaires (DSN) Villigen et la Caisse Nationale suisse d'Assurance en cas d'accidents (CNA) Lucerne.
- **Les laboratoires cantonaux** pour le contrôle des denrées alimentaires.
- **Autres institutions de la Confédération:** La Centrale Nationale d'Alarme (CENAL), Zurich; l'Institut de géophysique de l'EPF, Zurich; l'Institut Paul-Scherrer (PSI) Div. Strahlenhygiene, Villigen/AG; l'Institut Fédéral pour l'Aménagement, l'Épuration et la Protection des Eaux (IFAEPE) Dübendorf; le laboratoire AC de l'armée, Spiez; l'Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage (OFEFP), Ittigen/BE; la station Fédérale de Recherches de Chimie Agricole et sur l'hygiène de l'environnement (FAC), Liebfeld/BE.
- **Instituts Universitaires:** l'Institut de Radiophysique Appliquée (IRA), Lausanne; l'Université de Berne; l'Hôpital cantonal de Genève; l'Hôpital de l'Isle, Berne; l'Hôpital cantonal de Bâle.

Les eaux de filtrage des dépotoirs, sur lesquels des déchets contenant du tritium avaient été éliminés par le passé, indiquent des concentrations de tritium partiellement accrues. Les sédiments indiquent surtout le césium-137 attribuable à l'accident au réacteur de Tchernobyl ainsi que des traces de rejets liquides en aval des installations nucléaires, confirmées également dans les excellents indicateurs que constituent les végétaux aquatiques. Les boues d'épuration révèlent occasionnellement de l'iode-131 issu des hôpitaux. Les carottages de sédiments dans les lacs de Constance, de Genève, de Bienne et de Lugano témoignent clairement des apports césium-137 de la retombée des essais d'armes nucléaires et de l'accident à Tchernobyl et permettent de dresser un inventaire des dépôts de césium.

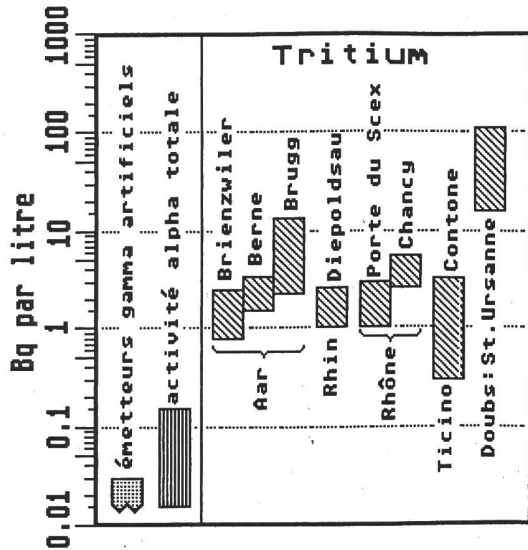


Fig. 3: Radionucléides dans les rivières

c) Sols et végétaux

Des radionucléides naturels comme la potassium-40 de longue vie et les isotopes des séries naturelles de l'uranium et du thorium sont présents depuis toujours dans le sol. Dans les végétaux on retrouve surtout le potassium-40 assimilé depuis les racines. Par contre, le plomb-210 de longue vie - un des derniers descendants de la série uranium-radium-radon - atteint essentiellement les végétaux par dépôt foliaire depuis l'air.

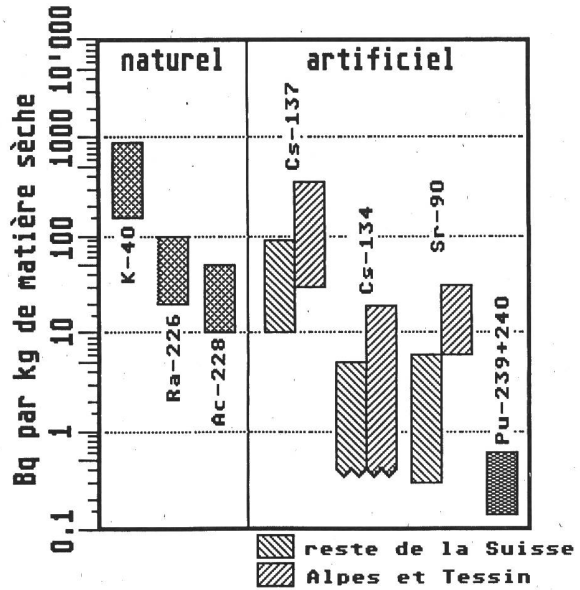


Fig. 4: Radionucléides dans le sol

En ce qui concerne les radionucléides artificiels dans le sol et l'herbe, le césium-137 et le strontium-90 prédominent. Le strontium provient essentiellement des essais d'armes nucléaires alors que le césium témoigne généralement surtout de l'accident de Tchernobyl. Le césium déposé sur le sol se désintègre et pénètre progressivement dans des couches plus profondes: en 1994, la part Tchernobyl se retrouve jusqu'à environ 10 cm et celle des bombes jusqu'à 30 cm; pour les terrains agricoles, l'homogénéisation résulte principalement du labourage.

En forêt, le césium séjourne plus longuement dans la couche organique supérieure du sol; pour cette raison les doses ambiantes qui lui incombent sont partiellement supérieures en forêt où la disponibilité du césium explique des concentrations accrues dans les champignons sauvages. Pour le strontium, on observe le plus souvent une homogénéisation jusqu'à une profondeur voisine de 30 cm.

d) Denrées alimentaires

La surveillance portant sur la radioactivité des denrées alimentaires s'effectue en collaboration avec les laboratoires cantonaux, qui selon la nouvelle ordonnance sur la radioprotection, sont responsables du respect des valeurs limites et de tolérance

pour les radionucléides dans les aliments. Dans les denrées alimentaires d'origine végétale ou animale, c'est aussi généralement le potassium-40 naturel qui prédomine. Son abondance dans le potassium naturel représente 0.12 pour-mille.

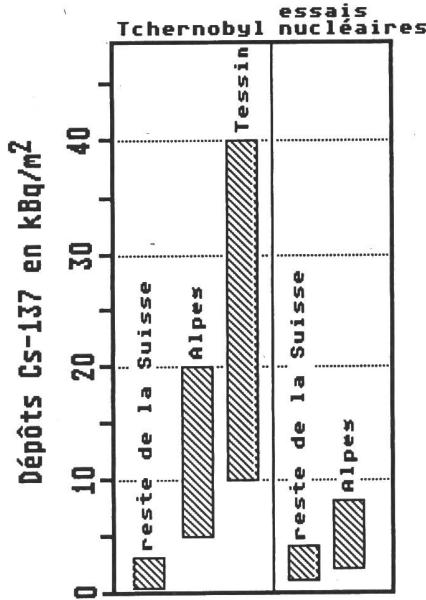


Fig. 5: Dépôts césium-137

Dans les aliments de base comme le lait, les céréales et la viande, la radioactivité artificielle, i.e. le césium-137 et le strontium-90, est faible et proche du seuil de détection au nord des Alpes. Quelques valeurs accrues de césium s'observent encore en conséquence de l'accident de Tchernobyl dans de la viande de gibier et dans certains champignons sauvages. Contrairement à certains champignons sauvages indigènes - en particulier les bolets bais et les pholiotas ridés, qui montrent encore des valeurs isolées jusqu'à 2700 Bq/kg de césium-137, on note dans le gibier un recul graduel de l'activité du césium. En regard des taux restreints de consommation de ces aliments, les doses de rayonnements qu'il induisent restent faibles, bien que les nouvelles limites (valeur limite pour les nucléides du césium 1250 Bq/kg) soient occasionnellement dépassées. Des concentrations dans le domaine de la valeur limite de 1 Bq/l ont également été observées pour des eaux minérales du commerce.

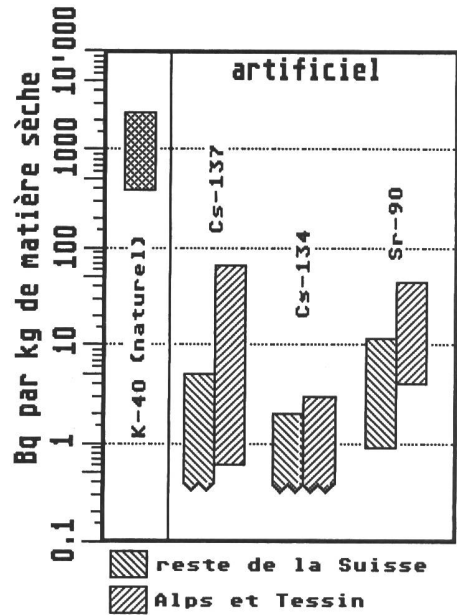


Fig. 6: Radionucléides dans l'herbe

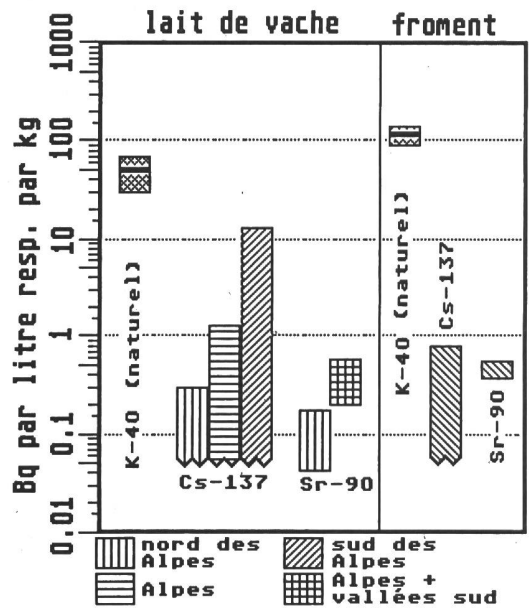


Fig. 7: Radionucléides dans des aliments de base

e) Radon dans les maisons

Le radon est un descendant du radium naturellement présent dans le sol. En tant que gaz rare, il diffuse essentiellement depuis le sous-sol à l'intérieur des maisons, où il s'enrichit.

Radionucléides dans le corps humain

L'être humain n'est pas seulement irradié depuis l'extérieur, i.e. depuis l'air, le sol et les matériaux de construction, mais également depuis l'intérieur en conséquence de l'assimilation des radionucléides inhalés par l'air respiré et ingérés dans le corps par consommation d'eau potable et d'aliments. Lors de cette irradiation interne, les différents organes du corps sont atteints via circulation sanguine par la radioactivité des denrées alimentaires à travers le canal gastro-intestinal et par celle de l'air respiré à travers les poumons et le système lymphatique. Les radionucléides dont les éléments chimiques interviennent dans le métabolisme revêtent un intérêt particulier. Pour l'eau, il s'agit du tritium (H-3), pour le carbone du carbone-14 et pour le potassium du potassium-40. En outre des radionucléides, dont le comportement est semblable à certains éléments métaboliques, sont importants. Citons par exemple le strontium, le radium et le plutonium dont l'assimilation dans le squelette et les dents s'apparente à celle du calcium, ou le césium, dont l'incorporation surtout dans le tissu musculaire est analogue à celle du potassium, alors que l'iode se fixe préférentiellement dans la glande thyroïde.

Par le métabolisme, ces radioéléments sont progressivement éliminés selon leur période biologique (τ_b). Dans ce contexte la période effective τ_e , calculée à partir des périodes biologique et physique, représente la constante de temps déterminante. Il en résulte par exemple une période effective de 10 jours pour le tritium, de 2 à 3 mois pour le césium et de quelques années pour le strontium.

Lors d'un apport unique de radioactivité, une fraction déterminée de l'activité atteint l'organe T et y décroît suivant la période effective impliquée. Lors d'un apport uniforme et constant d'activité, un équilibre s'établit avec le temps dans l'organe, à l'instant où le nombre de noyaux par unité de temps du nucléide incorporé est compensé par le nombre de ceux qui disparaissent par désintégration et élimination biologique. A partir du nombre d'atomes radioactifs se désintégrant dans l'organe considéré ainsi que des énergies et du type de radiation mis en jeu, l'énergie des rayonnements absorbée et donc la dose équivalente - ou la dose à l'organe H_T peut être calculée en Sv [Sievert]. La dose effective E en Sv s'obtient ensuite par sommation des doses de tous les organes irradiés et par pondération

selon leur radiosensibilité. Cette dose effective mesure le risque radiologique global de l'être humain suite aux types d'irradiation impliqués. Les facteurs de dose des radionucléides courants, i.e. les doses effectives en Sv résultant de l'inhalation de 1 Bq par l'air respiré (e_{inh}) resp. de l'ingestion de 1 Bq par l'alimentation (e_{ing}) figurent dans les annexes de l'ordonnance sur la radioprotection (ORaP). Ces facteurs s'appliquent en premier lieu pour une incorporation unique d'activité et indiquent ensuite la dose effective accumulée durant 50 ans (E_{50} dose effective engagée).

La contribution naturelle à la dose provenant des radionucléides présents dans le corps est en moyenne voisine de 0.36 mSv/an. Le potassium-40 avec 0.18 et le polonium-210 avec 0.12 mSv/an en délivrent la majeure partie. Un adulte présente par kg de poids du corps environ 60 Bq de potassium-40 resp. 0.2 Bq de polonium-210 dans le corps et ingère journalièrement par l'alimentation près de 100 Bq de potassium-40 resp. 0.1 Bq de polonium-210. Les radionucléides (cosmogéniques) produits en permanence par la radiation cosmique, carbone-14, beryllium-7, sodium-22 et tritium (H-3) induisent des contributions à la dose estimées respectivement à 0.012, 0.003, 0.0002 et 0.00001 mSv/an. Les nucléides (primordiaux) des familles naturelles de l'uranium et du thorium contenus dans la croûte terrestre occasionnent approximativement une contribution de 0.035 - 0.040 mSv/an, à laquelle s'ajoute 0.006 mSv/an incombant au rubidium-87 de longue vie.

La contribution des radionucléides artificiels dans le corps - essentiellement due aux essais d'armes nucléaires et à l'accident au réacteur de Tchernobyl - si situé actuellement à près de 0.006 mSv/an. Environ 0.002 à 0.003 mSv/an en incombe individuellement au césium-137 et au strontium-90. Le carbone-14 et le tritium des anciens essais d'armes nucléaires induisent aujourd'hui encore une contribution de 0.0016 resp. 0.00005 mSv/an. Le gaz rare de longue vie krypton-85, principalement relâché par les usines de retraitement du combustible et répandu à l'échelle mondiale, occasionne environ 0.00001 mSv/an et ensemble les plutonium-239 et -240 près de 0.000025 mSv/an.

Depuis le 1^{er} octobre 1994, des prescriptions concernant le radon à l'intérieur des maisons sont en vigueur conformément à la nouvelle ordonnance sur la radioprotection (ORaP). Le niveau de radon ne doit pas dépasser 1000 Bq/m³ dans les locaux d'habitation et de séjour, resp. 3000 Bq/m³ dans les secteurs de travail. Pour les nouveaux bâtiments et les bâtiments transformés, une valeur directrice de 400 Bq/m³ est prescrite. L'exécution de ces nouvelles dispositions, i.e. sondages et cadastres du radon, obligations d'assainissement et aménagements appropriés de la construction relève des cantons. Le service technique et d'information sur le radon de l'OFSP soutient les cantons dans les campagnes de mesures et se charge de l'information de la population et des architectes.

Les enquêtes-radon actuellement disponibles sur près de 6000 maisons concluent à une valeur moyenne estimée à 60 Bq/m³ pour l'ensemble des séjours suisses, ce qui correspond à la valeur médiane des échantillonnages. Même si le recensement ne concerne que 3 pour mille des maisons, cette valeur moyenne peut être considérée comme représentative. Un à deux pour-cent des maisons signalent des valeurs extrêmes jusqu'à quelques milliers de Bq/m³.

Pour le radon, la source première est le sol; les matériaux de construction et l'eau potable ne jouent qu'un rôle secondaire. Les paramètres déterminants sont la teneur en radium du sous-sol et surtout la perméabilité de ce dernier au gaz radon ainsi que les porosités des sols et des murs du rez-de-chaussée des bâtiments. L'effet de cheminée lié à l'ascendance de l'air chaud à l'intérieur des maisons est également important. Il provoque l'aspiration du radon depuis le soubassement.

Les concentrations les plus importantes s'observent généralement à la cave et vont en diminuant dans les étages supérieurs. Les anciens bâtiments montrent souvent des valeurs plus élevées que les nouveaux ainsi que les maisons à une famille et les fermes comparativement aux immeubles à plusieurs familles. Une valeur fiable pour la teneur en radon à l'intérieur d'une maison ne peut s'obtenir que sur la base de mesures; un pronostic fondé uniquement sur des paramètres géologiques du soubassement s'avère trop imprécis.

Concernant les valeurs radon trop élevées, la pénétration du radon dans les bâtiments peut être réduite par des dispositions au niveau de la construction, comme par exemple le revêtement étanche des sols et des murs souterrains ou la ventilation des locaux du sous-sol. Des isolations au niveau des cloisons destinées à l'économie du chauffage n'aboutissent pas forcément à des niveaux accrus du radon à l'intérieur des maisons. Le service technique et d'information sur le radon met à disposition les renseignements relatifs à la mesure et à l'assainissement du radon ainsi qu'à l'interprétation des résultats.

f) Corps humain

La radioactivité de l'environnement parvient aussi dans le corps humain par l'intermédiaire de la nourriture. Dans ce cas aussi les radionucléides naturels prédominent, en particulier le potassium-40. Le corps d'un adulte renferme approximativement 100 g (femmes) resp 150 g (hommes) de potassium; cela correspond à 3000 resp. 4500 Bq de potassium-40. Comme le potassium se fixe préférentiellement dans le tissu musculaire, il n'est pas étonnant que la teneur en potassium soit plus importante chez l'homme que chez la femme.

L'ultime contrôle de la surveillance s'effectue sur les radionucléides mesurés dans le corps humain; il s'agit en particulier 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 dans celui d'écoliers. Le comportement physiologique du strontium s'apparente à celui du calcium, celui du césium à celui du potassium. Le calcium et le strontium se retrouvent par conséquent surtout dans les vertèbres et les dents alors que le potassium et le césium parviennent de préférence dans le tissu musculaire. Rapporté à la teneur de calcium, l'activité moyenne du strontium-90 dans les dents de lait et dans les vertèbres correspond respectivement à 0.049 et 0.026 Bq par gramme de calcium. Les valeurs du césium-137 mesuré en 1994 chez des lycéens de Genève ont indiqué des concentrations inférieures à 10 Bq par kg de poids du corps.

III. Doses de rayonnements

La radioactivité présente dans l'environnement se répercute de deux façons sur la dose de rayonnements des personnes: une irradiation du corps depuis l'extérieur (dose externe) par la radioactivité de l'air, du sol, des matériaux de construction etc. et une irradiation du corps depuis l'intérieur (dose interne) par les radionucléides qui parviennent dans le corps par inhalation et ingestion (cf. encadré). Ce chapitre résume les doses de rayonnements de la population suisse issues des sources de rayonnements naturelles et artificielles.

a) Irradiation externe: surveillance des doses ambiantes

La radioactivité terrestre contribue pour près de la moitié à la dose ambiante naturelle en plein air, soit en moyenne suisse pour 0.4 mSv par an. La radiation cosmique qui augmente en fonction de l'altitude par rapport au niveau de la mer en constitue la part complémentaire: elle équivaut par exemple à 0.35 mSv par an sur le lac de Lugano pour atteindre déjà 0.65 mSv par an à St. Moritz. Les matériaux de construction contiennent également des radionucléides naturels en faibles quantités. Les doses ambiantes externes en plein air sont surveillées par le réseau automatique NADAM et par des mesures supplémentaires. La contribution du césium de Tchernobyl à la dose externe en plein air a montré un recul dans les dernières années, en moyenne de 3 pour-cent par an, sur la base des observations dans certaines stations du réseau NADAM.

A l'intérieur des maisons, la dose externe de rayonnements est réduite par rapport à celle en plein air en raison des murs, qui d'un autre côté induisent une contribution des radionucléides présents dans les matériaux de construction. Globalement cette dernière contribution prédomine comme le confirment des mesures de la dose dans des maisons du canton de Fribourg et des examens portant sur la teneur en radionucléides des matériaux de construction; c'est pourquoi on peut s'attendre à une dose ambiante externe à l'intérieur des maisons en moyenne supérieure d'environ 20 pour-cent à celle mesurée en plein air. Il s'ensuit en moyenne pour la population suisse une exposition externe aux rayonnements voisines de 0.8 mSv par an en admettant une durée de séjour de 80 pour-cent dans les bâtiments.

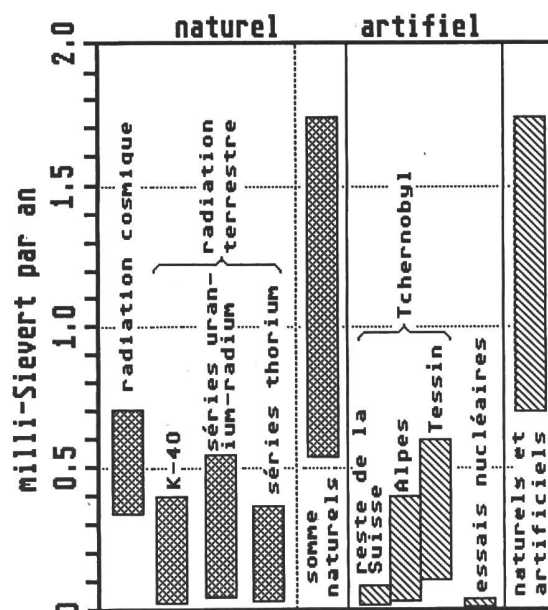


Fig. 8: Contributions à la dose ambiante en plein air

b) Irradiation interne par des radionucléides présents dans le corps humain

La contribution principale à la dose interne naturelle de 0.36 mSv/an provient du potassium-40 et du polonium-210 avec 0.18 resp. 0.12 mSv/an. Les radionucléides produits par la radiation cosmique, carbone-14, beryllium-7, sodium-22 et tritium (H-3) occasionnent pour leur part approximativement 0.015 mSv/an. Les nucléides des familles naturelles de l'uranium et du thorium de la croûte terrestre avec 0.04 mSv/an et le rubidium-87 de longue vie avec 0.006 mSv/an en complètent le bilan (cf. encadré). Les descendants du radon entraînent en moyenne 1.6 mSv par an, soit presque la moitié de l'exposition moyenne globale aux rayonnements de la population. Pour le radon et ses descendants, des doses internes extrêmes jusqu'à 100 mSv/an peuvent apparaître. Suite à l'inhalation du radon, ses descendants radioactifs provoquent une irradiation des poumons induisant par la même une augmentation du risque de cancer du poumon. En regard d'une étude suédoise¹⁾, sur l'ensemble des cas de cancer du poumon survenant en Suisse - soit environ 120 par million et par an chez les femmes resp. 730 par million et par an chez les hommes - approximativement 6 pour cent seraient attribuables au radon. Selon WHO, un risque de cancer

du poumon par le radon dans l'habitat supérieur à 1 cas par mille habitants et par an devrait être évité; ce risque correspond à une teneur de radon de l'ordre de 1000 Bq/m³. La consommation régulière d'eaux minérales contenant des émetteurs naturels alpha avec des concentrations dans le domaine du Bq/l augmenterait la dose d'au plus quelques centièmes de mSv/an.

La contribution des radionucléides artificiels dans le corps - provenant principalement des essais nucléaires et de l'accident au réacteur de Tchernobyl - représente actuellement environ 0.006 mSv/an. La majeure partie de cette dose incombe au césium-137 et au strontium-90 avec chacun 0.002 - 0.003 mSv/an, tandis que le carbone-14 et le tritium induisent aujourd'hui encore moins de 0.002 mSv/an. L'exposition aux rayonnements par des radionucléides artificiels présents dans les denrées alimentaires équivaut en 1994 à quelques millièmes de mSv pour des personnes dont les habitudes alimentaires répondent aux pratiques moyennes en Suisse. Les autres radionucléides artificiels entraînent des doses internes de rayonnements insignifiantes (cf. encadré).

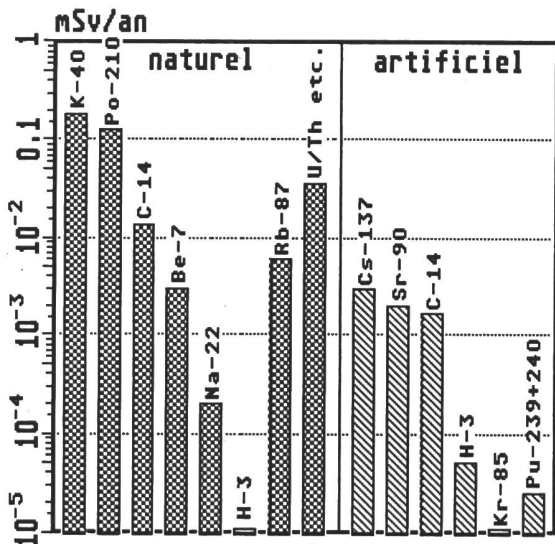


Fig. 9: Contributions à l'exposition interne aux rayonnements

*) G. Pershagen et al. in *New England Journal of Medicine*, 330/3 (1994) pp. 159-164.

IV. Surveillance particulière: installations nucléaires, entreprises et hôpitaux

Des radionucléides peuvent parvenir dans l'environnement consécutivement aux rejets atmosphériques et liquides des installations nucléaires et des entreprises qui produisent resp. traitent des substances radioactives. D'où la nécessité d'établir un bilan de leurs émissions et de surveiller leur environnement. Ce chapitre synthétise les résultats de la surveillance de l'environnement auprès de ces installations et rend compte des doses de rayonnements qui en résultent pour la population avoisinante.

a) Installations nucléaires

La surveillance de l'environnement des installations nucléaires s'opère par la Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN) en étroite collaboration avec l'Office fédéral de la santé publique (OFSP/SUER) et certains services cantonaux et fédéraux auxiliaires. Les programmes et les méthodes de mesure englobent les doses ambiantes, la radioactivité dans le sol, l'herbe, les céréales, le lait et d'autres produits agricoles ainsi que celle dans les eaux de rivière et de la nappe phréatique, dans les poissons, les végétaux aquatiques et les sédiments. Ces mesures sont complétées par des examens in situ, des vols aéroradiométriques et des déterminations du carbone-14. Le réseau automatique de surveillance pour le débit de dose ambiante (MADUK) à proximité des centrales nucléaires, qui comprend 12 à 18 stations par centrale, est en exploitation depuis début 1994. La surveillance portant sur l'année couverte par ce rapport ne signale aucun dépassement des valeurs directrices de concentrations ni de doses dans le voisinage des centrales nucléaires. Des faibles influences des centrales restent décelables au niveau du rayonnement direct à proximité immédiate des réacteurs* à eau bouillante ainsi que dans les sédiments et les végétaux aquatiques prélevés dans les rivières en aval des installations. Cela concerne également le voisinage proche du PSI en relation avec le rejet tritium mentionné plus loin. Une augmentation du carbone-14 est aussi perceptible auprès des installations nucléaires: elle équivaut par rapport au niveau naturel du carbone-14 à 10 pour-cent (voisinage KKL), 8 pour-cent (voisinage KKM), 4 pour-cent (voisinage KKB/PSI)

et jusqu'à 20 pour-cent à proximité immédiate du réacteur SAPHIR du PSI. Les répercussions des émissions des installations nucléaires suisses dans leur fonctionnement normal sur l'environnement et les doses de rayonnements de la population sont insignifiantes.

Les limites de rejets pour les centrales nucléaires de Beznau (KKB), Gösgen-Däniken (KKG), Leibstadt (KKL), Mühleberg (KKM) et pour l'Institut Paul-Scherrer (PSI) sont fixées dans l'autorisation d'exploitation, de sorte que la dose impliquée pour des personnes de la population avoisinante ne dépasse pas 0.2 mSv/an. Les exploitants sont tenus de surveiller en permanence leurs **émissions de radioactivité** par voie atmosphérique et rejets liquides dans l'environnement et d'en établir le bilan. La Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN) en tant qu'autorité compétente contrôle les données sur la base de ses propres mesures et calcule les doses de rayonnements maximales qui en résultent pour la population avoisinante. Les centrales nucléaires ont respecté en 1994 les valeurs limites annuelles prescrites. L'exposition maximale aux rayonnements de la population avoisinante n'a pas dépassé 0.012 mSv auprès de Mühleberg (KKM) resp. 0.007 mSv auprès des centrales de Beznau (KKB), Gösgen-Däniken (KKG) et Leibstadt (KKL). Pour les trois dernières installations mentionnées, la contribution majeure à la dose incombe en proportion aux rejets de carbone-14.

Concernant l'**Institut Paul-Scherrer** à Villigen/AG, les limites de rejets ont été respectées à une exception près en 1994. Les doses maximales calculées à partir des rejets de l'Institut dans l'environnement pour la population avoisinante ont représenté 0.01 mSv par an. L'installation pilote d'incinération du PSI a relâché dans l'atmosphère 4.35 TBq de tritium entre les 24 et 25 mars 1994 au cours de l'incinération des déchets tritium provenant d'une campagne de ramassage des déchets radioactifs de la médecine, de l'industrie et de la recherche, dont la contexture n'était pas assez précisément déclarée. Cette émission se situe 10 pour-cent au-dessus de la limite annuelle de rejet dans l'atmosphère pour le tritium auprès du PSI, dont la valeur est fixée relativement basse en raison des sources multiples d'émission réparties dans la zone d'exploitation de l'Institut. La dose par inhalation calculée pour des individus de la population suite à cet événement représente dans le pire des cas 0.005 mSv. Les services concernés ont pris des

dispositions pour éviter à l'avenir de tels contre-temps.

b) Entreprises industrielles et hôpitaux

Des entreprises, qui manipulent des substances radioactives doivent être titulaires d'une autorisation de la Confédération. L'inspection relève de l'Office fédéral de la santé publique (OFSP) dans les domaines de la médecine, de la recherche et de la formation resp. de la Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents (CNA) pour les secteurs de l'industrie, du commerce, de l'apprentissage, des laboratoires analytiques ainsi que des entreprises et services correspondants de l'administration publique. L'autorité habilitée peut exiger un bilan des rejets des substances radioactives et même une surveillance appropriée de l'environnement pour les entreprises qui traitent d'importantes quantités. De telles exigences sont effectives entre autres auprès des entreprises industrielles traitant du tritium à Teufen/AR et à Niederwangen/BE ainsi qu'auprès des ateliers de posage de peintures luminescentes dans la région de La Chaux-de-Fonds.

Les entreprises industrielles soumises à déclarer un bilan à la CNA ont respecté en 1994 les limites fixées dans l'autorisation pour le rejet de substances radioactives dans l'environnement. Les mesures de surveillance effectuées dans l'environnement ont certes indiqué comme par le passé des concentrations de tritium jusqu'à quelques milliers de Bq/l dans les précipitations et les eaux superficielles; ces valeurs n'ont cependant jamais dépassé les valeurs limites d'impact correspondantes de l'ORaP et n'ont pas entraîné chez la population des doses inadmissibles de rayonnements. Le bilan de l'écoulement de tritium de la région de La Chaux-de-Fonds s'établit pour 1994 à environ 25 TBq sur la base des mesures portant sur les stations d'épuration. Le bilan de l'écoulement par le Doubs a indiqué environ 50 TBq; cette valeur plus élevée s'explique par les émissions atmosphériques qui parviennent via précipitations dans les eaux. Des échantillons de légumes et de lait de la région de Niederwangen ont donné en 1994 des valeurs de tritium jusqu'à 200 Bq/kg resp. 180 Bq/l. Les émissions de tritium de ces entreprises occasionnent pour la population de leur voisinage des doses additionnelles maximales de 0.03 mSv par an, en accord avec des examens antérieurs de la teneur en tritium dans l'urine.

Les rejets de radioactivité aux stations d'épuration (STEP) des grandes agglomérations de Zürich, Bâle, Berne et Lausanne - à partir de 1995 aussi Genève - sont régulièrement surveillés sur la base d'échantillons cumulés. On y décèle dans les eaux usées et partiellement dans les boues d'épuration du iode-131 utilisé en thérapie thyroïdienne dans les hôpitaux et du tritium issu des stations d'incinération et des applications industrielles. Les valeurs du iode-131 en 1994 s'établissent comme suit: STEP de Zürich < 0.2 Bq/l, STEP de Lausanne < 0.6 Bq/l, STEP de Bâle < 2.1 Bq/l et STEP de Berne < 4 Bq/l. L'écoulement annuel d'iode-131 à la STEP de Berne correspond environ à 20-30 GBq. En raison du traitement des eaux usées des entreprises resp. des STEP en question et de leur forte dilution subséquente dans les rivières, on peut exclure pour l'eau potable des doses significatives de rayonnements chez la population. Aucun impact inadmissible n'est apparu dans le voisinage des entreprises sous surveillance et les doses de rayonnements induites sur la population par les émissions de radioactivité sont nettement inférieures aux valeurs directrices correspondantes de l'ORaP.

Des déchets contenant parfois du carbone-14 sont également incinérés dans des installations d'incinération de déchets (cf. ORaP Art. 83). C'est pourquoi un premier examen des teneurs en carbone-14 a été entrepris en 1994 sur les feuillages du voisinage immédiat de l'ancien four d'incinération de la CIBA à Bâle. Les résultats ont montré des valeurs jusqu'à 40 pour-cent supérieures aux valeurs habituelles du carbone-14 réparti à l'échelle mondiale. Les doses de rayonnements qui en résultent, d'au plus 0.001 mSv par an, restent néanmoins négligeables.

V. Dose de rayonnements de la population

(voir aussi tableau)

L'exposition globale aux rayonnements de la population suisse équivaut en moyenne à 4 mSv/an. Les descendants du radon dans les maisons en représente approximativement 40 pour-cent avec un domaine de variation considérable puisque des valeurs extrêmes peuvent atteindre jusqu'à 100 mSv/an. L'irradiation naturelle subsistante (hors radon) constitue près de 30 pour-cent de l'exposi-

tion globale moyenne, alors qu'on peut attribuer en moyenne les contributions restantes aux applications médicales avec près de 25 pour-cent et à l'ensemble des autres sources artificielles de rayonnements avec moins de 5 pour-cent.

Les contributions naturelles à la dose ont pour origine les radionucléides présents dans le sol et les matériaux de construction, la radiation cosmique et la radioactivité naturelle assimilée dans le corps humain. Pour cette dernière, le potassium-40 fournit la contribution majeure, que l'on peut estimer à 0.18 mSv/an. En comparaison la dose attribuable à la radioactivité artificielle ingérée avec la nourriture représente moins de un centième de mSv/an.

Pour les doses de rayonnements issues des sources artificielles, la contribution de la médecine prédomine. Le tableau indique les doses moyennes de la population attribuables par exemple au radiodiagnostic aux rayons X et aux examens en médecine nucléaire; les doses de rayonnements individuelles dépendent considérablement du type et de la fréquence des examens.

Les répercussions de l'accident au réacteur de Tchernobyl en avril 1986 et celles des anciens essais d'armes nucléaires ne se traduisent aujourd'hui encore que par de faibles doses de rayonnements, incombant principalement au césium-137 déposé au sol resp. incorporé via l'alimentation.

Une contribution additionnelle, difficile à préciser, provient des sources de rayonnements liées à la civilisation communément désignées "faibles sources". Il s'agit de biens utilitaires et de consommation, qui contiennent des radionucléides en quantités faibles, comme les montres à cadrans lumineux au tritium, des catelles, des manchons à incandescence ou de la céramique dentaire, des détecteurs de fumée à ionisation contenant des radionucléides naturels ainsi que du polonium-210 inhalé par les fumeurs. La radiation cosmique accrue dans les avions qui occasionne 5 resp. 8 micro Sv/heure à une altitude de vol de 10 resp. 12 km, induit pour le personnel naviguant des doses annuelles additionnelles jusqu'à environ 5 mSv.

Les émissions de la radioactivité des installations nucléaires des entreprises et des hôpitaux ne se répercutent sur la population de leur voisinage immédiat que par de très faibles doses de rayonnements. Cette appréciation se confirme même en basant le calcul de ces doses sur des hypothèses

défavorables au niveau du lieu de séjour, du mode de vie et des habitudes alimentaires.

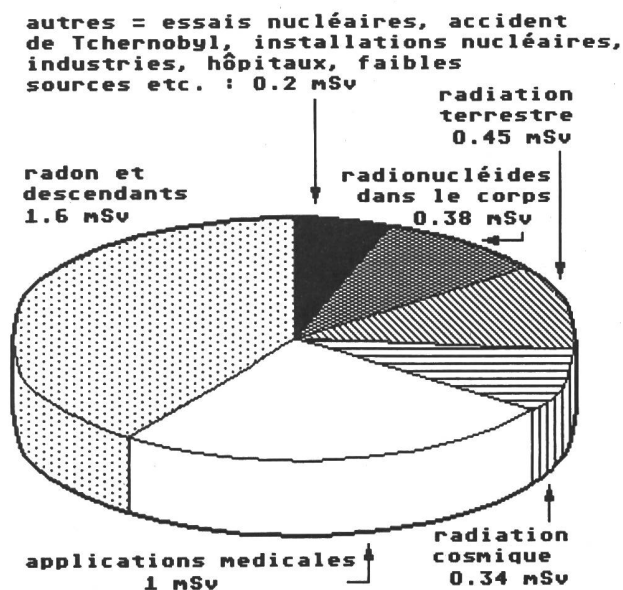


Fig. 10: Contributions à l'exposition aux rayonnements

Les 58'362 personnes professionnellement exposées aux radiations dans les installations nucléaires, les entreprises, le commerce, les services publics, la recherche et la médecine ont accumulé en 1994 des doses jusqu'à 45 mSv au maximum avec une dose collective de 10.2 homme-Sievert par an. La dose a dépassé 1 mSv/an pour seulement 4 pour-cent des personnes, dont 6 cas se sont situés au-dessus de 20 mSv, qui constitue depuis le 1.1.95 la valeur limite annuelle pour ces personnes selon la nouvelle ordonnance (ORaP).

Remerciements

L'auteur remercie Messieurs Serge Prêtre (DSN), Jean-François Valley (IRA) et Bernard Michaud (OFSP) de leurs précieuses suggestions et de leur examen critique du texte ainsi que le traducteur Christophe Murith.

Tableau 1: DOSES DE RAYONNEMENTS DE LA POPULATION SUISSE 1994

moyennes et domaines approximatifs des valeurs indiquées comme doses effectives en milli-Sievert par an en tenant compte de la durée de séjour à l'intérieur des maisons.

Irradiation	Source	Description	Domaine mSv/an	Moyenne mSv/an
Irradiation naturelle	Radiation terrestre	Descendants de l'uranium et du thorium et potassium-40 dans le sol (y compris matériaux de construction)	0.2 - 1.5	0.45
	Radiation cosmique	Dépendance selon l'altitude: $D(\text{mSv/a}) = 0.324 \cdot e^{(0.38 z)}$ (z = hauteur en km)	0.3 - 0.6	0.34
	Radionucléides naturels dans le corps humain	Potassium-40, uranium et thorium avec descendants, tritium, carbone-14 etc.	0.2 - 0.5	0.38
Irradiation liée à la civilisation et sources artificielles de rayonnements	Radon et descendants	Moyenne territoriale dans les maisons: 60 Bq radon-222/m ³	0.3 - 100	1.6
	Accident au réacteur de Tchernobyl	Doses pour 1994: bilan global (1986-2000):	0.01 - 0.1 (0.2 - 5)	0.01 (0.5)
	Retombée des armes nucléaires	Doses pour 1994: bilan global (1956-2000):	0.01 - 0.02 (0.5 - 5)	0.01 (1.2)
	Rejets des installations nucléaires	Valeurs calculées pour la population sur la base d'hypothèses défavorables	0.015	
	Rejets des autres entreprises	Valeurs maximales pour la population avoisinante	0.03	
	Sources faibles et doses auxiliaires de rayonnements liées à la civilisation	P.ex. montres à cadran lumineux, polonium-210 chez les fumeurs, vols et sources faibles auxiliaires	0 - 5	0.1
	Applications médicales	Diagnostic aux rayons X (1978) Médecine nucléaire (1989/90)	0 - 30 0 - 80	1 0.04

Personnel professionnellement exposé	Exposition professionnelle aux rayonnements	58'362 personnes ont reçu 1994 total 10.2 homme-Sievert; moyenne = 0.17 mSv/an	0 - 45 pour 95%: < 1 mSv	
Personnel navigant	Radiation cosmique accrue	à 10 - 12 km d'altitude: 5 - 8 micro Sv/heure	2 - 5	

A

RADIOATTIVITÀ DELL'AMBIENTE E DOSI D'IRRADIAZIONE NEL 1994 : RIASSUNTO

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

Riassunto

Fin dalla metà degli anni '50, 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 1994, include un'interpretazione di tali dati e indica le dosi d'irradiazione della popolazione che ne derivano. Oggetto della sorveglianza sono la radioattività presente nell'aria, nelle precipitazioni, nelle acque, nel suolo, nell'erba, nelle derrate alimentari e nell'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 1994, le centrali e gli impianti nucleari autorizzati a servirsi di sostanze radioattive hanno osservato (con una sola eccezione) 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.

I. 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. In seguito alle applicazioni della scissione nucleare per bombe atomiche e reattori si creano anche radionuclidi artificiali che possono a loro volta penetrare nell'ambiente. Isotopi radioattivi trovano inoltre impiego anche per la ricerca, l'industria e la medicina. I timori concernenti i rischi che la radioattività sprigionata con gli esperimenti di armi nucleari negli anni cinquanta e sessanta comportava per la popolazione hanno condotto all'introduzione, nel 1956, della sorveglianza generale della radioattività in Svizzera. Attualmente rivestono tuttavia maggiore importanza l'esposizione alla radiazione proveniente dal radon nelle abitazioni e la sorveglianza in prossimità di impianti nucleari, di aziende che lavorano con isotopi radioattivi e di ospedali.

La nuova Ordinanza sulla radioprotezione (ORaP del 22.6.1994), entrata in vigore il 1° ottobre 1994, limita le dosi 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 e i valori limite per il radon nei locali abitati (v. riquadro).

II. Radioattività ambientale

In questo capitolo riassumeremo gli esiti della sorveglianza della radioattività nell'ambiente in generale. Le concentrazioni di radioattività misurate nei campioni sono indicate in Bq (becquerel, v. riquadro).

Unità di misura e regolamentazione legale

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

La **radioattività** di una sostanza si misura in Becquerel (Bq). Un Bq corrisponde ad una disintegrazione radioattiva al secondo. 10^{-3} , 10^{-6} , 10^{-9} e 10^{-12} Bq si dicono millibecquerel (mBq), microbecquerel (μ Bq), nanobecquerel (nBq) e (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): $1 \text{ nCi} = 37 \text{ Bq}$, $1 \text{ Bq} = 27 \text{ pCi}$.

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.

La nuova **Ordinanza sulla radioprotezione** (ORaP), in vigore dal 1° ottobre 1994, si fonda sulle più recenti raccomandazione della Commissione internazionale di radioprotezione (ICRP) del 1991^{*)}. Per le persone professionalmente esposte a radiazioni, la dose annuale vi è limitata 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 bevvesse 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. Per la prima volta si introducono inoltre valori limite e di tolleranza per i radionuclidi nelle derrate alimentari, pubblicati nell'Ordinanza sulle sostanze estranee e sui componenti nelle derrate alimentari (OEC). Quello che conta per la radioprotezione è il valore limite, mentre il valore di tolleranza costituisce unicamente un criterio di qualità e il suo superamento non comporta alcun rischio. L'evacuazione di sostanze radioattive nell'ambiente deve in ogni caso essere controllata. L'autorità cui compete il rilascio delle licenze fissa i limiti d'immissione. Per gli impianti nucleari questi sono ad esempio scelti in modo tale che, anche nelle immediate vicinanze, nessuno subisca una dose addizionale superiore 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 indicativo di 400 Bq/m^3 .

^{*)} 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publication nr. 60, Annals of the ICRP, vol 21/1-3 (1991); Pergamon Press Oxford. ISBN 0-08-041144-4 or ISSN 0146-6453

a) Aria e precipitazioni

Nell'aria e nelle precipitazioni si trovano tuttora radionuclidi artificiali (soprattutto cesio-137 e stronzio-90) diffusi su aree geograficamente estese e provenienti dagli esperimenti compiuti con armi nucleari e dall'incidente nel reattore di Cernobil. La loro concentrazione si è gradualmente ridotta durante gli ultimi anni e attualmente è soltanto ancora accertabile con metodi di misura sensibilissimi.

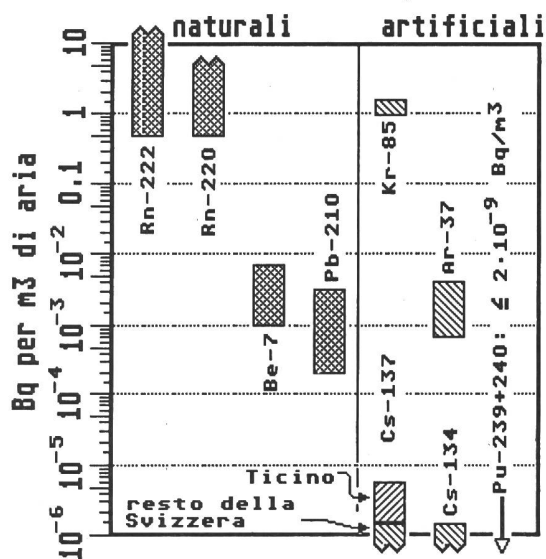


Fig. 1: Radionuclidi all'aria aperta

Accanto a quelli artificiali, l'aria contiene anche radionuclidi di origine naturale. Si tratta dei prodotti di decadimento del radon (incluso il piombo-210 e il polonio-210), del berillio-7, del tritio e del carbonio-14. La loro fonte è la radiazione cosmica, gli ultimi due possono inoltre derivare anche dall'attività umana. In seguito agli esperimenti con armi nucleari, la concentrazione del carbonio-14 nella biosfera supera tuttora del 12 per cento circa il livello naturale. Questo radionuclide è sprigionato anche dagli impianti nucleari, nelle cui immediate vicinanze la sua concentrazione aumenta perciò ancora approssimativamente del 10 per cento. Si trovano inoltre nell'aria anche tracce del radionuclide artificiale plutonio-239 e dei gas nobili cripto-85 e argo-37, indicatori della rigenerazione di combustibili nucleari o di esperimenti sotterranei con armi nucleari.

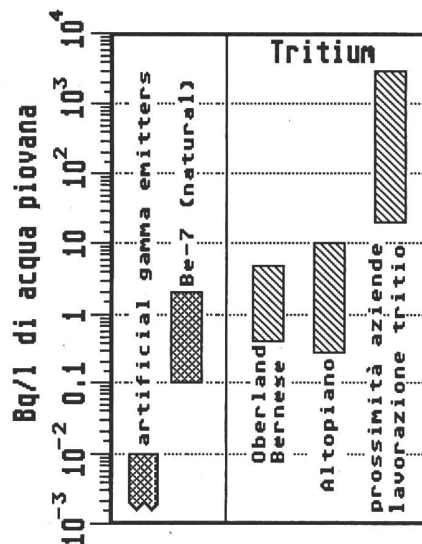


Fig. 2: Radionuclidi nell'acqua piovana

Nelle precipitazioni non sono più accertabili - accanto al berillio-7 di origine naturale - 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/l, si è da allora continuamente ridotto. Nelle regioni non influenzate da emittenti locali, comporta soltanto ancora pochi Bq/l, nelle immediate vicinanze delle aziende industriali di lavorazione del tritio può raggiungere alcune migliaia di Bq/l.

b) Acque

La sorveglianza dei sistemi acquatici comprende le acque di superficie e la falda freatica, i pesci, le piante acquatiche, i sedimenti, gli impianti di depurazione e gli scoli delle discariche. Nei campioni d'acqua fluviale regolarmente prelevati non sono generalmente accertabili con i metodi di misura usuali radionuclidi artificiali all'infuori del tritio. Il contenuto di tritio nei campioni prelevati ogni mese dalle acque fluviali rispecchia in parte influssi antropogeni, ad esempio quelli dell'industria delle vernici luminescenti e degli impianti nucleari. Questo vale in particolar modo per i fiumi più piccoli nelle immediate vicinanze di aziende di lavorazione del tritio. Anche nelle acque di scolo delle discariche in passato adoperate per rifiuti contenenti tritio si trovano tuttora concentrazioni elevate di questo radionuclide. Nei sedimenti 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, a valle degli ospedali si trova iodio-131 nei fanghi di depurazione. Anche le piante acquatiche sono buoni indicatori delle emissioni di radioattività degli impianti nucleari. Le carote di sedimenti prelevate dal Lago Bodanico, dal Lemano, dal Lago di Biemme e dal Ceresio permettono di riconoscere facilmente il cesio-137 proveniente dalle ricadute delle armi nucleari e dall'incidente di Cernobil e consentono così di stabilire un bilancio delle quantità di cesio depositate.

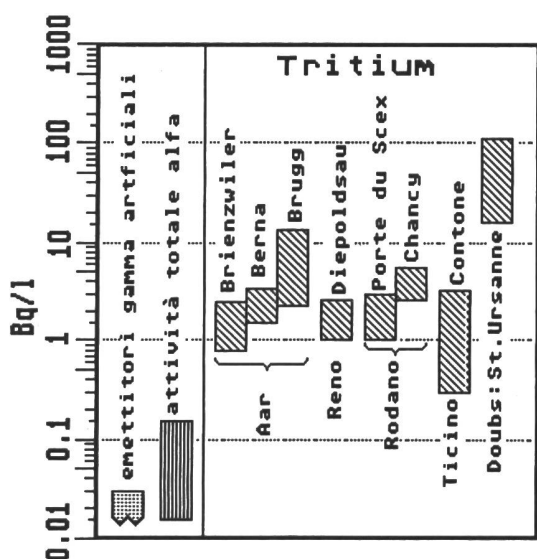


Fig. 3: Radionuclidi nei fiumi

c) Suolo e vegetazione

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, uno degli ultimi anelli della catena di decadimento uranio-radio-radon, 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 dall'incidente di Cernobil. L'andamento della sedimentazione dei depositi di Cernobil è tuttora riconoscibile. Il cesio che si sedimenta sul

suolo naturale decade e penetra lentamente negli strati più profondi del terreno. Nel 1994, la parte proveniente da Cernobil aveva raggiunto una profondità di circa 10 cm, quella imputabile alle ricadute di bombe atomiche circa 30 cm. Il suolo dei terreni coltivati si rimescola soprattutto durante l'aratura.

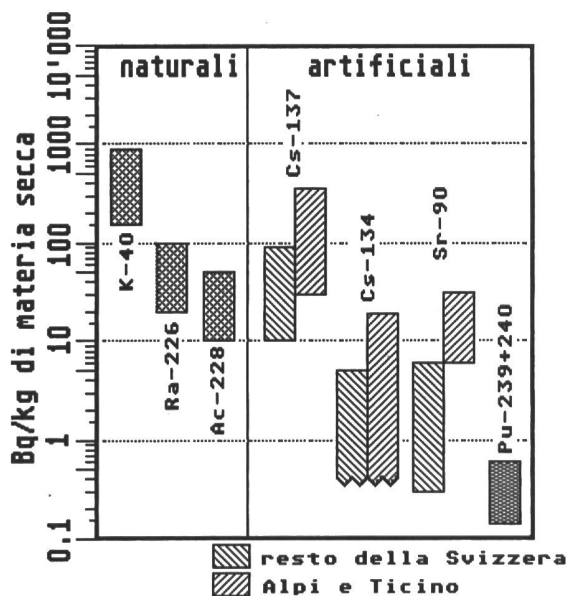


Fig. 4: Radionuclidi nel suolo

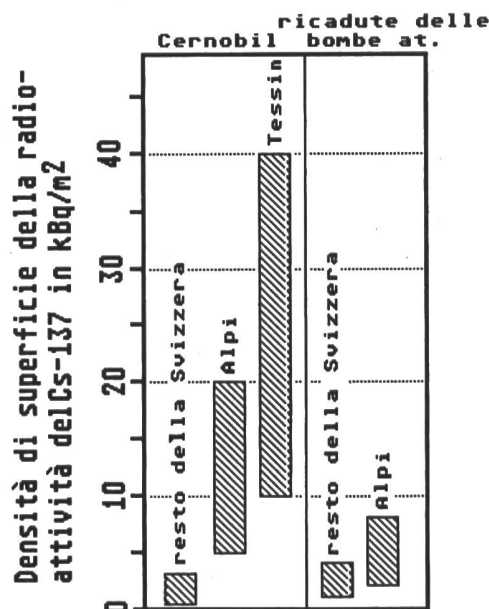


Fig. 5: Sedimentazione del cesio-137

Unità di misura e regolamentazione legale

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

La **radioattività** di una sostanza si misura in Becquerel (Bq). Un Bq corrisponde ad una disintegrazione radioattiva al secondo. 10^{-3} , 10^{-6} , 10^{-9} e 10^{-12} Bq si dicono millibecquerel (mBq), microbecquerel (μ Bq), nanobecquerel (nBq) e (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): $1 \text{ nCi} = 37 \text{ Bq}$, $1 \text{ Bq} = 27 \text{ pCi}$.

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.

La nuova **Ordinanza sulla radioprotezione** (ORaP), in vigore dal 1° ottobre 1994, si fonda sulle più recenti raccomandazione della Commissione internazionale di radioprotezione (ICRP) del 1991^{*)}. Per le persone professionalmente esposte a radiazioni, la dose annuale vi è limitata 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. Per la prima volta si introducono inoltre valori limite e di tolleranza per i radionuclidi nelle derrate alimentari, pubblicati nell'Ordinanza sulle sostanze estranee e sui componenti nelle derrate alimentari (OEC). Quello che conta per la radioprotezione è il valore limite, mentre il valore di tolleranza costituisce unicamente un criterio di qualità e il suo superamento non comporta alcun rischio. L'evacuazione di sostanze radioattive nell'ambiente deve in ogni caso essere controllata. L'autorità cui compete il rilascio delle licenze fissa i limiti d'immissione. Per gli impianti nucleari questi sono ad esempio scelti in modo tale che, anche nelle immediate vicinanze, nessuno subisca una dose addizionale superiore 0,2 mSv all'anno. Il limite di concentrazione del radon nei locali d'abitazione e di soggiorno è fissato a 1000 Bq/m³. Edifici che presentano valori superiori a questo limite devono essere risanati. Gli edifici nuovi e quelli riattati non dovrebbero superare un limite indicativo di 400 Bq/m³.

^{*)} 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publication nr. 60, Annals of the ICRP, vol. 21/1-3 (1991); Pergamon Press Oxford. ISBN 0-08-041144-4 or ISSN 0146-6453

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 presentano alte concentrazioni di cesio. Lo stronzio-90, causato quasi esclusivamente dalle ricadute di armi atomiche, si è distribuito uniformemente nel terreno fino a una profondità di circa 30 cm.

d) Prodotti alimentari

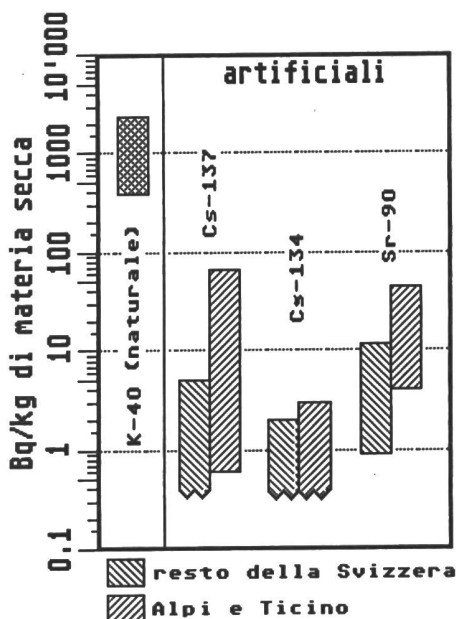


Fig. 6: Radionuclidi nell'erba

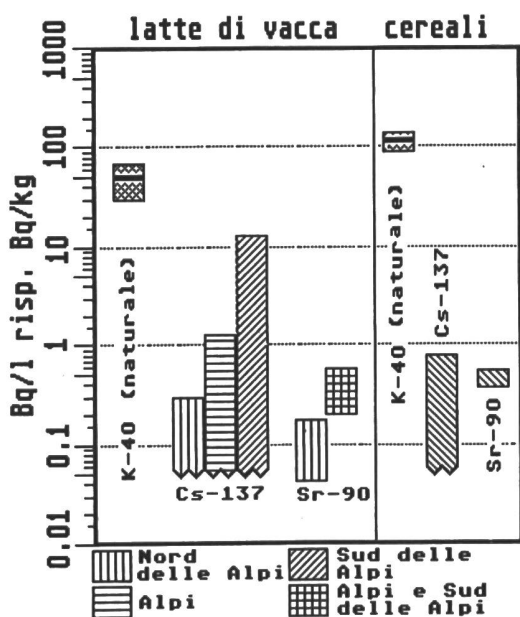


Fig. 7: Radionuclidi negli alimenti di base

La sorveglianza della radioattività nelle derrate alimentari si svolge in cooperazione con i laboratori cantonali che, conformemente alla nuova ordinanza sulla radioprotezione, sono responsabili dell'osservanza dei valori limite e di tolleranza dei radionuclidi nelle derrate alimentari. Anche nelle derrate alimentari vegetali o animali il radionuclide dominante è solitamente il potassio-40, di origine naturale. La radioattività artificiale presente nelle principali derrate alimentari (latte, cereali e carne), costituita da cesio-134, cesio-137 e stronzio-90, è modesta, a nord delle Alpi solitamente vicina al limite di misura. La selvaggina e i funghi selvatici presentano in parte ancora valori elevati di cesio dovuti all'incidente di Cernobil. A differenza di quanto si osserva per determinati funghi domestici non coltivati (soprattutto per i boleti dei castagni e gli agarici rugosi che, in singoli casi, presentano ancora concentrazioni di cesio di 2700 Bq/kg), per la selvaggina si nota un graduale calo della radioattività. Dato il basso tasso di consumo di selvaggina e funghi, le relative dosi d'irradiazione sono modeste, sebbene in alcuni casi si superino i nuovi limiti legali (valore limite per il cesio: 1250 Bq/kg). In alcune acque minerali in commercio si è riscontrata una concentrazione di radionuclidi naturali dell'ordine di 1 Bq/l. Il loro consumo regolare non causa tuttavia dosi d'irradiazione elevate.

e) Radon nelle case

Il radon è un gas nobile, prodotto del decadimento del radio naturale contenuto nel suolo, che penetra negli edifici soprattutto attraverso il terreno di fondazione e si accumula nei locali.

Dal 1° ottobre 1994 sono in vigore le disposizioni della nuova ordinanza sulla radioprotezione (ORaP) concernenti il radon all'interno delle case. Nei locali di abitazione e di soggiorno, la concentrazione del radon non deve superare 1000 Bq/m³, nelle aree di lavoro 3000 Bq/m³. Alle nuove costruzioni e ristrutturazioni si applica un valore operativo di 400 Bq/m³. L'esecuzione delle nuove prescrizioni, ossia la rilevazione del radon, l'allestimento della mappatura, le disposizioni di risanamento e le prescrizioni corrispondenti relative all'edilizia sono compito dei Cantoni. Il Servizio tecnico e d'informazione sul radon dell'UFSP accorda il suo sostegno ai Cantoni per le campagne di misurazione e informa l'opinione pubblica e gli specialisti dell'edilizia.

La media svizzera – calcolata per estrapolazione dalle misure del radon svolte sinora in circa 6000 case del nostro Paese – è di circa 60 Bq/m³, il che corrisponde anche al valore mediano dei campioni. Benché si sia sottoposto a misura soltanto il 3 per mille circa degli edifici, questo valore può essere considerato rappresentativo. L'1 a 2 per cento delle case presenta valori estremi fino ad alcune migliaia del Bq/m³. Il radon proviene principalmente dal terreno, mentre i materiali di costruzione e l'acqua potabile sono di minore rilievo. I fattori più importanti che influenzano la concentrazione del radon sono il contenuto di radio e, soprattutto, la permeabilità del suolo, nonché la penetrabilità nei pavimenti e nelle 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 unifamiliari e contadine che in quelle plurifamiliari. Per determinare con sufficiente affidabilità il contenuto di radon di una casa è tuttavia necessario ricorrere a misure; i pronostici fondati unicamente sui parametri geologici del terreno di fondazione sono troppo incerti.

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 della cantina e dei locali sotterranei. L'isolazione degli edifici verso l'esterno allo scopo di risparmiare energia da riscaldamento non comporta tuttavia necessariamente un aumento della concentrazione di radon all'interno. Informazioni relative alla misurazione del radon e ai provvedimenti di risanamento, nonché interpretazioni dei risultati sono ottenibili presso il Servizio tecnico e d'informazione sul radon.

f) Organismo umano

Con l'alimentazione, la radioattività ambientale penetra anche nell'organismo umano. Anche qui prevalgono i radionuclidi naturali, in particolare il potassio-40. L'organismo di una donna adulta contiene circa 100 g di potassio, corrispondenti a 3000 Bq di potassio-40, quello di un uomo 150 g con 4500 Bq. Poiché il potassio è incorporato soprat-

tutto nel tessuto muscolare, il contenuto di potassio dell'organismo maschile è maggiore di quello femminile.

Quale controllo finale dell'intera sorveglianza, si misurano i radionuclidi contenuti nell'organismo umano, in particolare lo stronzio-90 nei denti di latte e nelle vertebre e il cesio-137 contenuto 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 0,049 Bq, nelle vertebre di 0,026 Bq per ogni grammo di calcio. Le misure del cesio-137 svolte su liceali ginevrini hanno dato nel 1994 una media inferiore a 10 Bq per chilogrammo di peso.

III. Dosi d'irradiazione

La radioattività ambientale influisce in due modi sull'organismo umano: irradiandolo dall'esterno (dose esterna) attraverso la radioattività dell'aria, del suolo, dei materiali di costruzione, ecc. e dall'interno (dose interna) attraverso i radionuclidi giunti nel corpo con l'aria respirata e con il cibo (v. riquadro). In questo capitolo riassumiamo le dosi d'irradiazione della popolazione da fonti radioattive naturali e artificiali.

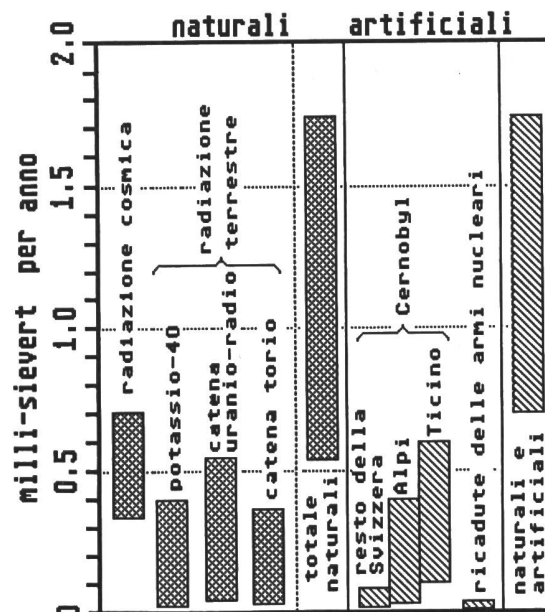


Fig. 8: Contributi alla dose ambiente all'aperto

a) Irradiazione esterna: sorveglianza delle dosi ambiente

La metà circa della dose ambiente 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. Anche i materiali di costruzione contengono modeste quantità di radionuclidi naturali. Con la rete di misura automatica NADAM e altri metodi di misura si sorvegliano le dosi ambiente esterne all'aperto. Le osservazioni fatte su alcune stazioni NADAM scelte a questo scopo hanno permesso di constatare che il contributo proveniente dal cesio di Cernobil è calato, nella media degli scorsi anni, del 3 per cento all'anno.

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 attenuante dei muri dell'edificio e si deve perciò tener conto in casa di una dose circa del 20 per cento superiore a quella determinata all'aperto. Se si presuppone che una persona trascorra in casa l'80% del tempo, si ottiene una dose media d'esposizione della popolazione svizzera a radiazioni esterne di 0,8 mSv all'anno. Le misure della dose in case del Canton Friburgo e le analisi del contenuto di radionuclidi nei materiali di costruzione confermano questa ipotesi.

b) 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. I radionuclidi carbonio-14, berillio-7, sodio-22 e tritio (H-3), originati dalla radiazione cosmica, causano 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 (v riquadro). Con 1,6 mSv all'anno, 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. Sulla base di uno studio svolto in Svezia^{*)}, si giunge alla conclusione che per il 6 per cento delle 120 donne, rispettivamente dei 730 uomini su un milione che ogni anno si ammalano di cancro ai polmoni questa malattia si deve 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. Per chi consuma regolarmente acque minerali contenenti emettitori alfa naturali di 1-2 Bq/l, la dose aumenta al massimo di alcuni centesimi di mSv all'anno.

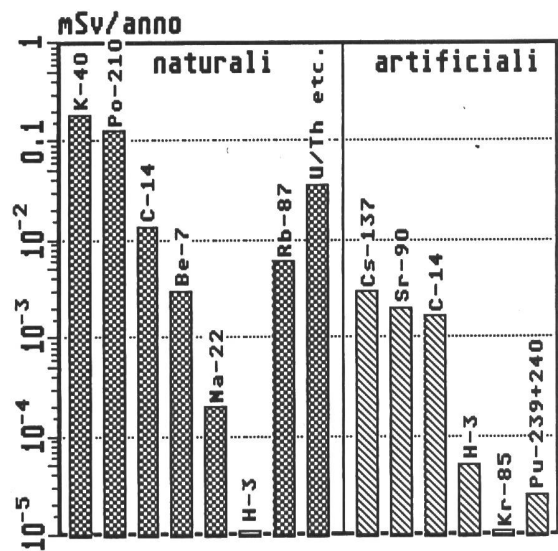


Fig. 9: Contributi all'esposizione interna

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 – comporta attualmente circa 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/anno ognuno, mentre il carbonio-14 e il tritio causano sinora meno di 0,002 mSv/anno. Nel 1994, la dose d'irradiazione della popolazione svizzera da radionuclidi artificiali nelle derrate alimentari era, per persone con abitudini alimentari medie, ancora di pochi millesimi di mSv. I

^{*)} G. Pershagen et al. in *New England Journal of Medicine* 330/3 (1994) pag. 156-164

contributi dei radionuclidi artificiali rimanenti non sono di rilievo (cfr. riquadro).

IV. Sorveglianza speciale di impianti nucleari, imprese e ospedali

Attraverso l'aria emessa e le acque di scolo, radionuclidi possono giungere nell'ambiente da impianti nucleari e da imprese che producono o trattano sostanze radioattive. E' perciò necessario allestire un bilancio delle emissioni e sottoporre a sorveglianza la zona circostante. In questo capitolo riassumeremo gli esiti della sorveglianza praticata nelle vicinanze dei tali impianti e le dosi che ne derivano per la popolazione.

a) Impianti nucleari

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 altre istituzioni cantonali e federali. I programmi e metodi di misura includono, accanto alle dosi ambiente, anche la radioattività presente 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. Dall'inizio del 1994 è in funzione nelle immediate vicinanze delle centrali nucleari la rete automatica di misura dell'intensità della dose ambiente MADUK con 12 a 18 stazioni di misura per ogni centrale. La sorveglianza degli impianti nucleari nell'anno in rassegna non ha rivelato concentrazioni o dosi superiori ai valori limite. L'influsso delle centrali è accertabile, seppure in scarsa misura, nelle radiazioni dirette nelle immediate vicinanze di reattori ad acqua bollente, come anche nei sedimenti e nelle piante acquatiche dei corsi fiumani a valle degli impianti. Questo vale anche per le immediate vicinanze dell'IPS subito dopo l'evacuazione di tritio di cui parleremo in seguito. In prossimità degli impianti nucleari si misura inoltre un aumento del carbonio-14. Rispetto al fondo di radioattività naturale questo aumento è del 10 per cento presso la CNL, del 8 per cento presso la CNM, del 4 per cento presso la CNB/PSI e del 20 per cento nelle immediate vicin-

nanze del reattore SAPHIR dell'IPS. In caso di funzionamento normale, l'impatto delle emissioni dagli impianti nucleari svizzeri sull'ambiente sull'esposizione della popolazione non è di rilievo.

I limiti posti alle evacuazioni dalle centrali nucleari di Beznau (CNB), Gösgen-Däniken (CNG), Leibstadt (CNL) e Mühleberg (CNM) e dell'Istituto Paul Scherrer (IPS) nelle rispettive licenze sono fissati in modo tale che la dose d'irradiazione della popolazione residente nelle vicinanze non possa superare 0,2 mSv/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 le loro dichiarazioni con misure proprie e calcola le dosi massime d'irradiazione della popolazione circostante. Nel 1994, gli impianti nucleari hanno osservato i valori limite. Gli abitanti delle immediate vicinanze erano esposti a un'irradiazione massima inferiore a 0,012 mSv per la centrale nucleare di Mühleberg e a 0,007 mSv per quelle di Beznau, Gösgen-Däniken e Leibstadt. Per queste ultime, il contributo principale era quello delle emanazioni di carbonio-14.

Presso l'Istituto Paul Scherrer a Villigen/AG i limiti d'evacuazione sono stati superati in un solo caso. La dose massima d'irradiazione della popolazione circostante l'istituto, calcolata in base alle emanazioni di sostanze radioattive, è stata di 0,01 mSv all'anno. Il 24 e 25 marzo 1994 sono fuoriusciti nell'atmosfera dall'impianto d'incenerimento pilota del PSI (durante la combustione di rifiuti contenenti tritio provenienti da campagne di raccolta delle scorie radioattive della medicina, dell'industria e della ricerca) 4,35 TBq di tritio a causa di una dichiarazione insufficiente dei contenitori. Questa emissione supera del 10 per cento il limite annuale posto alle evacuazioni di tritio dall'IPS. Poiché l'IPS comprende diverse fonti d'emissione distribuite sull'intera area dell'Istituto, questo limite è stato fissato a un valore relativamente basso. Nel peggiore dei casi, si calcola che i singoli membri della popolazione abbiano assorbito per inalazione in seguito a questo avvenimento una dose di 0.005 mSv. Sono stati presi i provvedimenti necessari per evitare in futuro simili contrattempi.

Radionuclidi nell'organismo umano

L'irradiazione dell'organismo umano non avviene soltanto dall'esterno (aria, suolo e materiali di costruzione). Radionuclidi penetrati attraverso la respirazione, con l'acqua potabile e con l'alimentazione agiscono anche dall'interno. Attraverso la circolazione sanguigna, la radioattività delle derrate alimentari nel sistema digerente e quella dell'aria nei polmoni e nel sistema linfatico giunge nei diversi organi. Presentano particolare interesse i radionuclidi degli elementi chimici che svolgono una funzione importante per il metabolismo. Per quanto riguarda l'acqua si tratta del tritio (H_3), per il carbonio del carbonio-14 e per il potassio del potassio-40. Sono inoltre di rilievo i radionuclidi di elementi che presentano un comportamento chimico simile a quello di elementi coinvolti nel metabolismo: ad esempio lo stronzio, il radio e il plutonio, incorporati analogamente al calcio soprattutto nelle ossa e nei denti, il cesio, che si trova principalmente nel tessuto muscolare come il potassio, e lo iodio che si deposita di preferenza nella tiroide.

Attraverso il metabolismo, questi elementi radioattivi sono gradualmente evacuati, a dipendenza del loro tempo di dimezzamento biologico (τ_b). La costante temporale determinante è il tempo di dimezzamento effettivo (τ_e), che si compone di quello biologico e di quello fisico. Il tempo di dimezzamento effettivo del tritio, ad esempio, è di dieci giorni, quello del cesio di due a tre mesi, quello dello stronzio di alcuni anni. Se la radioattività penetra nell'organismo in una sola volta, una determinata parte ne raggiunge l'organo T. La radioattività di quest'organo si ridurrà quindi con velocità corrispondente al tempo di dimezzamento effettivo. Se la radioattività è invece introdotta nell'organismo in modo continuo e costante, si instaura con il tempo una situazione d'equilibrio: il numero dei nuclidi radioattivi che si aggiungono per assorbimento a quelli già presenti nell'organo considerato corrisponde a quello dei nuclidi che si perdono per decadimento radioattivo o escrezione. Osservando il numero di atomi radioattivi decaduti presenti nell'organo in questione e considerando la loro energia e il tipo di radiazioni emesse, si può calcolare l'energia radioattiva assorbita dall'organo T e quindi anche l'equivalente di dose e la dose

all'organo H, in Sievert (Sv). La somma delle dosi di tutti gli organi irradiati, ponderate a seconda della sensibilità di ognuno, dà la dose efficace E in Sv. Questa misura è considerata determinante per il rischio che l'intero organismo umano deriva da tutti i tipi d'irradiazione. Nell'appendice all'Ordinanza sulla radioprotezione (ORaP) si indicano, per tutti i radionuclidi comuni, i fattori di dose, ossia la dose efficace in Sv causata dall'assorbimento di un Bq attraverso l'aria respirata (e_{inh}) o l'alimentazione (e_{ing}). Questi fattori sono applicabili in primo luogo al caso in cui la radioattività è assorbita in una volta sola e indicano le dosi accumulate entro 50 anni (dose efficace impegnata).

In media, il contributo naturale alla dose d'irradiazione derivante dai radionuclidi nell'organismo è di 0,36 mSv/anno. I radionuclidi naturali che vi contribuiscono maggiormente sono il potassio-40 con 0,18 mSv/anno e il polonio-210 con 0,12 mSv/anno. Dai radionuclidi cosmogeni, ossia dal carbonio-14, dal berillio-7, dal sodio-22 e dal tritio ($H-3$) continuamente prodotti dalla radiazione cosmica, derivano contributi di dose di 0,012, 0,003, 0,0002 e 0,00001 mSv/anno. I radionuclidi delle catene naturali di decadimento dell'uranio e del torio nella crosta terrestre causano dosi di circa 0,035 a 0,040 mSv/anno, il rubidio-87, di lunga durata, 0,006 mSv/anno.

Il contributo dei radionuclidi artificiali presenti nell'organismo – provenienti principalmente dagli esperimenti con armi nucleari e dall'incidente nel reattore di Cernobil - ammonta attualmente a circa 0,006 mSv/anno, di cui 0,002 mSv/anno sono attribuibili al cesio-137 e 0,003 mSv/anno allo stronzio-90. Per quanto riguarda il carbonio-14 e il tritio, i contributi antropogeni derivanti dagli esperimenti con armi nucleari svolti in passato causano attualmente ancora dosi di 0,0016 e 0,00005 mSv/anno. Il gas nobile di lunga durata cripto-85, sprigionato soprattutto durante la rigenerazione di combustibile nucleare e diffuso su tutto il mondo provoca all'incirca 0,00001 mSv/anno, mentre il plutonio-239 e il plutonio-240 causano insieme approssimativamente 0,000025 mSv/anno.

b) Aziende industriali e ospedali

Le aziende che lavorano con sostanze radioattive devono essere in possesso di una licenza della Confederazione. L'Ufficio federale della sanità pubblica sorveglia gli istituti che si occupano di medicina, ricerca o insegnamento, l'Istituto nazionale svizzero d'assicurazione contro gli infortuni (INSAI) controlla le aziende industriali, commerciali e artigianali, i laboratori d'analisi e aziende o uffici corrispondenti dell'amministrazione pubblica. L'autorità di sorveglianza può esigere dalle aziende che manipolano grandi quantità di sostanze radioattive un bilancio delle loro emanazioni di sostanze radioattive e la sorveglianza dell'ambiente circostante. Misure di questo tipo sono svolte 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 1994, le aziende industriali tenute a presentare all'INSAI un bilancio delle loro emanazioni hanno osservato i limiti posti dalle loro licenze all'evacuazione di sostanze radioattive nell'ambiente. Come in passato, dalle misure di sorveglianza dell'ambiente circostante sono risultate concentrazioni di tritio fino ad alcune migliaia di Bq/l, che non superavano tuttavia i valori limiti d'emissione dell'ORaP e non hanno causato dosi inammissibili d'irradiazione della popolazione. Il bilancio del deflusso di tritio nella regione di La Chaux-de-Fonds per il 1994, fondato sulle misure operate presso l'impianto di depurazione, era di circa 25 TBq. Poiché anche le emissioni attraverso l'aria di scarico giungono nelle acque con le precipitazioni, il bilancio del deflusso attraverso il Doubs è superiore e stimabile a circa 50 TBq. Nei campioni di verdure e di latte della regione di Niederwangen si sono misurate nel 1994 concentrazioni di tritio fino a 220 Bq/kg, rispettivamente 184 Bq/l. Come confermano analisi dell'urina svolti in passato, le emissioni di tritio di queste aziende provocano dosi addizionali d'irradiazione della popolazione circostante non superiori a 0,03 mSv all'anno.

Le emanazioni degli impianti di depurazione delle grandi città Zurigo, Basilea, Berna e Losanna – dal 1995 anche Ginevra – sono sottoposte 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 1994 i valori dello iodio-131 misurati presso gli impianti di depurazione di Zurigo erano inferiori a 0,2 Bq/l, a Losanna a 0,6 Bq/l, a Basilea a 2,1 Bq/l e a Berna a 4 Bq/l. Il deflusso annuale di iodio-131 dell'impianto di depurazione delle acque di Berna è stato di circa 20-30 GBq. Poiché, in tutti i casi menzionati, le acque non sono immediatamente destinate al consumo umano, ma vengono fortemente diluite con l'immissione nei fiumi, si può escludere che la popolazione ne abbia tratto dosi d'irradiazione ragguardevoli. Nelle vicinanze delle aziende sorvegliate non si sono constatate concentrazioni illecite e le dosi d'irradiazione della popolazione dovute alle loro emanazioni radioattive sono nettamente inferiori ai valori operativi dell'ORaP.

Anche negli impianti di incenerimento dei rifiuti si bruciano in parte scorie contenenti carbonio-14 (cfr. ORaP Art. 83). Per questo motivo si sono analizzate per la prima volta nel 1994 anche le foglie di alberi in prossimità del vecchio forno d'incenerimento della CIBA a Basilea per determinarne il contenuto di carbonio-14. La concentrazione del carbonio-14 riscontrata era fino al 40 per cento superiore al valore normale sul piano mondiale. Le dosi d'irradiazione che ne derivano sono tuttavia negligenze: al massimo 0.001 mSv per anno.

V Dosi d'irradiazione della popolazione

(cfr. tabella)

In media, la popolazione svizzera è esposta ad una dose totale d'irradiazione di circa 4 mSv/anno. Il 40 per cento ne deriva dal radon e dai prodotti del suo decadimento all'interno delle case; questo contributo presenta anche il più alto margine di variazione, con valori estremi fino a 100 mSv/anno. Il 30 per cento della dose è attribuibile alle radiazioni naturali, un quarto alle applicazioni mediche e meno del 5 per cento a tutte le rimanenti fonti artificiali di radioattività.

Cause del contributo naturale alla dose d'irradiazione sono i radionuclidi contenuti nel suolo e nei materiali di costruzione, la radiazione cosmica e la

radioattività naturale contenuta nell'organismo umano. La parte principale di quest'ultima componente da 0.18 mSv per anno è dovuta al potassio-40. La dose riconducibile alla radioattività artificiale ingerita con il cibo è invece inferiore a 0,01 mSv/anno.

Per quanto riguarda le dosi d'irradiazione provenienti da fonti artificiali, predomina il contributo della medicina. La tabella indica l'esposizione media della popolazione in seguito questi esami e trattamenti (ad esempio la radiodiagnosi o la medicina nucleare). Nel caso individuale, la dose dipende tuttavia in larga misura dal tipo e dalla frequenza dell'applicazione.

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.

Un contributo 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 tritio, dei radionuclidi naturali in piastrelle, reticelle, ceramica dentaria e di avvisatori di fumo a ionizzazione, come anche del polonio-210 aspirato con il fumo. La radiazione cosmica addizionale a cui si espone che viaggia in aeroplano causa, a 10 km di altitudine, una dose di 5 μ Sv/ora, a 12 km una dose di 8 μ Sv /ora. Il personale di volo subisce perciò una dose addizionale d'irradiazione annua di circa 5 mSv al massimo.

Le emissioni radioattive degli impianti nucleari, dell'industria e degli ospedali causano 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.



Fig. 10: Contributi all'esposizione a radiazioni

Le 58'362 persone professionalmente esposte a radiazioni occupate nelle centrali nucleari, nell'industria, nel commercio, nei servizi pubblici, nella ricerca e nella medicina hanno accumulato nel 1994 dosi di 45 mSv/anno al massimo; la dose collettiva è stata di 10,2 Sievert-uomo per anno. Soltanto nel 4 per cento dei casi la dose è stata superiore a 1 mSv/anno, in 6 casi ha superato il limite annuale applicabile dal 1° gennaio 1995 per questa categoria di persone, pari a 20 mSv/anno.

Ringraziamenti

L'autore ringrazia Serge Prêtre (DSN), Jean-François Valley (IRA) e Bernard Michaud (UFSP) dei loro preziosi suggerimenti e della revisione critica del testo. Traduzione italiana: Claudia Forni Degkwitz, Bülach

Tabella 1: DOSI D'IRRADIAZIONE DELLA POPOLAZIONE SVIZZERA NEL 1994

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(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 fonti radioattive artificiali	radon e prodotti del suo decadimento	media svizzera in casa: 60 Bq radon-222/m ³	0,3 - 100	1,6
	incidente di Cernobil	dose nel 1993: bilancio globale (1986-2000):	0,01 - 0,1 (0,2 - 5)	0,01 (0,5)
	ricadute delle armi nucleari	dose nel 1993: bilancio globale (1946-2000):	0,01 - 0,02 (0,5 - 5)	0,01 (1,2)
	evacuazioni degli impianti nucleari	dose massima calcolate 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) medicina nucleare (1989/90)	0 - 30 0 - 80	1 0,04

legata all' attività professionale	esposizione professionale	in totale, 58'362 persone hanno subito nel 1994 10,2 Sievert-uomo media = 0,17 mSv/anno	0 - 45; nel 95% dei casi < 1 mSv	
personale di volo	aumento della radiazione cosmica	a 10-12 km di altitudine: 5-8 micro-Sv/ora	2-5	

A

ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY AND RADIATION DOSES IN 1994 : OVERVIEW

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

Abstract

Systematic monitoring of radioactivity in the environment and food has been going on in Switzerland since the mid 1950s. This report contains a summary of the values measured in 1994, along with the interpretation of the data and the resultant radiation doses for the population. The monitoring programme deals with radioactivity in the atmosphere, precipitation, aquatic systems, grass, foodstuffs and the human body, but also includes natural radiation, doses due to radon inside dwellings, emissions from nuclear power stations and other installations using radionuclides and also miscellaneous radiation sources. With only one exception, the nuclear power plants and other facilities licensed to handle radioactive substances remained within their annual emission limits in 1994, and measurements carried out in the environment revealed no inadmissible immission or dose values. The population's mean annual radiation dose totals 4 mSv. Some 40% of this is due to radon in the home, with extreme values as high as 100 mSv; 30% may be ascribed to natural radiation, roughly 25% to medical applications of ionising radiation, leaving less than 5% ascribable to man-made sources.

I. Introduction

There always has been radioactivity and ionising radiation in our environment. The natural causes are cosmic radiation and the natural radiation of the Earth's crust. The atmosphere, soil, water, plants and the human body also contain natural radionuclides. Furthermore, the use of nuclear fission in atomic bombs and nuclear reactors gives rise to artificial radionuclides, which might make their way into the environment. In addition, radioisotopes are used in research, industry and medicine. It was the potential threat to the population resulting from radioactivity caused by the testing of atomic weapons in the '50s and '60s that first led to the comprehensive environmental monitoring that has been practised in Switzerland since 1956. Today, however, the main focus is on measuring radon in the home and monitoring the vicinity of nuclear installations and facilities processing radioisotopes.

A new Radiation Protection Ordinance, that came into effect on 1 October 1994 (after being adopted on 22 June of the same year) establishes an annual dose maximum of 20 mSv for persons who are exposed to radiation on account of their jobs, along with a maximum of 1 mSv per year caused by radioactive sources in the environment for the rest

of the population (medical applications and natural sources being exempted from this). The ordinance also lays down immission limits for the atmosphere, water and ambient doses in places with public access as well as tolerance and limit values for radionuclides in foods, plus limits for radon in dwellings (see Box).

II. Environmental Radioactivity

This chapter sums up the results of environmental monitoring on a macro scale. The measured concentrations of radioactivity in environmental samples are expressed in Bq (becquerels, see Box).

a) Atmosphere and precipitation

The atmosphere and precipitation continue to contain man-made radionuclides (especially caesium-137 and strontium-90) that are still fairly generally spread and are the result of atomic-weapons tests and the reactor accident in Chernobyl. Over recent years, their concentration has declined steadily and today can only be detected with ultra-sensitive measuring techniques.

Units and Regulations

Radioactivity is a property of instable atomic nuclei to change without being subject to external influences (known as radioactive decay), thereby giving off a characteristic (ionising) radiation in the form of alpha or beta particles as well as gamma quanta. Natural radioactive substances have always been present in the environment. Artificial ones are released when nuclear bombs explode, but may also originate from nuclear power facilities, industrial operations and hospitals that process radionuclides.

The **radioactivity** of a substance is measured in becquerels (Bq). One becquerel corresponds to a single radioactive decay per second. A thousandth (10^{-3}), millionth (10^{-6}), thousand-millionth (10^{-9}) or million-millionth (10^{-12}) is written mBq, μ Bq, nBq or pBq, respectively (standing for: *milli-*, *micro-*, *nano-* and *pico-*). In a similar manner, thousands (10^3), millions (10^6), billions (10^9) and trillions (10^{12}) of becquerels are written: kBq, MBq, GBq and Tbq (*kilo-*, *Mega-*, *Giga-* and *Tera-*). In the past, the 'curie' (Ci) was a unit in frequent use (1 nCi = 37 Bq or 1 Bq = 27 pCi).

The population's **radiation doses** are expressed in a form known as the 'effective dose' (E) and the unit is the millisievert (mSv). This is the sum of the (equivalent) doses of all irradiated organs of the body, weighted as a function of their individual sensitivity. It is used as a parameter for assessing the biological effect of radiation on the whole human body and is independent of its type or origin.

The new **Radiological Protection Ordinance** (StSV), that came into force on 01.10.94, is based on the latest recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP)^{*)}. The annual doses of persons exposed to radiation at the workplace is limited to 20 mSv, whilst an annual maximum of 1 mSv has been set for exposure of the population at large to radioactivity resulting from civilisation and radiation in the environment (but excluding radon and medical applications). The ordinance also sets immission limits for the atmosphere and water in places accessible to the public, such that, if they were to be fully used up as a result of permanent exposure through drinking water and/or breathing air, the additional dose would be around 0.2 mSv in each case. For direct radiation, a

limit value of 5 mSv per year applies to ambient doses in places accessible to the public and one of 1 mSv per year for ambient doses in buildings used for residential, recreational and occupational purposes. For the first time, tolerance and limit values have been introduced for radionuclides in food, and these have been published in the Ordinance on Admixtures and Ingredients (FIV). It is the limit value that is relevant for radiological protection, whereas the tolerance value represents a purely qualitative criterion and does not go so far as to state a radiation risk. Radioactive substances may only be released to the environment under monitored conditions, and the permitted emission maxima are set by the licensing authority. In the case of nuclear power installations, for instance, these are set in such a way that it would not be possible for any person living in the neighbourhood to be subjected to an additional dose of more than 0.2 mSv per year. For radon gas, there is a limit of 1000 Bq/m³ for residential and recreational buildings. If this maximum value is exceeded, then remedial work must be carried out. For new and converted buildings, the guideline value of 400 Bq/m³ should not be exceeded.

*) 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publication No. 60, *Annals of the ICRP* Vol. 21/1-3 (1991); Pergamon Press Oxford, ISBN 0-08-041144-4 or ISSN 0146-6453

In addition to the man-made radionuclides already mentioned, the atmosphere also contains radionuclides from natural origins. These are isotopes belonging to the radon series, including lead-210 and polonium-210 as well as beryllium-7, tritium and carbon-14 produced by cosmic radiation (with an anthropogenic contribution to the last two as well). In the case of carbon-14, the concentration in the biosphere today is still around 12% above the natural level as the result of atomic-bomb tests. Since this is a nuclide that is also released by nuclear installations, its concentration is some 10% higher still in the near vicinity of such plant. Other man-made radionuclides that are present at trace levels in the atmosphere are plutonium-239 and the radioactive inert gases, krypton-85 and argon-37, which act as indicators of nuclear-fuel reprocessing and/or underground atomic-weapons tests.

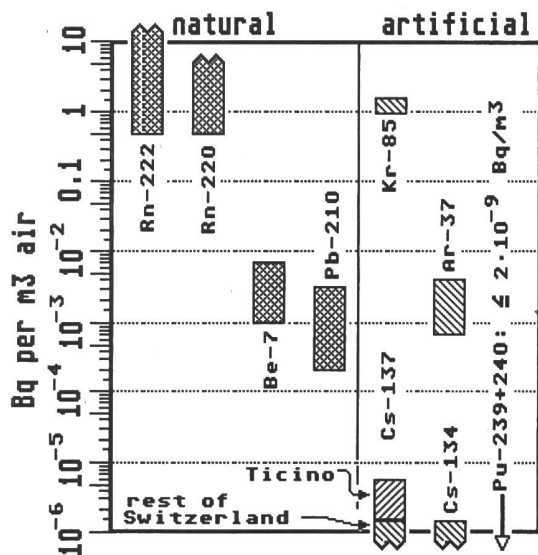


Fig. 1: Radionuclides in the outdoor atmosphere

It is no longer possible to detect man-made nuclides in precipitation – with the exception of the natural beryllium-7. The tritium content, that rose to several hundred becquerels per litre in the 1960s as a result of the atomic-weapons tests, has fallen continuously since then. In regions not affected by local emissions it is now down at only a few becquerels per litre, whereas several thousand becquerels per litre are recorded in the near vicinity of industrial operations processing tritium.

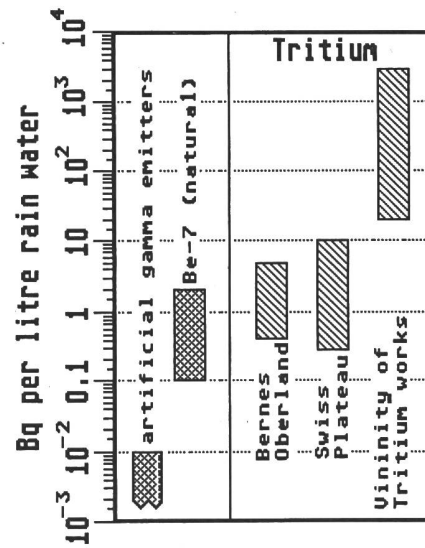


Fig. 2: Radionuclides in rain

b) Aquatic systems

The monitoring of aquatic systems encompasses surface and ground water, fish, aquatic plants, sediments, the effluent from sewage works and the runoff from landfills. Generally speaking, the standard measuring techniques are no longer able to detect man-made radionuclides (with the exception of tritium) in samples of river water collected continuously. The tritium content in the monthly samples of river water does sometimes show anthropogenic influences – coming, for instance, from the fluorescent-paint industry and nuclear power stations; this is particularly marked in smaller water courses in the near vicinity of fluorescent-paint factories. In some cases, the leachate from landfills where waste containing tritium had been dumped in the past also still has higher concentrations of tritium. In sediments, there are detectable caesium contributions, mainly from the Chernobyl reactor accident; downstream of nuclear facilities, there is also a component from their liquid discharge. Iodine-131 is present in sludges from hospitals. Aquatic plants are also good indicators of radioactive emissions from the nuclear power stations. Core borings of sediments taken from Lake Constance, Lake Geneva, Lake Biene and Lake Lugano also provide clear profiles of caesium-137 from the atomic-weapons tests and Chernobyl and

What Is Monitored and Who Does the Measuring?

a) Objectives of the measuring programme

- The objective of the monitoring programme is to record the distribution of **environmental radiation** in both space and time, in particular for purposes of establishing long-term trends and accumulations of radionuclides as well;
- There is also a requirement to monitor the **immissions** caused by man-made radionuclides, especially related to nuclear plant, industrial operations and hospitals in order to supervise compliance with immission limits;
- Finally, there is a requirement to establish the **population's radiation doses** from artificial and natural sources, in which context radon in the home is particularly important.

b) Automatic measuring and early-warning networks

- The **NADAM** network, which comprises 58 stations, carries out continuous recording of ambient doses throughout Switzerland.
- The **MADUK** system monitors doses in the near vicinity of nuclear power stations, with 12-18 measuring points for each of them.
- The **RADAIR** network monitors aerosol radioactivity at ten different points throughout Switzerland and one in the Principality of Liechtenstein. During 1994/95, construction work continued on this network, which is destined to replace existing measuring equipment (not equipped with data communication).

c) Measurements on environmental samples

At several points throughout the country, the following are continuously sampled and subjected to laboratory analyses: precipitation, atmospheric aerosols, rivers and the waste water from the sewage treatment plants serving the conurbations of Zurich, Basle, Berne and Lausanne. Random samples and analyses are made of the following: soil, grass, milk, cereals, ,

other foodstuffs, groundwater, fish, aquatic plants, sediments, plus a number of other substances. As a final check on the levels of radioactivity in the human body, whole-body measurements are made to determine caesium, whilst analyses are carried out on milk teeth and post-mortem on vertebrae to determine strontium-90. There are special programmes for the neighbourhoods of nuclear facilities and industries processing radioactive isotopes and also for radon inside dwellings and natural background radiation.

d) Bodies involved in measuring and sampling

- **The licensing and supervisory authorities:** Federal Office of Public Health, Berne, Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate Villigen, and the Swiss National Accident Insurance Organisation, Lucerne.
- **The cantonal laboratories** responsible for monitoring food.
- **Other institutions at a national level:** National Emergency Operations Centre (NAZ), Institute for Geophysics at the Federal Institute of Technology in Zurich; Paul Scherrer Institute (PSI), division for radiation hygiene, Villigen (Aargau); Federal Institute for Resources and Water Pollution Control (EAWAG), Dübendorf; the Military AC Laboratory; the national hydrology and geology unit at BUWAL, Ittigen (Berne); Federal Research Institute for Agricultural Chemistry and Environmental Hygiene (FAC), Liebefeld (Berne).
- **University Institutes:** Institute of Applied Radiophysics, Lausanne; Berne University; Geneva cantonal hospital; Berne Inselspital; Basle cantonal hospital.

make it possible to draw up a balance of the volumes of caesium deposited. from the atomic-weapons tests and Chernobyl and make it possible to draw up a balance of the volumes of caesium deposited.

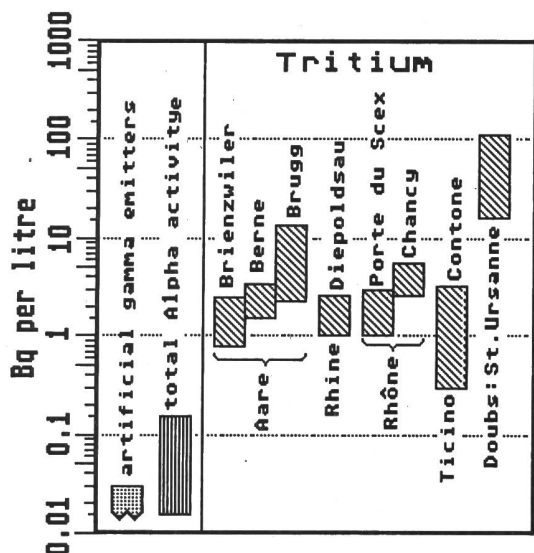


Fig. 3: Radionuclides in rivers

c) Soil and flora

Natural radionuclides, such as the long-lived potassium-40 and the isotopes belonging to the natural decay chains of uranium and thorium, have always been present in the soil. Plants also contain potassium-40 assimilated through their roots. The long-lived lead-210 (one of the final links in the uranium-radium-radon decay chain), on the other hand, is generally deposited on plants from the atmosphere.

Amongst the radionuclides in the soil and grass, it is strontium-90 and caesium-137 that dominate. The strontium contribution comes from atomic-weapons tests, whereas the caesium is from Chernobyl, and the typical pattern caused by that accident can still be discerned. Caesium deposited on the surface of the soil decays and gradually sinks to lower strata of natural soils. By 1994, the Chernobyl component had reached about 10 cm, whereas that from the atomic-weapons tests was down at around 30 cm. In land used for arable farming, the soil undergoes thorough mixing, especially as a result of ploughing.

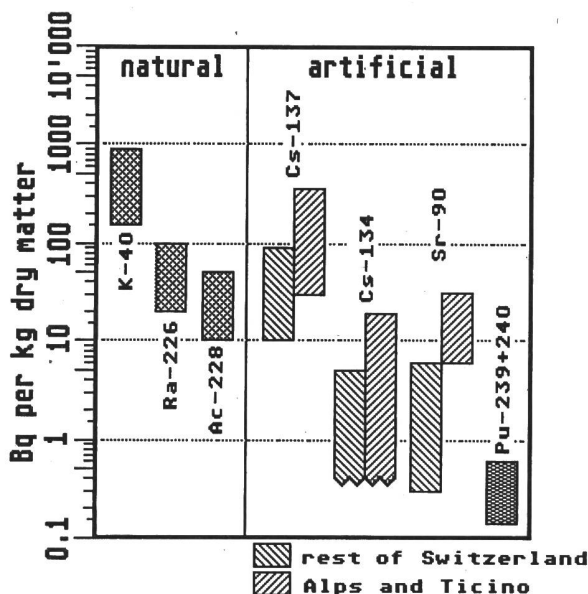


Fig. 4: Radionuclides in the soil

In forest soils, the caesium stays in the top – generally organic – layer for a longer period of time. That explains why ambient doses may still be higher in forests and why fungi growing in the wild may still have higher caesium values. For strontium-90, deriving almost exclusively from atomic-weapons tests, we find that there is generally a uniform distribution down to a depth of some 30 cm.

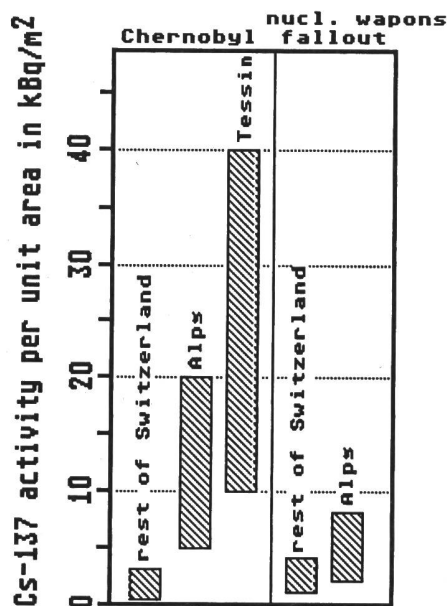


Fig. 5: Caesium-137 deposits

d) Food

The monitoring of radioactivity in food is carried out jointly with the cantonal laboratories. The new radiation protection ordinance makes the latter responsible for ensuring compliance with tolerance and limit values for radionuclides in food. In food of both plant and animal origin, it is again usually naturally occurring potassium-40 that dominates; it accounts for 0.12 parts per thousand of the potassium existing in nature. In staple foods – milk, cereals and meat – artificial radioactivity (i.e. caesium-134, caesium-137 and strontium-90) is low, and, to the north of the Alps, near the limit of detectability. In game and fungi grown in the wild, higher levels of caesium resulting from the Chernobyl accident are still found on occasions. In game, levels are gradually declining, which is not the case for certain domestic fungi growing in the wild, principally *boletus badius* and *rozites caperata*, in which individual caesium-137 values of 2700 Bq/kg are still being recorded. Given that people only consume small quantities of game and fungi, the resultant radiation doses are small, even though in certain cases the values exceed the new limits (limit for cesium: 1250 Bq/kg). This is also valid for a number of commercial mineral waters, containing natural radionuclides at around 1 Bq/l.

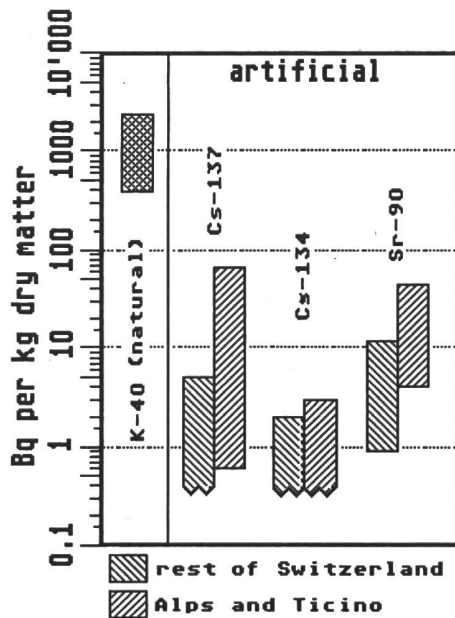


Fig. 6: Radionuclides in grass

e) Radon in dwellings

Radon is a decay product from the radium that occurs naturally in the soil. It is an inert gas and mainly makes its way into buildings through their substructures and, once inside, tends to accumulate.

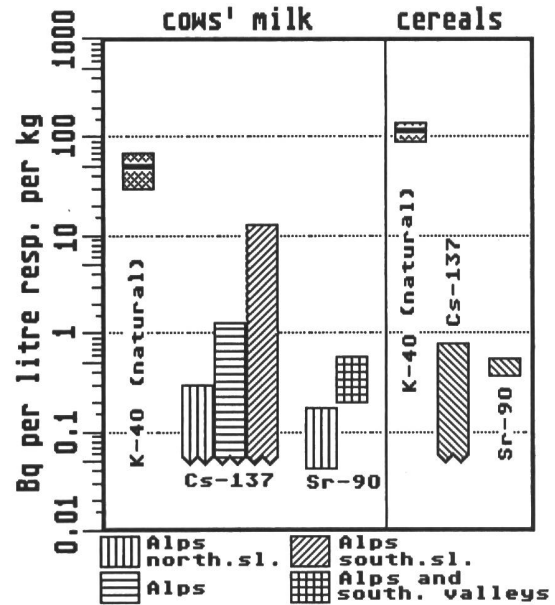


Fig. 7: Radionuclides in staple foods

As of 1 October 1994, the new radiological protection ordinance has brought in rules concerning radon inside dwellings. In residential and recreational parts of buildings, the radon level is not allowed to exceed 1000 Bq/m³, whereas the figure for working areas is 3000 Bq/m³. For new and reconstructed buildings, the applicable guideline value is 400 Bq/m³. It is the cantons that have been given powers to execute these new rules, in other words, to carry out radon surveys and produce radon maps, to order mitigation work and to enact the corresponding building regulations. The Swiss Federal Office of Public Health runs a Radon Technical and Information Centre, which provides support to the cantons in carrying out series of measurements and also provides information to the general public and specialists from the building trade.

To date, radon concentrations have been measured in approximately 6000 houses throughout Switzerland, and they show a mean of around 60 Bq/m³ for

residential accommodation if extrapolated for the whole national territory, which is the same as the median of the samples taken. Although only three houses in every thousand have been assessed to date, the mean value may be regarded as representative. One to two percent of homes have extreme values, as high as several thousand Bq/m³. The main source for radon is the soil, with building materials and drinking water making only a minor contribution. The principal factors are the radium content and, especially, the gas permeability of the soil beneath the building as well as inadequately sealed areas in the floors and walls of the lower parts buildings. Another important factor is the draught created as warm air rises inside buildings, sucking radon out from the underlying soil. As a general rule, concentrations are highest in cellars and decrease from floor to floor up through buildings. It is often the case that older buildings have higher values than newer ones and that detached houses and farm buildings have higher levels than blocks of flats. However, reliable values for radon inside dwellings can only be obtained by carrying out actual measurements; forecasts based on the geological parameters of the underlying soil are not sufficiently reliable.

Where radon values are too high, it might prove possible to prevent the gas from penetrating buildings by construction measures, such as sealing the floors and walls of cellars or forcefully extracting air from basements. When the shells of buildings are sealed with the intention of saving heating energy the result is not necessarily higher levels of radon inside them. Information regarding how to measure radon and how to carry out remedial work can be sought from the Radon Technical and Information Centre.

f) Human body

Radiation from the environment also makes its way into the human body through food. Once again, we find that the natural radionuclides dominate, and, in particular, potassium-40. The body of an adult contains around 100 grams (women) or 150 grams (men) of potassium; that corresponds to 3000 or 4500 becquerels of potassium-40 respectively. The fact that potassium tends to accumulate principally in muscle tissue explains why levels are higher in men than in women.

The final check carried out as part of the monitoring programme is the measurement of radionuclides in the human body, especially strontium-90 in milk teeth and vertebrae and caesium-137 in the bodies of people at work and school children. Physiologically, strontium acts similarly to calcium, and caesium to potassium. The first two thus tend to accumulate in bones and teeth and the latter two especially in muscle tissue. In milk teeth and vertebrae, the strontium-90 activity (which is measured against a calcium baseline) was found to be 0.049 or 0.026 Bq/g respectively. The caesium-137 values measured in 1994 in children attending secondary schools in Geneva were found to be below 10 Bq per kilogram of body weight.

III. Radiation doses

There are two ways in which radioactivity in the environment leads to radiation doses in humans. The first of these is irradiation of the body from the outside ('external dose') caused by radioactivity in the atmosphere, soil, building materials, etc. The second is irradiation from inside ('internal dose') caused by radionuclides that make their way into the human body either in the air breathed or the food consumed (see *Box*). This section summarises the population's radiation doses from both natural and anthropogenic sources.

a) External radiation – monitoring ambient doses

Around half the natural ambient dose in the open air (where the annual mean for Switzerland is 0.4 mSv) comes from terrestrial radioactivity. The rest originates from cosmic radiation, which becomes increasingly important at higher altitudes – for instance, 0.35 mSv per year are measured on Lake Lugano, but up in St. Moritz, the figure is already 0.65. Building materials also contain low levels of natural radionuclides. The extreme ambient outdoor doses are monitored by an automatic network known as NADAM, supplemented by a number of additional measurements. Over recent years, the contribution of Chernobyl caesium has declined by an annual average of 3% – as observed at selected NADAM sites.

Radionuclides in the Human Body

Human beings are not only subjected to radiation from the outside – i.e. coming from the atmosphere, soil and construction materials, but also through the intake of radionuclides into their bodies through the air they breathe and the water and food they consume. In the process, the radioactivity in the food makes its way into the various organs of the body via the circulatory system, whilst the radioactivity in the air passes through the lungs and the lymphatic system. Particular interest focuses on the radionuclides of those chemical elements that play an important part in metabolism. In the case of water, this is tritium (H-3), of carbon, carbon-14 and of potassium, potassium-40. Another important group of radionuclides are those of elements that behave in a similar manner to certain metabolic elements. These include, for instance, strontium, radium and plutonium, which become lodged especially in bones and teeth in a similar fashion to calcium, or caesium, which makes its way into muscular tissue just as potassium does, whilst iodine is deposited preferentially in the thyroid.

Metabolism will gradually lead to these radioelements being eliminated again – as a function of their biological half-lives (τ_b). The decisive time constant in this process is the effective half-life τ_e , which is calculated from the biological and physical half-life. In the case of tritium for instance, it can be reckoned that the effective half-life would be ten days, for caesium, 2-3 months and for strontium, several years. If radioactivity is assimilated in a single dose, then a certain fraction of its activity will make its way into a given organ, T, and the activity of the latter will, in turn, decline in accordance with the effective half-life. If activity is added uniformly and constantly over time, then eventually a state of equilibrium will set in in the organ – to be precise, when the same number of nuclei of the nuclide concerned are added per unit of time as those lost through decay and elimination. Taking the number of radioactive atoms that have decayed in the organ of interest as well as the energy and type of radiation involved, it is possible to compute the radiation-energy dose absorbed in organ T and, hence, the equivalent dose or organ dose H_T (the unit used being the sievert, Sv). It is then possible to take the sums of the radiation doses of all irradiated organs

and to weight them as a function of their radiation sensitivity in order to arrive at the so-called effective dose, E (also measured in sieverts). This parameter is considered to be a yardstick for the radiation risk to the whole body taking all forms of radiation together. The radiological protection ordinance contains a number of annexes which stipulate the dose factors for the more common radionuclides, i.e. the effective doses in sieverts for the uptake of one becquerel in the air inhaled (e_{in}) or in ingested food (e_{ing}). They apply primarily to radiation assimilated in a single dose and, for such cases, indicate the dose accumulated over a fifty-year period (the so-called committed effective dose).

The average annual natural dose contribution of radionuclides in the body is 0.36 mSv. The biggest natural shares here are potassium-40 and polonium-210, with 0.18 and 0.12 mSv per year respectively. A mature adult has roughly 60 Bq of potassium-40 or 0.2 Bq of polonium-210 per kilogram of body weight and assimilates 100 Bq potassium-40 plus 0.1 Bq polonium-210 each day in food. Those radionuclides that are continuously being produced by cosmic rays ('cosmogenic') – to wit: carbon-14, beryllium-7, sodium-22 and tritium H-3 – make respective dose contributions of 0.012, 0.003, 0.0002 and 0.000001 mSv per year. Nuclides from the uranium and thorium decay series in the Earth's crust contribute 0.035-0.040 mSv per year and the long-lived rubidium-87 adds a further 0.006 mSv per year.

The annual contribution from man-made radionuclides in the body (resulting primarily from the atomic-weapons tests and the Chernobyl reactor accident) is currently at around 0.006 mSv. Of this, some 0.002-0.003 mSv per year may be ascribed to each of caesium-137 and strontium-90. In the cases of carbon-14 and tritium, the anthropogenic contributions from earlier atomic-weapons tests still account for 0.0016 and 0.00005 mSv per year respectively. The long-lived inert gas krypton-85, which is mainly released during the reprocessing of nuclear fuels, subsequently spreading throughout the world, contributes roughly 0.00001 mSv per year, whilst some 0.000025 mSv per year come from plutonium-239 and 240 taken together.

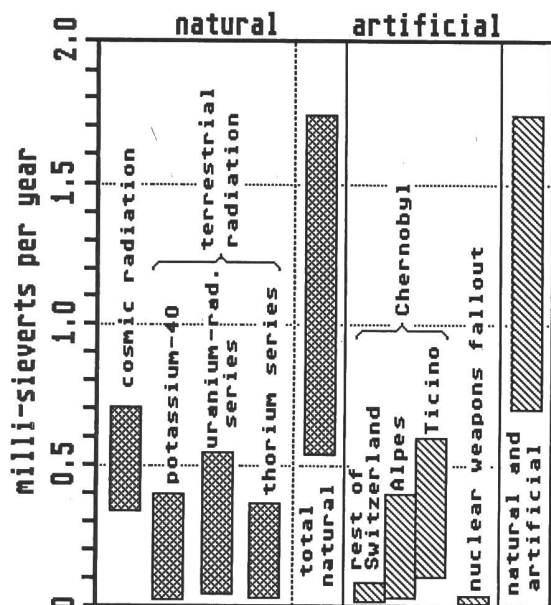


Fig. 8: Contributions to the outdoor ambient dose

The walls of houses attenuate the external radiation dose that is able to make its way into buildings. On the other hand, however, there is an additional contribution from radionuclides in construction materials. Generally speaking, the second of these factors predominates, so that it is reckoned that, on average, dose levels inside dwellings are roughly 20% higher than outdoors. Assuming that 80% of time is spent indoors, the resultant mean external radiation exposure for people living in Switzerland is 0.8 mSv per year. This figure has been confirmed by actual doses measurements performed in houses in Canton Fribourg and also by research work into radionuclides in construction materials.

b) Internal radiation through radionuclides inside the human body

The principal factors making up the natural internal dose of 0.36 mSv per year are potassium-40 (0.18 mSv p.a.) and polonium-210 (0.12 mSv p.a.). Radionuclides caused by cosmic radiation, carbon-14, beryllium-7, sodium-22 and tritium (H-3) add up to an annual total of around 0.015 mSv. Nuclides belonging to the uranium and thorium decay chains contained in the Earth's crust supply a further 0.04, whereas the long-lived rubidium-87 adds another 0.006 mSv p.a. (see Box). Regular consumption of mineral waters with natural alpha emitters in the range of 1 Bq/l increases the dose by not more than a few hundredths of a mSv per annum. Radon and

its decay products cause, on average, 1.6 mSv per annum, in other words, just under half the population's mean radiation exposure. Extreme values as high as 100 mSv/year also occur. If inhaled, its radioactive daughter isotopes irradiate the lungs, thereby increasing the lung-cancer risk. Of all the cases of lung cancer that occur every year in Switzerland (i.e. roughly 120 per million women or 730 per million men), around 6% could be ascribed to radon (taking the results of a Swedish study and applying them to Switzerland). According to WHO recommendations, steps should be taken to avoid a lung-cancer risk in dwellings that is greater than one case per thousand inhabitants per year; this corresponds to a radon level of around 1000 Bq per cubic metre.

*) G. Pershagen et al. in *New England Journal of Medicine* 330/3 (1994), pp. 159-164

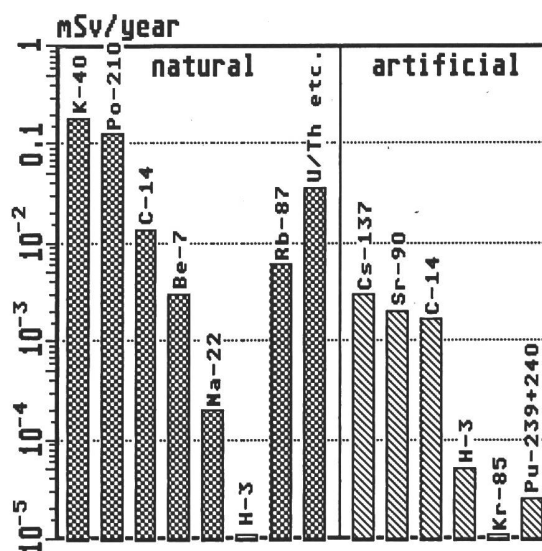


Fig. 9: Contributions to internal radiation dose

The contribution of man-made radionuclides in the body (originating mainly from the atomic-bomb tests and the Chernobyl reactor accident) currently amounts to around 0.006 mSv p.a. Most of this comes from caesium-137 and strontium-90, with 0.002-0.003 mSv p.a. each, whereas carbon-14 and tritium are now causing less than 0.002 mSv p.a. In 1994, the radiation exposure through man-made radionuclides in food for a person with average nutritional habits remained at a level of a few thousandths of a millisievert. None of the other anthropogenic radionuclides causes any significant internal radiation dose (see Box).

IV. Special monitoring programmes – nuclear plant, industries and hospitals

At nuclear power stations and industrial plant producing or processing radioactive materials, it is possible for radionuclides to make their way into the environment in waste air and water. This makes it necessary to draw up an emissions balance sheet and to monitor the neighbourhood. This section of the report summarises the results of environmental monitoring around such facilities and the resultant radiation doses for the population.

a) Nuclear power stations

The environmental monitoring of nuclear power stations involves the close cooperation of the Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate (HSK/DSN), the Federal Office for Public Health's Environmental Radioactivity Section (SUER) and other cantonal and federal bodies. The measuring programmes and methods include not just ambient doses but also radioactivity in the soil, grass, cereals, milk and other farm produce as well as river and ground water, fish, aquatic plants and sediments. These are complemented by in-situ measurements, aerial radiometric flights and carbon-14 assays on tree leaves. The automatic monitoring network for ambient dose levels in the neighbourhood of nuclear power stations (MADUK) comprises 12-18 measuring points per site and has been operational since early 1994. The monitoring operations performed during the year under review did not reveal any concentration or dose value higher than the guidelines. In examining direct radiation in the near vicinity of boilingwater reactors, certain effects from them were detectable (although generally only minor ones) in sediments and aquatic plants downstream. The same applies to the neighbourhood of the Paul Scherrer Institute (PSI) following the tritium release discussed below. Increased levels of carbon-14 have also been measured in the immediate neighbourhood of nuclear power stations. The values, compared with a baseline of naturally occurring radiation, are up to 10 % for the Leibstadt nuclear power plant, up to 8 % for the Mühleberg nuclear power plant, up to 4 % for the Beznau nuclear power plant and the PSI and up to 20 % in the vicinity of the PSI SAPHIR reactor. Under normal operating conditions, the effects of radioactive emissions from Swiss nuclear power stations on the

environment and in terms of population radiation doses are insignificant.

The emission limits set for the nuclear power plants in Beznau, Gösgen-Däniken, Leibstadt and Mühleberg and the PSI have been laid down in the operating licences in such a way as to ensure that the dose for the population living in the vicinity cannot exceed 0.2 mSv per year. All these installations have a duty to perform continuous monitoring of any radioactive emission to the environment through waste air and water and also to draw up balances. Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate, in its inspectorate role, counterchecks these data by carrying out its own measurements and calculates the maximum resultant radiation doses for the population in the vicinity. In 1994, the nuclear power stations remained within their annual limits and the maximum radiation exposure for the population living nearby was below 0.012 mSv in Mühleberg and below 0.007 mSv in Beznau, Gösgen-Däniken and Leibstadt. In these last three cases, the biggest dose contribution comes from emissions of carbon-14.

In 1994, the PSI in Villigen (Canton Aargau) kept within its limits – with one single exception. The computed maximum annual dose for the local population near the PSI resulting from emissions was 0.01 mSv. On 24-25 March 1994, the PSI's pilot incineration facility released 4.35 TBq of tritium into the atmosphere, whilst it was incinerating radioactive wastes containing tritium that had been collected from medical, industrial and research applications – the reason being inadequate declarations accompanying the waste containers. This emission is 10% higher than the PSI's annual release limit for tritium, which has been set at a relatively low level, given that it has several emission sources spread over the whole of the site it occupies. For near by living persons a maximum radiation dose by inhalation, using the most conservative assumptions, of 0.005 mSv has been calculated for this tritium release. The departments concerned have taken the necessary steps to prevent a recurrence of such incidents in future.

b) Industrial operations and hospitals

Any industrial operation handling radioactive substances must obtain a licence from the federal authorities. For medical, research and educational applications, the Federal Office of Public Health is

responsible for inspection. In the case of industry, trade, commerce, analytical laboratories and the corresponding operations and departments falling within the public administration, it is the Swiss National Accident Insurance Organisation (SUVA) that acts as the inspectorate. The inspectorate has the right to order that balances be drawn up and the corresponding environmental monitoring carried out for any operation processing larger quantities. Such measurements are performed, for instance, by factories processing tritium in Teufen (Canton Aargau) and Niederwangen (Canton Berne) and also fluorescent-dye works in the La Chaux-de-Fonds region.

In 1994, all those industrial operations that are required to submit emission balances to SUVA, remained within the limits laid down in their licences for the release of radioactive substances into the environment. It is true that neighbourhood monitoring measurements detected tritium concentrations of up to a few thousand Bq/l in precipitation and surface water, as in earlier years. However, these did not exceed the corresponding immission limits laid down in the radiological protection ordinance and did not cause the population any inadmissible radiation dose. The tritium discharge balance for the La Chaux-de-Fonds region was around 25 TBq in 1994, on the basis of measurements made at the sewage works. Since emissions in waste air can also reach bodies of water through precipitation, the run-off balance for the river Doubs produces a higher figure of around 50 TBq. Vegetables and dairy produce from the Niederwangen region displayed tritium values of up to 220 and 184 Bq/l respectively in 1994. The tritium emissions of companies based here lead to an additional annual dose for the local population of not more than 0.03 mSv, as has been confirmed by earlier urine measurements.

Radioactivity released from the sewage works of the bigger cities – Zurich, Basle, Berne and Lausanne – is monitored through regular sampling (as of 1995, Geneva will also be included). As a general rule, the two isotopes detected in the waste water, and sometimes also in the sludge, are iodine-131, that is used for thyroid treatments in hospitals, and tritium resulting from refuse incineration and industrial applications. In 1994, the individual sewage works recorded the following iodine-131 values: Zurich < 0.2, Lausanne < 0.6, Basle < 2.1 and Berne < 4.0 Bq/l. The annual discharge of iodine-131 from the Berne waste-water

treatment incineration and industrial applications. In 1994, the individual sewage works recorded the following iodine-131 values: Zurich < 0.2, Lausanne < 0.6, Basle < 2.1 and Berne < 4.0 Bq/l. The annual discharge of iodine-131 from the Berne waste-water treatment and industrial applications. In 1994, the individual sewage works recorded the following iodine-131 values: Zurich < 0.2, Lausanne < 0.6, Basle < 2.1 and Berne < 4.0 Bq/l. The annual discharge of iodine-131 from the Berne waste-water treatment plant produced something in the range of 20-30 GBq. Given that, in all the cases mentioned, the effluent from industries or sewage works is not drunk without processing and that it is also strongly diluted as a result of being discharged into rivers, it is possible to exclude any risk of the population suffering undue radiation doses. No inadmissible immission was detected in the vicinity of the monitored industries, and the radiation doses resulting for the population from the radioactive emissions are well below the corresponding guideline values in the radiological protection ordinance.

Since carbon-14 containing waste is also treated in waste incinerating plant in 1994 for the first time beach tree leaves from the vicinity of the CIBA plant in Basle have been analysed for carbon-14. The resulting carbon-14 values are 40 percent above the world wide carbon level. They lead to radiation doses of at least 0.001 mSv per year.

V. Population radiation doses (see Table)

The overall mean annual radiation exposure of people living in Switzerland is around 4 mSv. Around 40% of this is due to radon and its radioactive daughters in the home, but this is also the component subject to the greatest variation, with extreme values of up to 100 mSv/year. Some 30% of the exposure comes from natural sources, a further quarter from medical applications and less than 5% from other anthropogenic sources of radiation.

The causes of natural radiation are the radionuclides in the soil and in construction materials, cosmic radiation and radioactivity inside the human body. In the latter case, the main contribution of 0.18 mSv par annum comes from potassium-40. Compared with that, the dose caused by artificial

radiation ingested with food is less than one hundredth of a mSv per year.

Turning to radiation doses from artificial sources, it is the medical contribution that predominates. The nature and frequency of such treatments.

The effects of the Chernobyl reactor accident in April 1986 and earlier atomic-weapons tests are now only causing minor radiation doses, mainly through caesium-137 deposited on the Earth's surface or ingested with food.

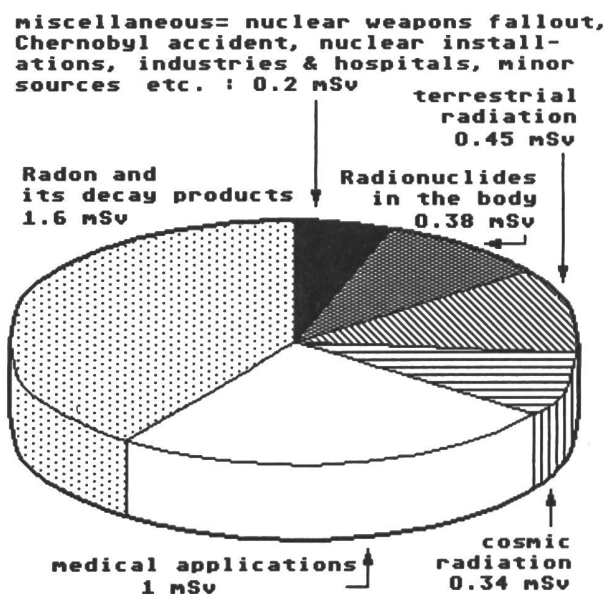


Fig. 10: Contributions to radiological exposure

A further contribution that is difficult to assess comes from radiation sources that are caused by civilisation and from several 'minor sources'. This latter category is made up of consumer goods and articles of everyday life containing minute quantities of radionuclides. Examples are clocks with tritium-based fluorescent numbers, natural radionuclides in tiles, fluorescent stockings, dental ceramics, ionising fire detectors and the polonium-210 inhaled

Table indicates the mean doses assimilated by the population through interventions such as X-ray diagnosis and nuclear medicine. In individual cases, the radiation doses are strongly dependent on the

when smoking. The greater exposure to cosmic radiation when flying in aircraft causes an additional 5 to 8 microSv/hour for airline crews at altitudes of 10 and 12 kilometres respectively. The corresponding additional annual dose for crew members amounts to about 5 mSv.

Emissions of radioactivity from nuclear power stations, industrial operations and hospitals only cause very low radiation doses, even for people living in the vicinity. This remains the case even if the calculation is based on unfavourable assumptions regarding where exactly people spend their time and what their daily and nutritional habits are.

The 58 362 people who are subject to radiation at their place of work in nuclear power stations, industrial operations, commerce, public services, research and medicine, accumulated doses up to a maximum of 45 mSv in 1994, with a collective dose of 10.2 man-sieverts per year. In only 4% of these cases was the dose greater than 1 mSv/year, and in six cases greater than 20 mSv – the annual limit applicable to this category since 01.01.95, as laid down in the new radiological protection ordinance.

Acknowledgements

The author would like to express his thanks to Serge Prêtre (Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate), Jean-François Valley (Institute of Applied Radiophysics, Lausanne) and Bernard Michaud (Federal Office of Public Health) for their valuable suggestions and their critical review of the report. English translation by: Mike Evans, Freiburg/Brsg.

Table 1: Radiation doses affecting the Swiss population in 1994

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

Radiation	Source	Description	Value range mSv p.a.	Mean mSv p.a.
Natural radiation	Terrestrial radiation	The decay products of uranium and thorium as well as potassium-40 in the soil (including construction materials)	0.2-1.5	0.45
	Cosmic radiation	Altitude-dependent: $D(\text{mSv/year}) = 0.324 \cdot e^{(0.38 \cdot z)}$ (where z = altitude in km)	0.3-0.6	0.34
	Natural radionuclides in the body	Potassium-40, uranium, thorium and their resultant products, tritium, carbon-14, etc.	0.2-0.5	0.38
Radiation caused by civilisation and man-made radiation sources	Radon and its resultant products	Mean value for the whole country inside homes: 60 Bq Radon-222/cubic metre	0.3-100	1.6
	Chernobyl reactor accident	Dose for 1994: Aggregate balance (1986-2000):	0.01-0.1 (0.2-5)	0.01 (0.5)
	Fallout from atomic weapons	Dose for 1993: Aggregate balance (1946-2000):	0.01-0.02 (0.5-5)	0.01 1.2
	Releases from nuclear facilities	Maximum values for the neighbouring population for conservative assumptions	0.015	
	Releases from other operations	Maximum values for the neighbouring population	0.03	
	Minor sources and other radiation doses ascribable to civilisation	Examples: clocks/watches with fluorescent dials, polonium-210 in tobacco smoke, aircraft flights and miscellaneous minor sources	0-5	0.1
	Medical applications	X-ray diagnosis (1987) Nuclear medicine (1989/90)	0-30 0-80	1 0.04
People at work	Radiation exposure at the workplace	In 1994, 58 362 individuals received a total of 10.2 man-sieverts Mean = 0.17 mSv/year	0 - 45 less than 1 mSv in 95% of cases	
Airline crews	Higher levels of cosmic radiation	At an altitude of 10-12 km 5-8 μSv per hour	2-5	