

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: - (1993)

Rubrik: Überblick : Umweltradioaktivität und Strahlendosen im Überblick = Aperçu : aperçu de la radioactivité de l'environnement et des doses de rayonnement = Ricapitolazione : radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiation [i.e. irradiazione] in Svizzera = Synopsis : environmental radioactivity and radiation exposure in Switzerland

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

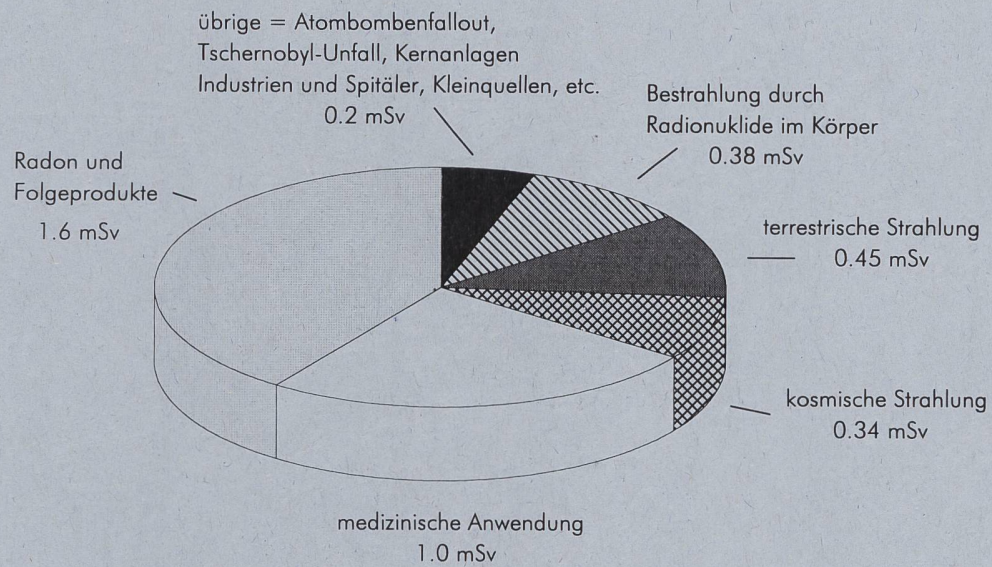
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.02.2026

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

A

ÜBERBLICK - APERÇU - RICAPITOLAZIONE - SYNOPSIS



A

ÜBERBLICK - APERÇU - RICAPITOLAZIONE - SYNOPSIS

UMWELTRADIOAKTIVITÄT UND STRAHLENDOSSEN IM ÜBERBLICK	A. 1
APERÇU DE LA RADIOACTIVITÉ DE L'ENVIRONNEMENT ET DES DOSES DE RAYONNEMENT	A.20
RADIOATTIVITÀ DELL'AMBIENTE E DOSI D'IRRADIATION IN SVIZZERA	A.39
ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY AND RADIATION EXPOSURE IN SWITZERLAND	A.58

A

UMWELTRADIOAKTIVITÄT UND STRAHLENDOSEN IM ÜBERBLICK

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

Die Radioaktivität von Umwelt und Lebensmitteln wird in der Schweiz seit Mitte der 50er-Jahre systematisch überwacht. In diesem Bericht sind die Ergebnisse der Messungen von 1993 zusammengefasst, ergänzt durch die Interpretation der Daten und die sich daraus ergebenden Strahlendosen der Bevölkerung. Überwacht wird die Radioaktivität in Luft, Niederschlägen, Gewässern, Boden, Gras, Lebensmitteln und im menschlichen Körper, aber auch die natürliche Strahlung, die Konzentrationen des Radon im Hausinnern, die Emissionen aus Kernanlagen und andern Betrieben sowie weitere Strahlenquellen. Kernkraftwerke und Betriebe, die über eine Bewilligung für den Umgang mit radioaktiven Stoffen verfügen, haben 1993 (mit zwei Ausnahmen) ihre Jahresabgabegrenzen eingehalten und die Messungen in der Umwelt ergaben keine unzulässigen Immissions- bzw. Dosiswerte. Die durchschnittliche Strahlendosis der Bevölkerung beträgt insgesamt 4 mSv pro Jahr. Davon entfallen 40 Prozent auf Radon im Hausinnern mit 1.6 mSv und Extremwerten bis etwa 100 mSv, 30 Prozent d.h. 1.2 mSv auf die natürliche Strahlung und weniger als 0.2 mSv pro Jahr auf die künstliche Radioaktivität ohne die medizinischen Anwendungen.

1. Einleitung

Radioaktivität und ionisierende Strahlung sind ständige Begleiter des Menschen. Natürliche Quellen sind die kosmische Strahlung und die natürliche Radioaktivität in Luft, Boden, Gewässern, Pflanzen und im menschlichen Körper. Durch die Anwendung der Kernspaltung in den Atombomben und Kernreaktoren gelangen auch künstliche Radionuklide in die Umwelt. Zum Teil werden künstliche Radionuklide auch in Forschung, Industrie und Medizin angewendet. Die mögliche Gefährdung der Bevölkerung durch die bei den Kernwaffenversuchen der 50er- und 60er-Jahre freigesetzte Radioaktivität war der Auslöser für eine umfassende Überwachung der Umwelt in der Schweiz seit 1956. Heute stehen jedoch die Radonmessungen in Wohnhäusern sowie die Überwachung der Umgebung von Kernanlagen und von Radioisotope-verarbeitenden Betrieben und Spitälern im Vordergrund.

2. Natürliche Radioaktivität

Natürliche Radionuklide sind in der Erdkruste seit Entstehen der Welt vorhanden. Es sind dies das langlebige Kalium-40 sowie die Nuklide der natürlichen Zerfallsreihen von Uran und Thorium. Zur Uran-Reihe gehört auch Radon mit seinen radioaktiven Zerfallsprodukten, das sich im Hausinnern anreichern kann und wahrscheinlich unser Lungenkrebsrisiko erhöht.

I: Einheiten und Vorschriften

Radioaktivität ist eine Eigenschaft gewisser (instabiler) Atomkerne, sich ohne äussere Einwirkung umzuwandeln (radioaktiver Zerfall genannt) 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 Spitätern, die Radionuklide verarbeiten, stammen.

Die **Radioaktivität** einer Substanz wird in Becquerel (Bq) angegeben. 1 Bq entspricht einem radioaktiven Zerfall pro Sekunde. Ein Tausendstel, ein Millionstel, ein Milliardstel bzw. ein Billionstel Becquerel werden mBq, μ Bq, nBq bzw. pBq (milli-, micro-, nano- bzw. pico-) geschrieben. Entsprechend werden Tausend, eine Million, eine Milliarde bzw. eine Billion Becquerel als kBq, MBq, GBq bzw. TBq (kilo-, Mega-, Giga- bzw. Tera-) geschrieben. Früher wurde vor allem die Einheit Curie (Ci) verwendet (1 nCi = 37 Bq bzw. oder 1 Bq = 27 pCi).

Die **Strahlendosen** der Bevölkerung werden als sogenannte effektive Dosis (E) in milli-Sievert (mSv) angegeben. Diese, bezogen auf den ganzen Körper, 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 **Vorschriften** bezüglich Radioaktivität und Strahlung sind in der Strahlenschutzverordnung festgelegt. Es sind dies u.a. die maximal zulässigen Strahlendosen für die Bevölkerung und die beruflich strahlenexponierten Personen. Bei den letzteren handelt es sich z.B. um die Arbeiter in Kernkraftwerken, sowie Mitarbeiter von medizinischen Betrieben, Forschungsinstituten und Industrien, die mit radioaktiven Stoffen arbeiten. Im weiteren werden auch Grenzwerte für Radioaktivität in Atemluft und Trinkwasser für Bevölkerung und beruflich exponierte Personen festgelegt.

Die neue **Strahlenschutzverordnung**^{+) (StSV)}, die am 1.10.1994 in Kraft tritt und die Verordnung über den Strahlenschutz (SSVO) vom 30.6.1976 ersetzt, basiert auf dem neuen Strahlenschutzgesetz (StSG vom 22.3.1991) sowie den neuesten Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) von 1991^{*)}. Darin werden erstmals Toleranz- und Grenzwerte für Radionuklide in Lebensmitteln eingeführt und in der Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe (FIV) publiziert. Die Überschreitung eines Toleranzwertes bedeutet eine Qualitätsverminderung jedoch noch kein Risiko für den Konsum des betreffenden Lebensmittels; dieses wird jedoch von der zuständigen Behörde (z.B. vom Kantonschemiker) beanstandet. Gemäss der neuen Verordnung dürfen die Dosen bei beruflich strahlenexponierten Personen nicht mehr als 20 [50] mSv^{+) pro Jahr betragen, diejenigen der Bevölkerung durch radioaktive Immissionen in der Umwelt, jedoch ohne Radon und medizinische Anwendungen, nicht mehr als 1 [5] mSv pro Jahr. Radioaktive Stoffe dürfen aus Betrieben nur kontrolliert an die Umwelt abgegeben werden. Für Luft und Wasser im öffentlich zugänglichen Bereich sind in der Verordnung Immissionsgrenzwerte festgelegt. Diese würden bei Dauerbelastung über Trinkwasser und Atemluft bei der Bevölkerung in der Umgebung zu je rund 0.2 [0.5] mSv pro Jahr führen. Für die Direktstrahlung gilt ein Grenzwert von 5 [5] mSv pro Jahr für die Ortsdosen im öffentlich zugänglichen Bereich, bzw. 1 [5] mSv pro Jahr für jene in Wohn-, Aufenthalts- und Arbeitsräumen. Bei den Kernanlagen legt die Bewilligungsbehörde, die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) die Abgabelimite so fest, dass keine Person in der Nahumgebung eines Werkes eine zusätzliche Dosis von mehr als 0.2 mSv pro Jahr erhalten kann.}

Für **Radongas** legt die neue Strahlenschutzverordnung einen Grenzwert für Wohn- und Aufenthaltsräume von 1000 Bq/m³ (im Arbeitsbereich: 3000 Bq/m³) fest. Bei Überschreiten dieser Grenzwerte sind die Gebäude zu sanieren. Bei Neu- oder Umbauten soll ein Richtwert von 400 Bq/m³ nicht überschritten werden. Die Verordnung regelt auch, wer und wie Radonerhebungen durchzuführen sind.

^{+) Für das Berichtsjahr galt noch die **Verordnung über den Strahlenschutz** (SSVO) vom 30. Juni 1976; deren Limiten sind auf dieser Seite in Klammern [...] angegeben.}

^{*) 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.}

Die terrestrische Strahlung von im schweizerischen Durchschnitt 0.45 mSv pro Jahr stammt etwa zur Hälfte von den Radionukliden in der Erdkruste. Ein kg Erdboden enthält beispielsweise einige hundert Bq Kalium-40, etwa 20 bis 75 Bq Radium-226 (Uran-Reihe) mit Folgeprodukten und etwa 10 bis 40 Bq Actinium-228 (Thorium-Reihe) mit Folgeprodukten. Ein weiterer, mit der Höhe ü. Meer zunehmender Beitrag kommt von der kosmischen Strahlung. Liegt er beispielsweise am Luganersee bei 0.35 mSv pro Jahr, so beträgt er in St. Moritz bereits 0.65 mSv pro Jahr. Die kosmische Strahlung erzeugt zudem in der Atmosphäre noch weitere Radionuklide wie Tritium, Kohlenstoff-14 und Beryllium-7. Die natürliche Radioaktivität gelangt über die Nahrung auch in den menschlichen Körper. In einem Liter Milch sind beispielsweise etwa 50 Bq Kalium-40. Die rund 100 g bzw. 150 g Kalium im Körper einer erwachsenen Frau bzw. eines erwachsenen Mannes enthalten rund 3000 bzw. 4500 Bq des radioaktiven Kalium-40, das zu einer jährlichen internen Dosis von ca. 0.2 mSv führt. Zusammen mit den übrigen natürlichen Radionukliden im menschlichen Körper ergibt sich im Mittel eine jährliche interne Dosis von rund 0.4 mSv. Auch Baustoffe enthalten geringe Mengen natürlicher Radionuklide. Durch diesen Beitrag ist die externe Strahlendosis im Hausinnern im Durchschnitt etwa 20 Prozent höher als im Freien.

3. Radon im Wohnräumen (siehe Kap. B.2)

Radon und Folgeprodukte machen mit 1.6 mSv pro Jahr ¹⁾ fast die Hälfte der durchschnittlichen Strahlenexposition der Bevölkerung aus; Extremwerte bis 100 mSv/Jahr wurden ermittelt (vgl. Fig. 11). Es 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. Seine radioaktiven Folgeprodukte führen nach Einatmen zu einer Lungenbestrahlung und erhöhen damit das Lungenkrebsrisiko. Wendet man die Ergebnisse einer neuen schwedischen epidemiologischen Studie ²⁾ auf die Schweiz an, dann wären rund 6 Prozent der gesamthaft auftretenden Lungenkrebsfälle dem Radon zuzuordnen. Auch eine 1992 regionenweise für die Schweiz durchgeführte Regressionsrechnung ³⁾ ergab bei der jüngeren Bevölkerung eine schwache Korrelation zwischen dem Radonpegel und der Lungenkrebssterblichkeit, wobei ebenfalls einige Prozent der gesamthaft auftretenden Lungenkrebsfälle dem Radon zugeordnet werden. Pro Jahr und pro Million Einwohner sterben in der Schweiz rund 120 Frauen sowie 730 Männer an Lungenkrebs. Gemäss den WHO-Empfehlungen sollte ein Lungenkrebsrisiko durch Radon im Wohnbereich von mehr als 1 Fall pro Tausend Einwohner und Jahr vermieden werden; dies entspricht einem Radongehalt von rund 1000 Bq pro Kubikmeter.

Bisher wurden in der Schweiz im Rahmen des nationalen RADON-Programmes «RAPROS» unter Koordination durch das Bundesamt für Gesundheitswesen (BAG) rund 15'000 Messungen in Häusern durchgeführt ⁴⁾.

-
- 1) Dieser Wert ist tiefer als die in früheren Berichte genannte Zahl von 2.2 mSv/Jahr, was mit dem neuen Radon-Dosisfaktor der ICRP zusammenhängt; der durchschnittliche Radongehalt in den Schweizer Wohnhäuser liegt unverändert bei etwa 60 Bq/m³. Der neue Dosisfaktor basiert auf der ICRP-Publikation: *Protection against Radon-222 at home and at work*. Publikation Nr. 65; Annals of the ICRP Vol. 23/2 (1993); ISBN 0-08-042475-9.
 - 2) *Residential Radon Exposure and Lung Cancer in Sweden*, by G. Pershagen et al. in «The New England Journal of Medicine», Vol. 330/3 (1994) Seiten 159 - 164.
 - 3) H. Völkle und Ch. E. Minder: *Lungenkrebs und Radon in Wohnräumen* in «Umweltradioaktivität, Radioökologie, Strahlenwirkung» Jahrestagung des Fachverband für Strahlenschutz, Binz/Rügen/D, 28.-30.9.1993; Seiten 933 - 938. ISSN 1013-4506, Verlag TÜV-Rheinland, Köln.
 - 4) *Radon-Programm Schweiz "RAPROS": Bericht über die Ergebnisse der Jahre 1987-1991*; BAG Bern, März 1992; ISBN 3-905235-00-5.

II: Wie wirkt Strahlung auf den Menschen ?

Ionisierende Strahlung kann, je nach Art und Energie, Materie durchdringen und überträgt dabei einen Teil ihrer Energie an die Atome und Moleküle der bestrahlten Substanz. Dies führt zu einer Erwärmung des Materials, zur Ionisation der Atome und damit zur Auftrennung chemischer Bindungen. Bei biologischem Gewebe kommt es zur Störung der Zellfunktionen (z.B. eine Zelle wird zur Krebszelle), zur Veränderung der genetischen Information (z.B. Mutationen) oder zum Zelltod. Alpha-, Beta- oder Gamma-Strahlung erzeugt allerdings (im Gegensatz zu schweren geladenen Teilchen oder Neutronen) im bestrahlten Material keine Radioaktivität; gamma-bestrahlte Lebensmittel sind also nicht radioaktiv.

Befindet sich die Strahlenquelle ausserhalb des menschlichen Körpers, spricht man von **externer**, wenn die Radionuklide über Atemluft und Nahrung in den Körper gelangen und ihn von innen bestrahlen von **interner** Bestrahlung. Da für die Berechnung der Strahlendosen einer Person massgeblich ist, wieviel sie von den untersuchten Lebensmitteln konsumiert bzw. wie lange sie sich in einem bestimmten Strahlenfeld aufhält, muss demnach der Radionuklidgehalt von Luft, Wasser und Lebensmitteln untersucht werden, aber auch die Strahlung an den Orten wo sich Menschen aufhalten. Für die letztere, die sog. Orts- od. Umgebungsäquivalenzdosis, wird in diesem Bericht ein Umrechnungsfaktor von $1 \text{ Sv} \approx 100 \text{ R}$ bzw. $10 \text{ nSv/h} \approx 1 \mu\text{R/h}$ verwendet.

Bezüglich Herkunft der Strahlendosen unterscheiden wir zwischen der **natürlichen** und der **künstlichen** Strahlenexposition. Bei der ersteren handelt es um die natürliche Radioaktivität von Erdkruste und Baumaterialien, Radon, die kosmische Strahlung und die natürlichen Radionuklide im menschlichen Körper. Quellen der letzteren sind der radioaktive Ausfall der Kernwaffenversuche der 50er- und 60er-Jahre und des Reaktorunfalles in Tschernobyl, aber auch die Radioaktivitätsemissionen aus Kernanlagen, Industrien und Spitälern, sowie andere medizinische und technische Anwendungen von Strahlung und Radioaktivität.

Bei der Strahlenwirkung unterscheiden wir zwischen derjenigen am bestrahlten Individuum selbst, z.B. die Auslösung einer Krebserkrankung, die man **somatisch** nennt, und derjenigen, die sich erst bei den Nachkommen, z.B. als Missbildungen bei Neugeborenen, bemerkbar

macht in Form von **Erbschäden**. Die Wirkung hängt ferner auch von der Dosisleistung ab, d.h. der pro Zeiteinheit aufgenommenen Dosis. Sie ist bei einer Kurzzeitbestrahlung von Minuten oder Stunden grösser, als wenn dieselbe Dosis über Monate oder Jahre verteilt würde.

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) unterscheidet zwei Arten der Strahlenwirkung auf den Menschen. Bei den **stochastischen** nimmt die Eintretenswahrscheinlichkeit eines Schadens, z.B. einer Krebserkrankung, nicht aber dessen Ausmass, mit der Dosis zu und es gibt keinen unteren Schwellwert, unterhalb dem diese nicht auftreten können. Die ICRP hat 1991 für das Eintreten solcher Schäden bei niedrigen Dosen sogenannte Risikofaktoren publiziert. Demnach sterben pro Sv fünf von hundert bestrahlten Personen an einer strahlenbedingten Krebserkrankung bzw. treten pro Sv bei strahlenexponierten Eltern bei einer von hundert Geburten schwere Erbschäden auf. Bei der zweiten Art der Strahlenwirkung, den sogenannten **deterministischen** handelt es sich um akute Strahlenschäden bei hohen Dosen. Diese treten also erst überhalb einer gewissen Dosischwelle auf und die Schwere der Erkrankung steigt mit zunehmender Dosis an. Man rechnet beispielsweise bei einer Kurzzeitbestrahlung des ganzen Körpers mit 2 Sv bzw. 4 Sv, dass die Hälfte der bestrahlten Personen innerhalb weniger Wochen erkranken bzw. sterben.

Diese Risikofaktoren ergeben für das **somatische Strahlenrisiko der Bevölkerung** in der Schweiz folgende grobe Schätzwerte, relativ zur Zahl der spontan auftretenden Krebstodesfälle pro Jahr:

- Natürliche externe Strahlung (ohne Radon) etwa 2 Prozent;
- Radon im Wohnbereich etwa 5 Prozent der Lungenkrebsfälle;
- Strahlung aus künstlichen Quellen (ohne Medizin) weniger als 0.4 Prozent.

Genetische Auswirkungen pro Generation in Form von Erbschäden (dominante und X-chromosomale Mutationen) bei den Nachkommen, relativ zur Anzahl Lebendgeborenen:

- Natürliche, externe Bestrahlung (ohne Radon) etwa 1 - 6 Prozent;
- Strahlendosis aus künstlichen Quellen (ohne Medizin) etwa 0.2 - 1 Prozent.

Sie ergeben für die Wohnräume ein gewichtetes Mittel von rund 60 Bq pro Kubikmeter mit Extremwerten bis einige Tausend Bq pro Kubikmeter. Gemäss diesen Messungen kommt als Quelle in erster Linie der Bauuntergrund in Frage; Baustoffe und Trinkwasser spielen keine wichtige Rolle. Hauptparameter sind der Radiumgehalt des Bodens und vor allem die Gaspermeabilität desselben, sowie Undichtheiten von Böden und Wänden in den Untergeschossen. Wichtig ist der Kamineffekt durch die im Hausinnern aufsteigende warme Luft, die 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. Gebäude mit hohen Radonwerten lassen sich durch geeignete bauliche Massnahmen sanieren, beispielsweise durch aktive oder passive Entlüftung der Keller- und Unterbodenräume sowie durch Abdichtung der Gebäude gegenüber dem Bauuntergrund ⁵⁾.

Die im Rahmen des RAPROS-Programmes ⁴⁾ durchgeführten Erhebungen in Schweizer Wohnhäusern ermöglichen heute eine gesicherte Bestimmung der durchschnittlichen Radonkonzentrationen und der daraus für die Bevölkerung resultierenden Strahlendosen. Der bisherige Erfassungsgrad der Wohnhäuser liegt allerdings erst bei 3 Promille, anzustreben wäre aber ein Wert von etwa 1 Prozent. Die weiteren Untersuchungen haben mit erster Priorität das Auffinden hoher Radon-Konzentrationen zum Ziel. Entsprechende regionale Kampagnen in Gegenden, wo bisher erhöhte Werte auftraten oder aufgrund geologischer Kriterien zu erwarten sind, werden in Zusammenarbeit mit den Kantonsbehörden durchgeführt, wobei die geologischen Aspekte miteinbezogen werden.

4. Ergebnisse der Umweltüberwachung für 1993 (siehe Kap. B.3.2)

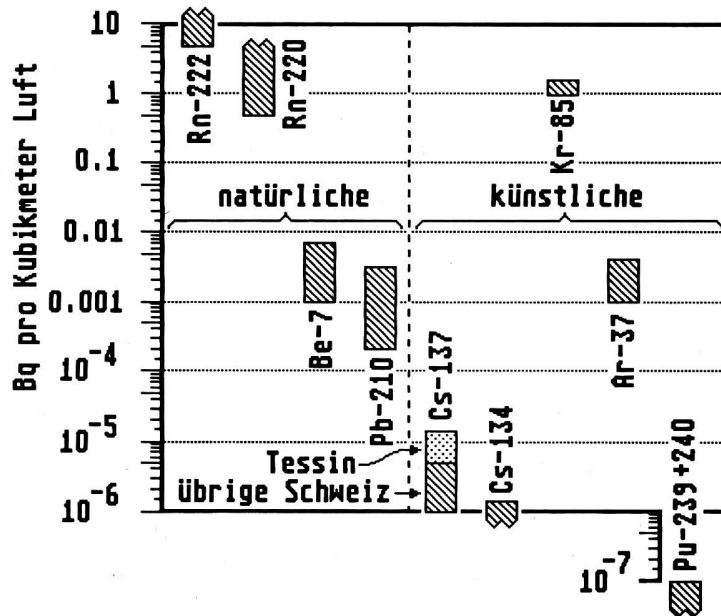
Die von den früheren Kernwaffenversuchen und vom Reaktorunfall in Tschernobyl stammende grossräumig verbreitete, künstliche **Umweltradioaktivität** in Luft, Niederschlägen, Gewässern, Erde und Gras hat in den letzten Jahre stetig abgenommen (siehe Kap. 3.1). Sie ist heute so tief, dass auch mit den empfindlichsten Messverfahren oft nichts mehr nachgewiesen werden kann und ihr Beitrag zur Strahlenexposition ist vernachlässigbar klein. In der **Luft** (siehe Fig. 1) sind nebst den natürlichen Radionukliden wie Beryllium-7, Blei-210 und den Radon-Folgeprodukten, nur noch geringe Spuren von Caesium-137 ⁶⁾ nachweisbar. Die radioaktiven Edelgase Krypton-85 und Argon-37 sind Indikatoren für die Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoff bzw. für unterirdische Kernwaffenversuche (siehe Kap. 3.2). Beim durch die kosmische Strahlung erzeugten Kohlenstoff-14 sind die Konzentrationen in der Biosphäre heute noch durch die früheren Kernwaffenversuche um etwa 13 Prozent gegenüber dem natürlichen Pegel erhöht (siehe Kap. 3.2). In der Nahumgebung der Kernkraftwerke liegen sie als Folge von deren Radioaktivitätsemissionen noch weitere rund 10 Prozent höher. In den **Niederschlägen** (siehe Fig. 2) hat der Tritiumgehalt, der in der 60er-Jahren infolge der Kernwaffenversuche auf einige Hundert Bq pro Liter angestiegen war, seither stetig abgenommen.

5) Für Empfehlungen betreffend bauliche Massnahmen zur Sanierung von Radonhäusern wende man sich an das Bundesamt für Gesundheitswesen, Abteilung Strahlenschutz, Bern.

6) Unmittelbar nach dem Reaktorunfall Tschernobyl wurden kurzzeitig einige Bq Caesium-137 pro Kubikmeter gemessen.

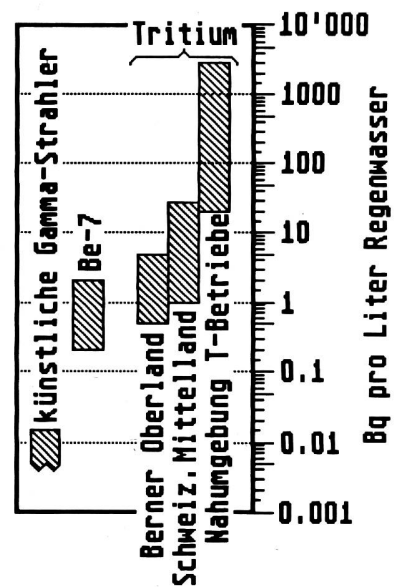
Figur 1

Wertebereiche der Radionuklide
in der Aussenluft 1993



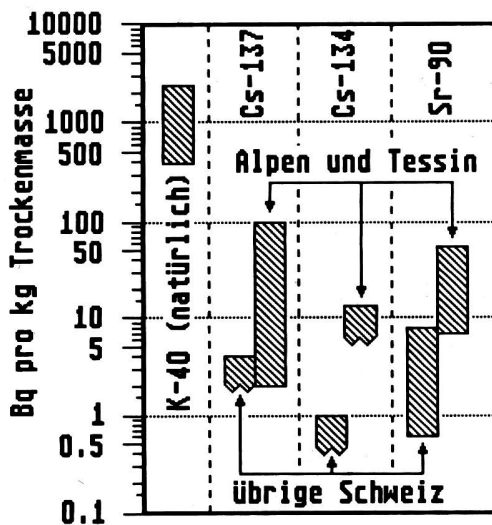
Figur 2

Radionuklide im Regen 1993



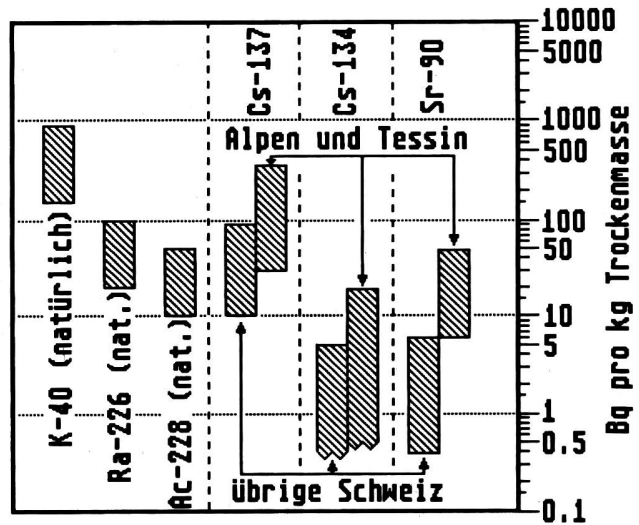
Figur 3

Radionuklide im Gras 1993



Figur 4

Radionuklide im Erdboden 1993



Er beträgt heute noch wenige Bq pro Liter. In der Nahumgebung von Tritium-verarbeitenden Industriebetrieben werden allerdings z.T. höhere Werte gemessen. Andere künstliche Radionuklide sind im Regen nicht mehr nachweisbar.

In **Erdboden und Gras** (siehe Fig. 3 und 4) wird noch Caesium-137, hauptsächlich vom Tschernobyl-Unfall und das von den Kernwaffenversuchen stammende Strontium-90 gemessen (siehe Kap. B.3.1 und B.3.6). Beim Caesium-137, bei dem nur ein Teil von den Kernwaffenversuchen stammt, ist das Muster der Tschernobyl-Ablagerungen immer noch erkennbar. Das auf dem Erdboden abgelagerte Caesium zerfällt und dringt auf Naturböden allmählich in tiefere Erdschichten ein: 1993 für den Tschernobyl-Anteil bis etwa 10 cm und bis 30 cm für jenen des Bomben-Fallout. Bei landwirtschaftlich genutzten Böden wird es durch das Pflügen über eine Tiefe von ca. 30 cm verteilt. Auf Waldböden verweilt das Caesium länger in der obersten Schicht, weshalb in Wäldern sein Beitrag zur externen Strahlendosis heute immer noch höher ist. Auch beim fast ausschliesslich vom Fallout stammenden Strontium-90 ist meist eine gleichmässige Vermischung bis in ca. 30 cm Tiefe festzustellen.

Die Überwachung der aquatischen Systeme umfasst **Oberflächen- und Grundwasser, Fische, Wasserpflanzen, Sedimente, sowie Abwässer aus Kläranlagen und Deponien** ⁷⁾. In den regelmässig erhobenen Flusswasserproben (siehe Fig. 5) waren ausser Tritium künstliche Radionuklide meist nicht nachweisbar. Beim Tritiumgehalt in den monatlichen Flusswasserproben sind teilweise anthropogene Einflüsse (Leuchtfarbenindustrie und Kernanlagen) feststellbar (siehe Kap. B.3.4). In Sedimenten sind noch Caesium-Beiträge vorhanden, vorwiegend vom Reaktorunfall Tschernobyl, unterhalb der Kernanlagen auch Beiträge aus den flüssigen Abgaben dieser Betriebe sowie im Klärschlamm Jod-131 aus den Spitälern (siehe Abschnitt 6).

Die Überwachung der **Radioaktivität der Lebensmittel** (siehe Fig. 6) erfolgt in enger Zusammenarbeit mit den kantonalen Laboratorien (siehe Kap. B.3.5). 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 meist unter der Messgrenze. Beim Wildfleisch, wo noch teilweise erhöhte Caesium-Werte als Folge des Tschernobyl-Unfalles auftreten, ist ein Rückgang zu verzeichnen, nicht jedoch bei gewissen einheimischen Wildpilzen, hauptsächlich Maronenröhrlinge und Zigeunerpilze, die immer noch vereinzelt Caesium-137-Werte bis 1500 Bq/kg aufweisen. In Anbetracht der geringen Konsumraten von Wildfleisch und Pilzen sind die daraus resultierenden Strahlendosen klein. Für 1993 beträgt in der Schweiz die Strahlenexposition durch künstliche Radionuklide in Lebensmitteln für Personen mit durchschnittlichen Ernährungsgewohnheiten noch wenige Tausendstel mSv. Auch der regelmässige Konsum von handelsüblichen Mineralwässern mit geringem Gehalt an natürlichen Radionukliden führt, wie die Untersuchungen von 1991 gezeigt haben, zu höchstens einigen hundertstel mSv pro Jahr ⁸⁾.

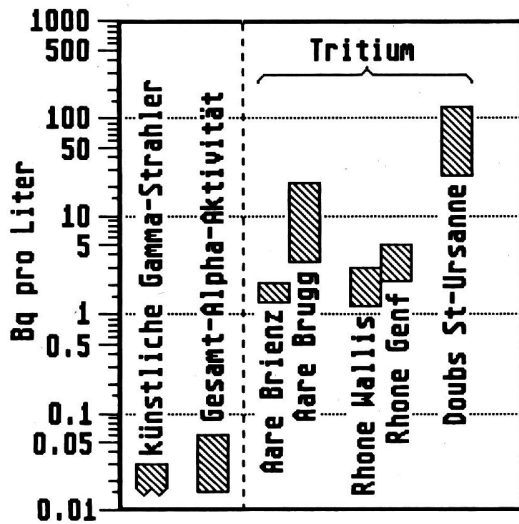
Die externen **Ortsdosen im Freien** (siehe Fig. 7 und 8), die durch das automatische NADAM-Netz (siehe Kap. B.3.8) und durch weitere Messungen erfasst werden, zeigen Werte bis 1.8 mSv pro Jahr in den Alpen und rund 1 mSv in der übrigen Schweiz. Der Beitrag durch das Caesium-137 vom Tschernobyl-Unfall beträgt heute noch bis 0.6 mSv pro Jahr im Tessin, 0.1 bis 0.4 in den Alpen, in Teilen des Juras und der Ostschweiz bzw. 0.01 bis 0.1 mSv pro Jahr in der übrigen Schweiz (siehe Kap. B.3.3).

7) Für die Umgebung der Kernanlagen bzw. der Betriebe und Spitäler vergleiche Abschnitt 5 bzw. 6.

8) Vergl. BAG-Jahresbericht zur Umweltradioaktivität für 1991, Kap. 3.5.A: *Natürliche Radionuklide der Uran- und Thorium-Zerfallsreihen in Mineralwässern*.

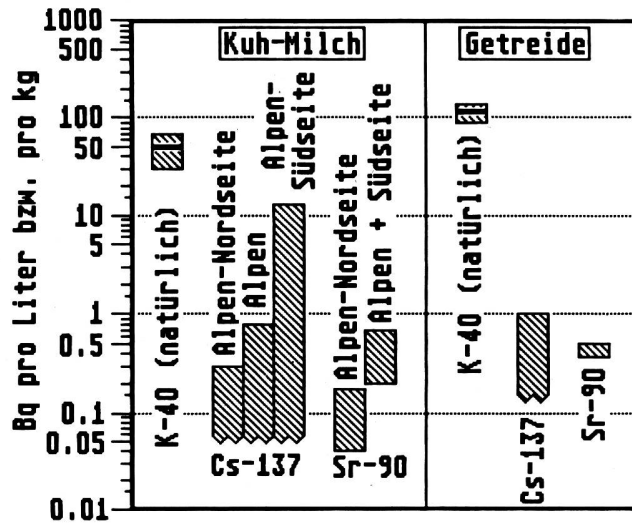
Figur 5

Radioaktivität in den Flüssen 1993



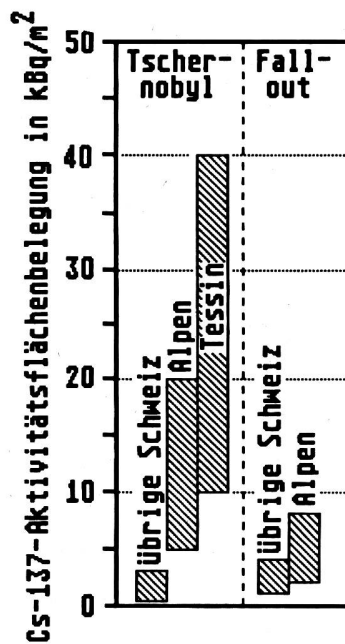
Figur 6

Radioaktivität in den Grundnahrungsmitteln 1993



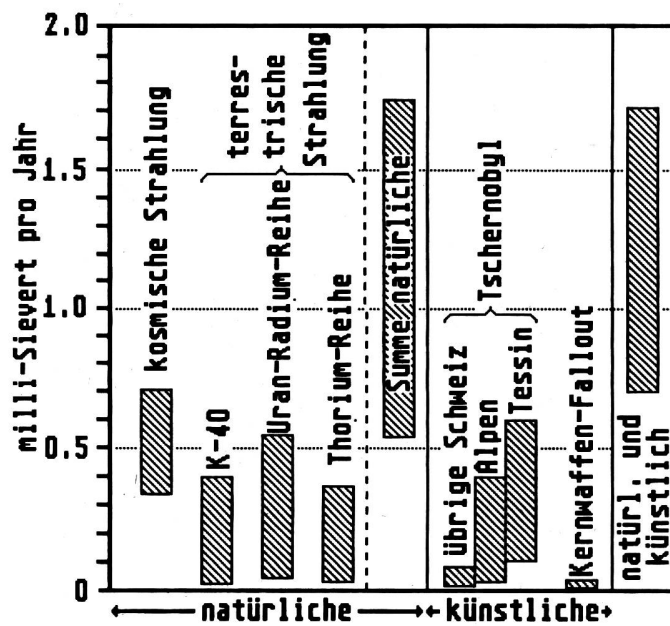
Figur 7

Caesium-137-Ablagerungen



Figur 8

Beiträge zur Ortsdosis im Freien 1993



Während den letzten 6 Jahren konnte eine Abnahme dieses Beitrages um rund 3 Prozent pro Jahr an den NADAM-Stationen beobachtet werden.

Im **Hausinnern** (siehe Kap. 3.12) wird die externe Strahlendosis gegenüber derjenigen im Freien durch die Hauswände etwas geschwächt, andererseits kommt ein Beitrag durch die Radionuklide in Baumaterialien hinzu. Gesamthaft überwiegt meist der letztere gegenüber der Schwächung durch die Hauswände. Daher beträgt das Verhältnis der Dosis im Hausinnern zu derjenigen im Freien, der sogenannte «Housing-Faktor», im Durchschnitt etwa 1.2. Ausgehend von einer Aufenthaltszeit im Hausinnern von 80 Prozent ergibt sich im Durchschnitt für die externe Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung rund 0.8 mSv pro Jahr. Dosismessungen in Häusern im Kanton Freiburg und Untersuchungen über den Radionuklidgehalt in Baustoffen bestätigen diese Aussagen.

Als Endkontrolle der gesamten Überwachung dienen **Radioaktivitätsmessungen im menschlichen Körper** (siehe Fig. 9): Strontium-90-Bestimmungen an Milchzähnen und an Knochen Verstorbener sowie Caesium-137-Messungen an Berufstätigen und Schülern (siehe Kap. B.3.6 und B.3.7). Strontium verhält sich physiologisch ähnlich wie Calcium und wird beim Menschen vor allem in Knochen und Zähnen eingebaut, während Caesium einen vergleichbaren Metabolismus hat wie Kalium und daher vor allem in das Muskelgewebe gelangt. In Milchzähnen bzw. Wirbelknochen lag die mittlere Strontium-90-Konzentration - sie wird auf den Kalziumgehalt bezogen - bei 0.024 bzw. 0.056 Bq pro Gramm Kalzium, entsprechend einer internen Dosis von 0.002 mSv pro Jahr. Die Caesium-137-Messwerte von Gymnasiasten aus Genf liegen im Durchschnitt bei den Mädchen bei 8 und bei den Knaben bei 18 Bq pro kg Körpergewicht. Dies führt zu einer internen Strahlendosis von weniger als 0.001 mSv pro Jahr.

5. Umgebung der Kernanlagen (siehe Kap. B.4)

Den Kernkraftwerken Beznau, Gösgen-Däniken, Leibstadt, Mühleberg und dem Paul-Scherrer-Institut (PSI) sind in ihren Betriebsbewilligungen Abgabelimiten vorgegeben, die so festgelegt sind, dass die Dosis für Personen der Umgebungsbevölkerung nicht mehr als 0.2 mSv/Jahr betragen können. Die Betriebe sind verpflichtet, ihre **Radioaktivitätsabgaben** über Abluft und Abwasser an die Umwelt laufend zu überwachen und zu bilanzieren (siehe Kap. B.4.1). Die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) kontrolliert diese Angaben durch eigene Messungen und berechnet die für die Umgebungsbevölkerung resultierenden maximalen Strahlendosen⁹⁾. 1993 haben die Kernanlagen mit zwei Ausnahmen (siehe nächster Abschnitt) ihre Jahreshgrenzwerte eingehalten und die maximale Strahlenexposition der Bevölkerung in der Nahumgebung lag unter 0.015 mSv beim KKW Mühleberg bzw. unter 0.006 mSv bei den Anlagen Beznau, Gösgen-Däniken und Leibstadt. Bei den drei letzteren kommt dabei anteilmässig der grösste Dosisbeitrag von den Kohlenstoff-14-Abgaben. Für die Umgebung des Paul-Scherrer-Institutes betragen die aus den Abgaben berechneten Maximaldosen der Umgebungsbevölkerung 0.012 mSv pro Jahr.

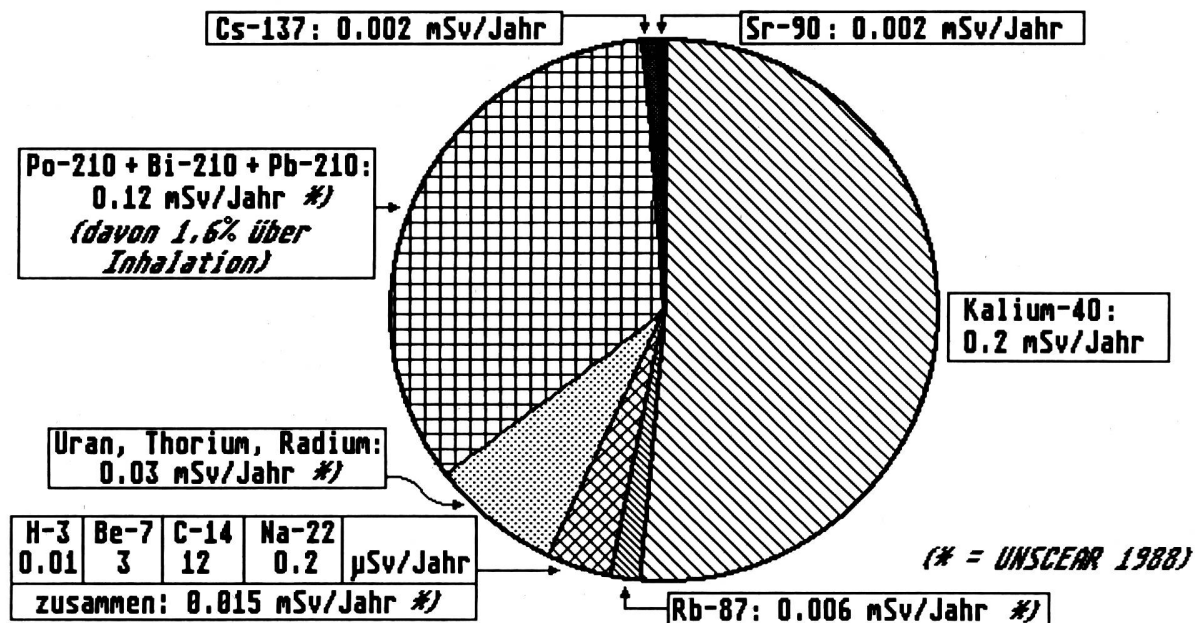
9) Siehe *Bericht über die schweizerischen Kernanlagen im Jahre 1993*. Bericht HSK-AN-2661/KSA-AN-1786 vom Mai 1994. Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, Villigen-PSI.

III: Wer ist für die Überwachung zuständig ?

Zuständig für die Überwachung der **Radioaktivität der Umwelt** ist gemäss **Strahlenschutzverordnung** das Bundesamt für Gesundheitswesen (BAG). Dieses arbeitet bei den Probenahmen und Messungen mit weiteren Behördenstellen und Laboratorien des Bundes und der Hochschulen zusammen, insbesondere bei der Überwachung der Lebensmittel mit den Kantonalen Laboratorien. Bei der Umgebungsüberwachung von Kernanlagen (vergl. Fig.12) und Betrieben, die radioaktive Stoffe verarbeiten, erfolgen die Messungen gemeinsam mit den jeweiligen Aufsichtsbehörden, der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) bzw. der Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt (SUVA). Die letztere ist zuständig für die Verwendung von Radionukliden in Industrie, Handel und Gewerbe, während die Aufsicht über die Anwendungen in Medizin, Forschung und Lehre beim BAG liegt. Die Ergebnisse der Umweltüberwachung und die sich daraus ergebenden Strahlendosen der Bevölkerung werden in den jährlichen Berichten des BAG veröffentlicht.

Die **Zuständigkeiten für den Katastrophenfall**, bei einer Gefährdung der Bevölkerung durch erhöhte Radioaktivität als Folge von Kernwaffenexplosionen, Kernkraftwerkunfällen, Industrie- und Transportunfällen mit radioaktiven Stoffen, Abstürzen von Satelliten mit eingebautem Kernreaktor etc. sind in der **Verordnung über die Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität** (VEOR) von 26. Juni 1991 geregelt. Diese Einsatzorganisation (EOR) umfasst die ständig einsatzbereite Nationale Alarmzentrale (NAZ), die im Bedarfsfall durch weitere Fachleute verstärkt wird, den Leitenden Ausschuss Radioaktivität (LAR), der die Lage laufend beurteilt und den Bundesrat beim Anordnen von Massnahmen berät und eine Probenahme- und Messorganisation, bestehend aus den automatischen Messnetzen und den Laboratorien zur ständigen Erfassung der radiologischen Lage im ganzen Lande. Beim Anordnen von Schutzmassnahmen mit dem Ziel, das gesundheitliche Risiko der Bevölkerung nach einem Ereignis mit erhöhter Radioaktivität klein zu halten, stützt man sich auf das schweizerische Dosis-Massnahmen-Konzept (DMK).

Figur 9 Interne Strahlendosen 1993: 0.38 mSv/Jahr
Durchschnittliche Strahlendosen durch Radionuklide im Körper
(ohne direkte Radon-Folgeprodukte)



Beim PSI sind drei **Ereignisse** mit erhöhter Abgabe von Radioaktivität an die Umwelt - in zwei Fällen mit Überschreitung der Kurzzeitabgabelimite - aufgetreten: Am 31. August entwichen, wie schon 1992, aus der Isotopenproduktion des PSI-West ca. 150 GBq Xenon-123, entsprechend ca. 80 Prozent der Kurzzeitabgabelimite; dies verursachte eine zusätzliche Dosis bei der Umgebungsbevölkerung von maximal 0.001 mSv. Eine erhöhte Abgabe von Tritium (170 GBq in Form von HTO) erfolgt am 1. September 1993 aus dem Labor für radioaktive Abfälle. Die Kurzzeitabgabelimite war um einen Faktor 2.7 überschritten; die Dosis der Umgebungsbevölkerung lag gemäss Berechnungen bei maximal 0.004 mSv. Eine weitere erhöhte Tritiumabgabe von 1250 GBq (drei mal über der Kurzzeitabgabelimite) erfolgte in der Woche vom 25. November bis zum 2. Dezember 1993, aus der Verbrennungsanlage für radioaktive Abfälle des PSI. Für die Umgebungsbevölkerung führte dies zu einer maximalen Dosis von 0.012 mSv. Als Sofortmassnahme wurde die Verbrennung Tritium-haltiger Abfälle gestoppt und eine kontinuierliche Überwachung des Tritium-Gehaltes der Rauchgase eingerichtet. Es drängt sich auch eine bessere Vorsortierung der zu verbrennenden Abfälle auf.

Beim ehemaligen Versuchatomkraftwerk **Lucens**, dessen Kaverne 1992 mit Beton verfüllt wurde, wird während einer einjährigen Beobachtungsperiode Menge, sowie radiologische und chemische Charakteristik des Drainagewassers überwacht.

Die **Überwachung der Umgebung der Kernanlagen** (siehe Kap. B.4.2 und B.4.3) erfolgt in enger Zusammenarbeit zwischen der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), dem Bundesamt für Gesundheitswesen (BAG/SUER) und weiteren Stellen. Die Messprogramme und Methoden umfassen, nebst den Ortsdosen, 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, Helikopter-Messflüge (siehe Kap. 3.9) und Kohlenstoff-14-Messungen an Baumblättern (siehe Kap. 3.2). Die im Berichtsjahr in der Umgebung der Kernanlagen durchgeführte Überwachung der Radioaktivität ergaben 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 oben erwähnten Zwischenfälle. Auch beim Kohlenstoff-14 sind Erhöhungen in der Nahumgebung der Kernanlagen messbar: Beim KKL 80 bis 120 Promille, bei KKB/PSI 100 Promille, und in unmittelbarer Nähe des PSI-Reaktors SAPHIR 120 bis 470 Promille, bezogen auf den natürlichen Untergrund. Die Auswirkungen dieser durch die Emissionen aus Kernanlagen verursachten Umweltradioaktivität auf die Strahlenexposition der Bevölkerung sind radiologisch unbedeutend.

In der Nahumgebung der Schweizer Kernkraftwerke wurde 1993 durch die HSK ein automatisches Überwachungsnetz für die Ortsdosisleistung (**MADUK**) in Betrieb genommen, das pro Kernkraftwerkstandort aus 12 bis 18 Messstationen mit Geiger-Müller-Zählrohren besteht. Die Daten laufen bei der HSK zusammen; auch NAZ und SUER haben direkten Zugriff zu den Daten. Dieses Netz soll zu einer raschen Information von Behörde und Bevölkerung über die radiologische Lage beitragen, und insbesondere bei Ereignissen eine schnelle Beurteilung der Lage ermöglichen.

Das 1993 von der EAWAG im Auftrag der HSK begonnene Projekt zur Untersuchung der Ausbreitung der Radionuklide aus dem Abwasser der Kernanlagen in Flüssen und Sedimenten hat bereits erste interessante Ergebnisse gebracht.

IV: Was wird überwacht und wer führt die Messungen durch ?

a) Ziele des Messprogrammes

- Überwachung der räumlichen und zeitlichen Verteilung der **Umweltradioaktivität**, um langfristige Trends und Akkumulation von Radionukliden zu erfassen.
- Überwachung der **Immissionen** durch künstliche Radionuklide, insbesondere bei Kernanlagen, Industriebetrieben und Spitälern, zur Kontrolle der Einhaltung der Immissionsgrenzwerte.
- Ermittlung der **Strahlendosen der Bevölkerung** aus künstlichen und natürlichen Quellen. Dabei kommt dem Radon im Wohnbereich eine besondere Bedeutung zu.

b) Automatische Mess- und Frühwarnnetze (vergl. Fig. 13)

- Das aus 58 Stationen bestehende **NADAM**-Netz registriert kontinuierlich die Ortsdosen in der ganzen Schweiz; die Datenzentrale befindet sich bei der NAZ in Zürich.
- das **MADUK**-System überwacht die Ortsdosen in der Nahumgebung der Kernkraftwerk an je 12 bis 18 Messstationen; die Verantwortung für Betrieb und Datenverarbeitung liegt bei der HSK.
- das **RADAIR**-Netz überwacht die Aerosol-Radioaktivität der Luft an 10 Stationen in der Schweiz und einer im Fürstentum Liechtenstein; dieses Netz befindet sich gegenwärtig im Aufbau und soll die bestehenden Messgeräte (ohne Datenfernübertragung) ersetzen. Für den Betrieb ist die Sektion Überwachung der Radioaktivität des BAG zuständig.

c) weitere Routinemessungen

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, Wasserpflanzen, 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 (vergl. Fig.12) sowie von Radioisotopeverarbeitenden Betrieben bestehen Spezialprogramme, ebenso für das Radon im Hausinnern und für die natürliche Untergrundstrahlung.

d) An den Messungen und Probenahme beteiligte Stellen

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

Demzufolge bleibt beispielsweise beim Cobalt-60 ein beträchtlicher Anteil in Lösung, bzw. an Partikel $< 0.2 \mu\text{m}$ gebunden und kann so mit dem Flusswasser über grössere Distanzen transportiert werden, als bisher angenommen wurde (siehe Kap. B.3.10).

6. Umgebung von Industriebetrieben und Spitälern (siehe Kap. B.5)

Betriebe, die mit radioaktiven Stoffen umgehen, benötigen eine **Bewilligung**. Die Aufsicht erfolgt durch das Bundesamt für Gesundheitswesen (Sektion Betriebskontrollen) bei Medizin, Forschung und Lehre, bzw. die Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (SUVA; Sektion Physik) bei Industrie, Handel, Gewerbe, analytischen Labors sowie entsprechenden Betrieben und Stellen der öffentlichen Verwaltung. Die Aufsichtsbehörde verlangt bei Betrieben, die grössere Mengen verarbeiten, eine Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe. Gegebenenfalls wird auch eine entsprechende Umgebungsüberwachung (Niederschläge, Oberflächengewässer, Quellen etc.) durchgeführt. Dies trifft zu bei den Firmen Radium-Chemie in Teufen/AR und mb-Microtec in Niederwangen/BE, die beide Tritium-Leuchtfarbe bzw. Tritium-Gas-Leuchtquellen herstellen. Eine Umgebungsüberwachung wird auch bei der Stadt La Chaux-de-Fonds durchgeführt, wo die Uhrenindustrie Leuchtfarbe verarbeitet.

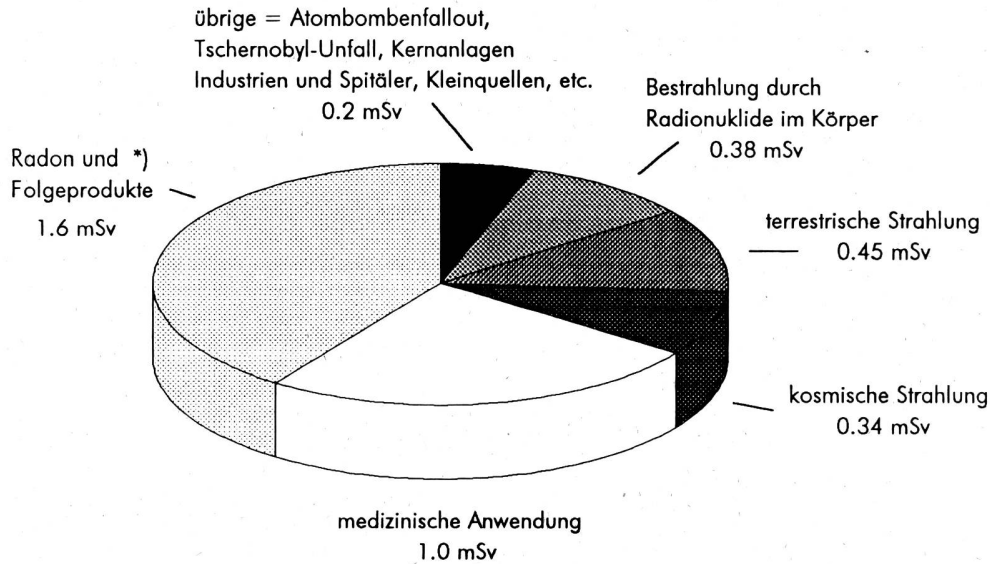
Die **Industriebetriebe**, die zuhause der SUVA eine Abgabebilanz erstellen müssen, haben 1993 die in den Bewilligungen festgelegten Limiten für die Abgabe radioaktiver Stoffe an die Umwelt eingehalten (siehe Kap. B.5.1). Messungen in der Umgebung von Betrieben in der Region La Chaux-de-Fonds und in Teufen/AR zeigen zwar keine Werte über dem Richtwerte ¹⁰⁾ aber in den letzten Jahren beim Tritium in den Niederschlägen eine steigende Tendenz. In Teufen betrug die Niederschlagsaktivität 1993 bis 3 kBq/L, in La Chaux-de-Fonds bis 0.3 kBq/L. Im Ausfluss der Kläranlage La Chaux-de-Fonds lagen 1993 die Tritium-Konzentrationen immer unter 12 kBq/L ¹⁰⁾. Der Jahresabfluss an Tritium über die Kläranlage war 1993 mit rund 30 TBq etwas tiefer als im Vorjahr; jener für den Doubs bei St. Ursanne lässt sich zu rund 50 TBq abschätzen. Die Niederschlagsproben aus der Umgebung von Niederwangen zeigten Tritiumkonzentrationen zwischen 0.02 und 0.9 kBq/L, im 6 km entfernten Bern noch bis 0.027 (im Jahresmittel 0.006) kBq/L; in der Luftfeuchte wurde in Niederwangen zwischen 3 und 18 Bq/m³ gemessen. Weitere Wasser-, Milch- und Gemüseproben aus der Umgebung von mb-Microtec ergaben bis 0.15 kBq/L, wobei die Aktivitätswerte mit zunehmender Distanz zum Betrieb deutlich abnehmen (siehe Kap. B.5.3 und B.5.4). Diese Messungen bestätigen die früheren Urinuntersuchungen, die für Anwohner dieser Firma Dosen durch Tritium bis maximal 0.03 mSv pro Jahr ergaben.

Die Abgaben aus den **Spitälern** der grösseren Städte Zürich, Basel, Bern und Lausanne - im wesentlichen handelt es sich um bei Schilddrüsenbehandlungen verwendetes Jod-131 - werden durch regelmässige Sammelproben aus den Kläranlagen überwacht (siehe Kap. B.5.2). In diesen Proben und z.T. auch in den Klärschlämmen sind häufig Spuren von Jod-131 und im Wasser teilweise auch Tritium nachweisbar. Im Ausfluss der ARA Bern lagen 1993 die Jod-131-Werte durchwegs unter 5 Bq/L.

10) Die bisherige Strahlenschutzverordnung legt als Richtwert für öffentlich zugängliche Gewässer 12'000 Bq/L fest ($C_w/300$ gemäss Art. 107); auch gemäss der neuen Strahlenschutzverordnung vom 1. Oktober 1994 gilt ein Wert von 12'000 Bq/L (LA/50).

Figur 10

Durchschnittliche Jährliche effektive Dosis der Schweizer Bevölkerung in milli-Sievert 1993



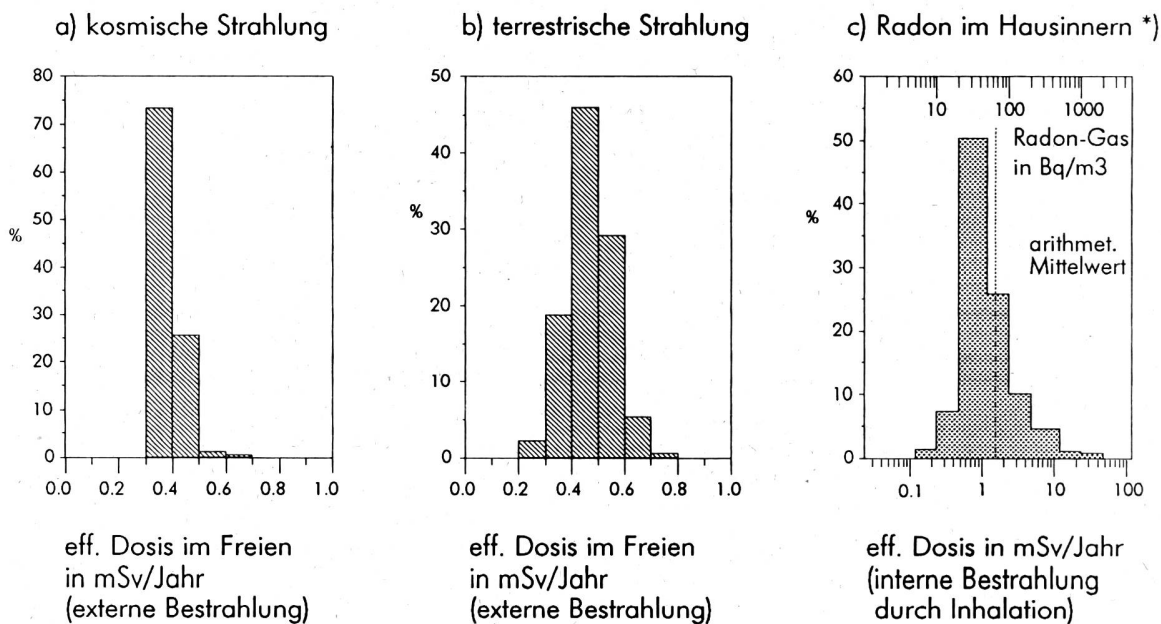
*) Für Radon wurde gemäss neuester ICRP-Empfehlungen ein neuer Dosisfaktor angewendet. (siehe Text seite ...)

Figur 11

Approximative Häufigkeitsverteilung der Strahlendosen in der Schweiz

Daten gewichtet mit der Bevölkerungsverteilung, basierend auf den bis 1991 vorliegenden Messwerten; Radon-Daten korrigiert bezüglich Haustyp, Bevölkerungsverteilung u. Sommer / Winter-Unterschied.

Es sei vor allem auf den grossen Variationsbereich der Radon-Dosis (logarithmische Skala !) hingewiesen.



Die aufgrund dieser wöchentlichen Sammelproben aus der ARA erstellte Jod-131-Abflussbilanz für den Raum Bern von rund 40 GBq für 1993 stimmt insofern mit den vom Inselspital gemeldeten Abgabe-Daten überein, wenn auch die an ambulant behandelten Patienten applizierten Jodmengen dazugerechnet werden. Diese machen nämlich den grössten Teil des Jodabflusses der Agglomeration Bern aus, während die kontrollierten Abgaben aus den Abklingbecken der Nuklearmedizin des Berner Inselspitals nur einige Prozent betragen. Bei den andern überwachten Städten (Zürich, Basel und Lausanne) sind die Jod-Abflüsse deutlich kleiner, und die Messwerte oft unter der Messgrenze, die je nach Labor zwischen 0.1 und 0.5 Bq/L betragen.

Da in allen genannten Fällen diese Abwässer nicht getrunken und durch Einleiten in die Aare bzw. in den Doubs stark verdünnt werden, können unzulässige **Strahlendosen** bei der Bevölkerung ausgeschlossen werden. Im weiteren wurden in der Umgebung der überwachten Betriebe keine unzulässigen Immissionen festgestellt und die aus den Radioaktivitätsabgaben resultierenden Strahlendosen bei der Bevölkerung sind deutlich unter den entsprechenden Richtwerten.

In für den Export nach Italien bestimmten **Altmetalladungen** sind 1993 radiumhaltige Zifferblätter, Trinkkuren und Überspannungsableiter gefunden worden, die noch aus der Zeit vor Inkrafttreten der Strahlenschutzverordnung von 1976 stammen. Im weiteren wurden auch Strahlenquellen von (zugelassenen) Ionisationsrauchmeldern und aktivierte Metallteile aus Beschleunigeranlagen gefunden. Diese Strahlenquellen waren von geringer Aktivität, so dass nie eine Gefährdung von Menschen oder Umwelt bestand. In Zusammenarbeit mit der SUVA und den Altstoffhändlern wurden vom BAG Massnahmen eingeleitet, die zukünftig nach Möglichkeit verhindern sollen, dass radioaktive Stoffe ins Altmetall gelangen ¹¹⁾.

7. Bewertung des Überwachungsprogrammes

Die Radioaktivitätsüberwachung dient in erster Linie der Bestimmung der Strahlendosen der Bevölkerung; sie soll aber auch die Akkumulation von Radionukliden in der Umwelt und langfristige Trends verfolgen sowie die radioaktiven Immissionen in der Umgebung von Kernanlagen und Betrieben überwachen.

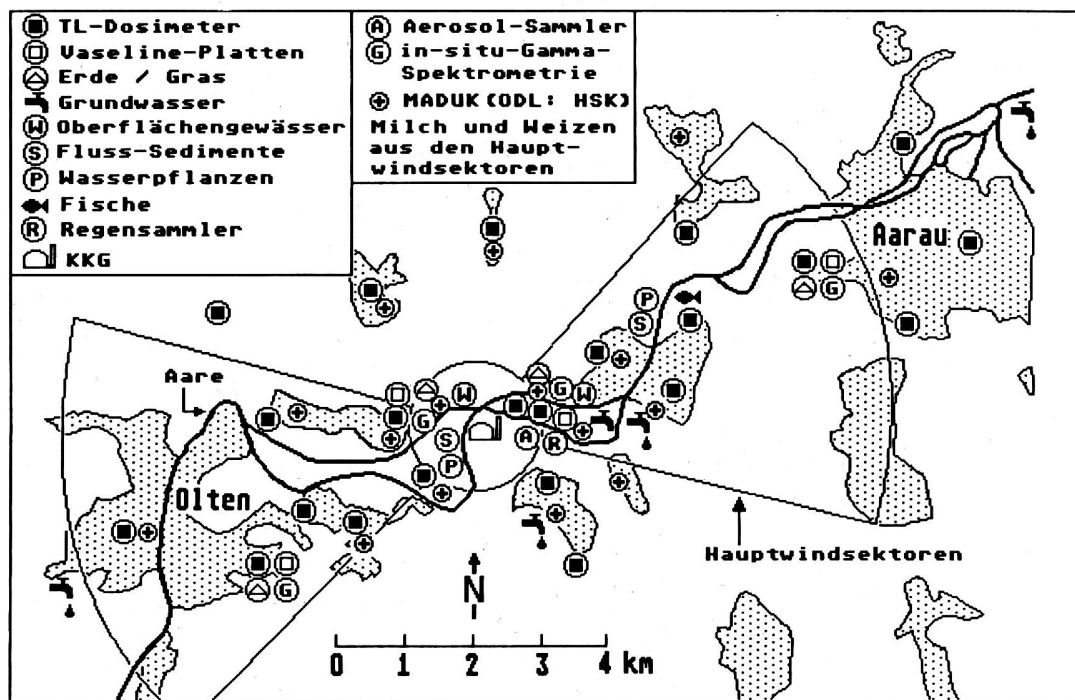
Bei der Überwachung der grossräumig verbreiteten **künstlichen Umweltradioaktivität** in Luft, Niederschlägen, Gewässern und Böden sind die Aktivitäten tief und oft nur noch mit grösserem Messaufwand und Low-Level-Verfahren nachweisbar. Die 1992 begonnene Erneuerung und Automatisierung der Radioaktivitätsüberwachung der Aerosole durch ein automatisches Netz (**RADAIR** ¹²⁾) wurde weitergeführt. Beim **Radon-Programm** stehen die Untersuchungen in Gebieten mit erhöhtem Radon-Risiko im Vordergrund.

11) Siehe auch BAG-Bulletin Nr. 47/93 vom 6.12.1993, Seite 857.

12) Siehe L. Ribordy, Ch. Murith & H. Völkle: *Das Schweizerische RADAIR-Projekt: Ein automatisches Netz zur Überwachung der Radioaktivität der Luft*. in «Umweltradioaktivität, Radioökologie, Strahlenwirkung» Jahrestagung des Fachverband für Strahlenschutz, Binz/Rügen/D, 28.-30.9.1993; Seiten 173 - 177. ISSN 1013-4506, Verlag TÜV-Rheinland, Köln.

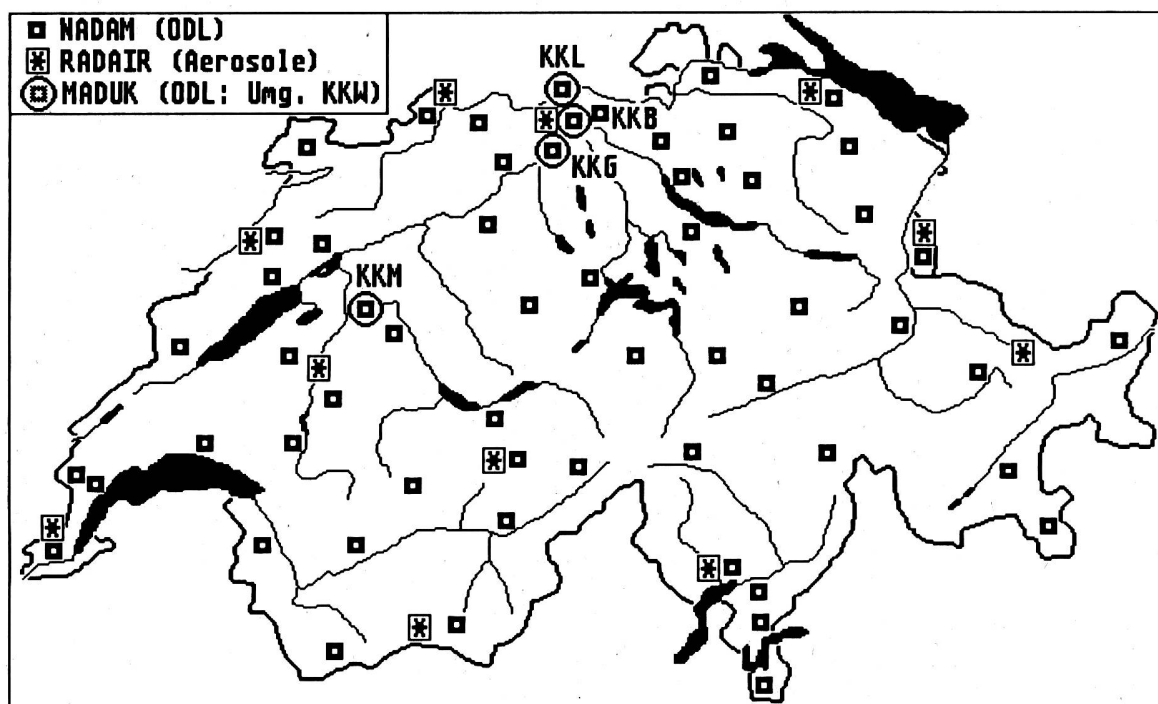
Figur 12

Umgebungsüberwachung KKW Gösgen-Däniken



Figur 13

Automatische Überwachungsnetze in der Schweiz



Sie werden ergänzt durch Abklärungen betreffend Herkunft und Transport von Radon im Boden, das Erproben von Sanierungsmassnahmen bei Häusern mit hohen Radonkonzentrationen sowie das Erarbeiten entsprechender Empfehlungen an das Baufachgewerbe. Ab 1994 steht der Vollzug der entsprechenden Radon-Bestimmungen in der neuen Strahlenschutzverordnung in Zusammenarbeit mit den Kantonsbehörden im Vordergrund. Bei der Radioaktivitätsüberwachung der **Lebensmittel** ist dank dem Engagement der Kantonslaboratorien das ganze Landesgebiet genügend abgedeckt. Die Überwachungsprogramme für die **Umgebung der Kernanlagen** und die verwendeten Nachweisverfahren entsprechen dem Stand der Technik. Das 1993 in Betrieb genommenen MADUK-Netz bringt zusätzliche Redundanz für die Überwachung. Die Ausbreitung der flüssigen Radioaktivitätsabgaben in Gewässern und Sedimenten unterhalb der KKW ist Gegenstand eines Projektes der EAWAG (siehe Kap. 3.10). Bei der Überwachung der **Nahumgebung von Betrieben und Spitälern** wurden bei den Spitälern mit grossem Jodverbrauch die Kontrollen im Abwasser und in der Kläranlage intensiviert, ebenso die Messungen in der Nahumgebung von Tritium-verarbeitenden Betrieben.

8. Die Strahlendosen der Bevölkerung 1993 (Tab. 1; Fig. 10 und 11)

Bei der durchschnittlichen Strahlenexposition kommt der grösste Beitrag nach wie vor vom Radon und seinen Folgeprodukten, hauptsächlich im Hausinnern. Der in der Tabelle auf Seite A.18 angegebene gewichtete arithmetische Mittelwert von 1.6 mSv/Jahr ist tiefer als die in früheren Berichten genannte Zahl von 2.2 mSv, was ausschliesslich mit dem neuen ICRP-Dosisfaktor für Radon zusammenhängt.

Die übrigen **natürlichen Dosisbeiträge** kommen von der Radioaktivität im Erdboden und in Baumaterialien, von der kosmischen Strahlung und den im Körper eingebauten natürlichen Radionukliden. Bei der letztgenannten Komponente von 0.38 mSv pro Jahr stammt der Hauptbeitrag vom Kalium-40, das 0.12 Promille des in der Natur vorkommenden Kaliums ausmacht. Es ist vorwiegend im Muskelgewebe eingebaut. Im Vergleich dazu beträgt die Dosis durch künstliche, über die Nahrung aufgenommene Radioaktivität weniger als 0.01 mSv/Jahr.

Bei den aus **künstlichen Quellen** stammenden Strahlendosen überwiegt der Beitrag aus medizinischen Anwendungen von Strahlung¹³⁾. In der Tabelle ist die durchschnittliche Exposition der Bevölkerung durch solche Untersuchungen (z.B. Röntgendiagnostik, bzw. die Anwendung von Radionukliden in der Nuklearmedizin) angegeben. Im einzelnen hängen die Strahlendosen jedoch stark von Art und Häufigkeit der Untersuchungen ab.

13) Die Angaben über die Strahlendosen aus nuklearmedizinischen Anwendungen stammen aus einer Erhebung von 1989/90 am Kantonsspital Basel (Prof. J. Roth & Dr. H. W. Roser). Der Schätzwert für die durchschnittliche Bevölkerungsdosis aus röntgendiagnostischen Erhebungen sind aus einer Untersuchung von 1978 entnommen (Prof. Dr. G. Poretti et al., Inselspital Bern) und dürften heute nur noch beschränkt Gültigkeit haben. Neuere Angaben über die Strahlenbelastung der Bevölkerung durch Röntgenuntersuchungen liegen noch nicht vor (vgl. auch: R.L. Mini: *Dosisbestimmungen in der medizinischen Röntgendiagnostik*. ISBN 3-906401-16-6; M. Huber-Verlag Kerzers, 1992).

Tabelle 1: STRAHLENDOSEN DER SCHWEIZER BEVÖLKERUNG 1993

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

Bestrahlung	Quelle	Beschreibung	Wertebereich	Mittelwert
natürliche Bestrahlung	terrestrische Strahlung	Uran- und Thorium-Folgeprodukte und Kalium-40 im Erdboden (incl. Baustoffe)	0.2 - 1.5	0.45
	kosmische Strahlung	höhenabhängig: $D(\text{mSv/a}) = 0.324 \cdot e^{(0.38 \cdot z)}$ (z = Höhe in km)	0.3 - 0.6	0.34
	natürliche Radionuklide im Körper	Kalium-40, Uran und Thorium mit Folgeprodukten, Tritium, Kohlenstoff-14 etc.	0.2 - 0.5	0.38
zivilisationsbedingte und künstliche Strahlenquellen	Radon und Folgeprodukte	Landesdurchschnitt im Hausinnern: 60 Bq Radon-222/m ³	0.3 - 100	1.6
	Reaktorunfall Tschernobyl	Gesamtbilanz (1986-2000): Dosis für 1993:	0.2 - 5 (≤ 0.01 - 0.1)	0.5 ≤ 0.01
	Kernwaffenausfall	Gesamtbilanz (1946-2000): Dosis für 1993:	(0.5 - 5) (≤ 0.01 - 0.02)	1.2 ≤ 0.01
	Abgaben aus den Kernanlagen	Maximalwerte für die Umgebungsbevölkerung	≤ 0.015	≤ 0.015
	Abgaben aus anderen Betrieben	Maximalwerte für die Umgebungsbevölkerung	≤ 0.03	≤ 0.03
	Kleinquellen und weitere zivilisationsbedingte Strahlendosen	z.B. Uhren mit Leuchtziffern, Polonium-210 beim Rauchen, Fliegen und weitere Kleinquellen	≤ 5 (z.B. Flugpersonal)	0.1
	Medizinische Anwendungen	Röntgendiagnostik (1978) Nuklearmedizin (1989/90)	0 - 30 0 - 80	1 0.04
Berufstätige	berufliche Strahlenexposition	58'519 Personen erhielten 1993 total 11.7 Mann-Sievert	0 - 25; weniger als 1 mSv bei 96 %	0.20

Die Auswirkungen des Reaktorunfalles **Tschernobyl** sowie der Ausfall der früheren Kernwaffenversuche führen in der Schweiz nur noch zu geringen Strahlendosen, hauptsächlich durch das auf dem Boden abgelagerte, bzw. über die Nahrung aufgenommene Caesium-137.

Weitere, allerdings nur ungenau abschätzbare ca. 0.1 mSv/Jahr kommen von den zivilisationsbedingten Strahlenquellen und den sogenannten «**Kleinquellen**», d.h. Gebrauchsgegenständen und Konsumgütern die Radionuklide in geringen Mengen enthalten. Dazu gehören u.a. Uhren mit Leuchtziffern auf Tritiumbasis, natürliche Radionuklide in Fliesen, Glühstrümpfen oder Zahnkeramik, Ionisations-Rauchmelder, ferner auch das beim Rauchen eingeatmete Polonium-210 und die erhöhte Dosen durch die kosmische Strahlung bei der Zivilluftfahrt ¹⁴⁾. Bei der letzteren ergeben sich beispielsweise in Höhen von 10 bzw. 12 km Dosisbeiträge durch die kosmische Strahlung von 5 bzw. 8 µSv/Stunde, was beim fliegenden Personal zu zusätzlichen jährlichen Strahlendosen von etwa 5 mSv führt.

Die aus den **Emissionen der Kernanlagen, Industrien und Spitälern** berechneten Strahlendosen der Bevölkerung in der Nahumgebung sind, auch bei Annahme ungünstiger Voraussetzungen bezüglich Aufenthalt im Freien und Lebensmittelverzehr, sehr gering.

Die 58'519 **beruflich strahlenexponierten Personen** in Kernkraftwerken, Industrien, Handel, öffentliche Dienste, Forschung und Medizin erhielten 1993 Dosen bis maximal 25 mSv/Jahr; bei 96 Prozent lagen die Werte jedoch unter 1 mSv/Jahr. Die durchschnittliche Personendosis betrug 0.2 mSv/Jahr ¹⁵⁾.

Von der gesamten durchschnittlichen Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung von rund 4 mSv/Jahr stammt etwa 40% vom Radon und seinen Folgeprodukten, das auch den grössten Variationsbereich mit Extremwerten bis 100 mSv/Jahr aufweist. Weitere rund 30 % (1.2 mSv/Jahr) stammen von der übrigen (externen) natürlichen Bestrahlung, etwa ein Viertel von medizinischen Anwendungen und wenige Prozent von weiteren künstlichen Strahlenquellen. Der Beitrag der letzteren liegt (ohne die Medizin) unter 0.2 mSv/Jahr.

14) Siehe W. Burkard: *Gefahr aus dem Kosmos? Ein Beitrag zur Diskussion über gesundheitliche Risiken von Flugreisen infolge erhöhter Strahlenexposition.* in «Radiologie Aktuell» Nr. 1/93, Seiten 14 - 20.

15) Siehe Bericht der Expertengruppe "Personendosimetrie" der Eidg. Kommission für Strahlenschutz: *Dosimetrie der beruflich strahlenexponierten Personen in der Schweiz 1993.* Herausgegeben vom Bundesamt für Gesundheitswesen, Mai 1994, Bern.

A

RADIOACTIVITÉ DE L'ENVIRONNEMENT ET DOSES DE RAYONNEMENTS

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

La radioactivité de l'environnement et des denrées alimentaires est régulièrement contrôlée en Suisse depuis 1956. Ce rapport expose sommairement les résultats des mesures 1993 avec une 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. L'examen porte aussi bien sur la radiation naturelle, les doses dues au radon dans les maisons que sur les émissions des installations nucléaires et des entreprises ainsi que sur les autres sources de rayonnements. Les centrales nucléaires et les entreprises bénéficiant d'une autorisation pour la manipulation de substances radioactives ont respecté en 1993 à deux exceptions près, leurs limites annuelles de rejets. Les mesures dans l'environnement n'ont signalé aucune valeur inadmissible d'impact ni de dose. La dose moyenne de rayonnements de la population représente globalement 4 mSv par an. 40 pour cent soit 1.6 mSv proviennent du radon dans les maisons avec des valeurs extrêmes jusqu'à quelque 100 mSv, 30 pour cent soit 1.2 mSv sont dus à la radiation naturelle et moins de 0.2 mSv par an incombent à la radioactivité artificielle sans les applications médicales.

1. Introduction

Radioactivité et radiation ionisante accompagnent l'homme en permanence. Les sources naturelles sont la radiation cosmique et la radioactivité naturelle dans l'air, le sol, les eaux, les végétaux et le corps humain. Suite à l'exploitation de la fission nucléaire dans les bombes atomiques et dans les réacteurs nucléaires, des radionucléides artificiels parviennent également dans l'environnement. Ils sont aussi partiellement utilisés dans la recherche, l'industrie et la médecine. La possible mise en danger de la population par la radioactivité libérée au cours des essais d'armes nucléaires dans les années 50 à 60 est à l'origine d'une surveillance globale de l'environnement en Suisse depuis 1956. De nos jours la surveillance est recentrée sur les mesures du radon dans les maisons ainsi que sur l'examen du voisinage des installations nucléaires, des entreprises manipulant des radioisotopes et des hôpitaux.

2. Radioactivité naturelle

Depuis la formation de l'univers, des radionucléides naturels sont présents dans la croûte terrestre. Il s'agit d'éléments de longue période comme le potassium-40 et les nucléides des séries de désintégration de l'uranium et du thorium. Le radon appartient avec ses descendants à la série de l'uranium. Il peut s'enrichir dans les maisons et augmente vraisemblablement notre risque de cancer du poumon.

I: Unités et prescriptions

La **radioactivité** est une propriété de certains noyaux (instables) de se transformer (désintégration radioactive) sans influence extérieure et d'émettre lors de cette transmutation une radiation caractéristique (ionisante) 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 et suite aux émissions des installations nucléaires, de l'industrie et des hôpitaux qui manipulent des radionucléides.

La **radioactivité** d'une substance s'exprime en Becquerel (Bq). 1 Bq correspond à une désintégration radioactive par seconde. Un millièrme, un millionième, un milliardième resp. un billionième de Becquerel s'écrivent mBq, μ Bq, nBq resp. pBq (milli-, micro-, nano- resp. pico-). De même un millier, un million, un milliard resp. un billion de Becquerel s'abrègent kBq, MBq, GBq resp. TBq (kilo-, Mega-, Giga- resp. Tera-). Par le passé, l'unité curie (Ci) était utilisée (1 nCi = 37 Bq ou 1 Bq = 27 pCi).

Les **doses de rayonnements** de la population sont données comme dose effective (E) en milli-Sievert (mSv). Cette dose, rapportée au corps entier, représente la somme des doses équivalentes de tous les organes irradiés du corps, pondérée par leur radiosensibilité respective. Elle sert à apprécier l'effet biologique de la radiation sur l'homme et est indépendante du type et de l'origine de cette dernière.

Les **prescriptions** relatives à la radioactivité et à la radiation sont fixées dans l'Ordonnance sur la radioprotection. Il s'agit surtout des doses maximales admissibles de rayonnements pour la population et les personnes professionnellement exposées, comme les employés dans les centrales nucléaires, les collaborateurs du secteur médical, des instituts de recherche et de l'industrie, qui travaillent avec des substances radioactives. En outre, des valeurs limites sont également prescrites pour la radioactivité dans l'air et l'eau potable pour la population et les personnes professionnellement exposées. Le Conseil fédéral a décidé de mettre en vigueur le 1er octobre 1994 la loi sur la radioprotection

(LRaP) du 22.3.91 en même temps que la nouvelle **ordonnance sur la radioprotection**^{+) (ORaP) du 22.6.94. Les nouvelles limites se basent sur les dernières recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) de 1991^{*)}. Ainsi, les valeurs limites de dose ont été abaissées à 20 [50] mSv par an pour les personnes professionnellement exposées aux rayonnements et à 1 [5] mSv pour les individus de la population. Ces limites s'entendent sans l'irradiation naturelle et sans les applications médicales. Les valeurs directrices pour la concentration des substances radioactives évacuées sous contrôle dans l'air et dans l'eau accessibles au public s'en trouvent renforcées. Ces concentrations ne doivent pas provoquer en cas d'exposition continue une dose annuelle par inhalation et par l'eau potable supérieure à 0.2 [0.5] mSv chacune. La valeur limite pour le rayonnement direct aux endroits d'accès public est maintenue à 5 mSv par an, resp. abaissée à 1 [5] mSv par an dans les locaux d'habitation, de séjour et de travail. Pour les installations nucléaires, la Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN) fixe les taux maximaux d'émission de substances radioactives, de telle sorte que la dose annuelle pour une personne du voisinage ne dépasse pas 0.2 mSv.}

La nouvelle ordonnance introduit des valeurs limites pour le gaz **radon** de 1000 Bq/m³ dans les locaux d'habitation et de séjour et de 3000 Bq/m³ dans ceux de travail. Un dépassement de ces limites nécessite l'assainissement des locaux concernés. Pour les nouvelles constructions et les transformations d'immeubles une valeur directrice de 400 Bq/m³ ne doit pas être dépassée. L'ordonnance règle également les compétences et les méthodes concernant les enquêtes radon. Autre nouveauté, l'ordonnance adopte des valeurs limites et des tolérances pour les substances radioactives dans les denrées alimentaires, qui sont publiées dans l'ordonnance sur les substances étrangères et les composants. Un dépassement d'une tolérance signifie une perte de qualité mais pas pour autant un risque au niveau de la consommation de l'aliment concerné; l'incrimination d'un aliment relève de l'autorité compétente (p.e. le chimiste cantonal).

^{+) Ce rapport se base encore sur l'Ordonnance concernant la protection contre les radiations (OPR) du 30.6.76, dont les limites sont indiquées sur cette page entre crochets [...]}

^{*) 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.}

Les doses du rayonnement terrestre, dont la moyenne suisse est voisine de 0.45 mSv par an, proviennent environ pour moitié des radionucléides dans la croûte terrestre. Un kg de sol contient par exemple plusieurs centaines de Bq de potassium-40, près de 20 à 75 Bq de radium-226 (série uranium) avec descendants et 10 à 40 Bq d'actinium-228 (série thorium) avec descendants. La radiation cosmique qui augmente selon l'altitude constitue une composante additionnelle. Celle-ci est par exemple voisine de 0.35 mSv par an auprès du lac de Lugano et atteint déjà 0.65 mSv par an à St. Moritz. La radiation cosmique produit en outre du tritium, du carbone-14 et du béryllium-7 dans l'atmosphère. La radioactivité naturelle parvient dans le corps humain par l'alimentation. Un litre de lait contient par exemple environ 50 Bq de potassium. Les 100 g respectivement 150 g de potassium dans le corps d'une adolescente resp. d'un adolescent renferment approximativement 3000 Bq resp. 4500 Bq de potassium-40 radioactif, qui se traduit par une dose interne annuelle de environ 0.2 mSv. L'ensemble des radionucléides naturels dans le corps humain induisent en moyenne une dose interne annuelle voisine de 0.4 mSv. Les matériaux de construction contiennent aussi des radionucléides naturels en faibles quantités. C'est pourquoi la dose externe de rayonnements dans les maisons est en moyenne 20% supérieure à celle en plein air.

3. Radon dans les habitations (voir chap. B.2)

Le radon et ses produits de filiation représentent avec 1.6 mSv par an ¹⁾ près de la moitié de l'exposition moyenne de la population aux rayonnements; des valeurs jusqu'à 100 mSv/an ont été observées (cf. Fig. 11). Le radon est un produit de filiation du radium naturel présent dans le sol. En tant que gaz rare, il pénètre essentiellement depuis le sous-sol à l'intérieur de la maison, où il se concentre. Ses descendants radioactifs provoquent après inhalation une irradiation du poumon et donc un risque accru de cancer du poumon. L'application des résultats d'une récente étude épidémiologique suédoise ²⁾ à la Suisse conduirait à attribuer 6 pour cent des cas totaux de cancer du poumon au radon. Un calcul de régression ³⁾ effectué en 1992 selon les régions suisses a aussi indiqué pour la plus jeune population une faible corrélation entre le niveau de radon et la mortalité par cancer du poumon. Dans ce cas également, quelques pour cent des cas globaux de cancer du poumon sont attribuables au radon.

En Suisse, le cancer du poumon est à l'origine du décès de 120 femmes et 730 hommes par an et par million d'habitants. Conformément aux recommandations-WHO un risque de cancer du poumon en raison du radon dans les maisons supérieur à 1 cas par mille habitants devrait être exclu; ce risque correspond à une teneur de radon voisine de 1000 Bq par mètre cube. Jusqu'à présent, près de 15000 mesures du radon ont été effectuées dans les maisons ⁴⁾ en Suisse dans le cadre du programme national-Radon "RAPROS" sous la coordination de l'Office fédéral de la santé publique (OFSP).

-
- 1) Cette valeur est inférieure à celle de 2.2 mSv/an indiquée dans les rapports précédents, en raison de l'application du nouveau facteur de dose recommandé pour le radon dans la publication CIPR: *Protection against Radon-222 at home and at work*. Nr. 65; Annals of the ICRP Vol. 23/2. (1993); ISBN 0-08-042475-9. La teneur moyenne du radon dans les maisons suisses reste inchangée à près de 60 Bq/m³
 - 2) *Residential Radon Exposure and Lung Cancer in Sweden*, by G. Pershagen et al. in «The New England Journal of Medicine», Vol. 330/3 (1994) pages 159 - 164.
 - 3) H. Völkle et Ch. E. Minder: *Lungenkrebs und Radon in Wohnräumen* dans «Umweltradioaktivität, Radioökologie, Strahlenwirkung» Jahrestagung des Fachverband für Strahlenschutz, Binz/Rügen/D, 28.-30.9.1993; pages 933 - 938. ISSN 1013-4506, Verlag TÜV-Rheinland, Cologne.
 - 4) *Radon-Programm Schweiz "RAPROS": Bericht über die Ergebnisse der Jahre 1987-1991*; OFSP Berne, Mars 1992; ISBN 3-905235-00-5.

II: Comment la radiation agit-elle sur l'homme ?

La **radiation ionisante** peut en fonction de son type et de son énergie traverser la matière en abandonnant une part de son énergie aux atomes et aux molécules de la substance irradiée. Ce transfert d'énergie est responsable du réchauffement de la substance ainsi que de l'ionisation des atomes et par conséquent de la cassure des liaisons chimiques. Cela peut se traduire dans les tissus biologiques par un dérangement des fonctions cellulaires (p.ex. une cellule devient cancéreuse), par une modification de l'information génétique (p.ex. mutations) ou par la mort des cellules. La radiation alpha, bêta ou gamma n'engendre cependant (contrairement aux particules chargées lourdes ou aux neutrons) aucune radioactivité dans la substance irradiée; ainsi des denrées alimentaires soumises à une irradiation gamma ne deviennent pas radioactives.

Si la source de rayonnements se trouve à l'extérieur du corps humain, on parle d'**irradiation externe**; si les radionucléides parviennent dans le corps à travers l'air respiré et l'alimentation et l'irradient depuis l'intérieur, on parle d'**irradiation interne**. Le calcul des doses d'irradiation d'une personne dépendent pour l'irradiation interne des taux d'inhalation et d'ingestion et pour l'irradiation externe des durées de séjour dans les champs de rayonnements en question. La surveillance porte par conséquent essentiellement sur l'examen des radionucléides présents dans l'air, l'eau et les denrées alimentaires ainsi que sur la radiation ambiante aux endroits où séjournent les personnes. Dans ce rapport, les doses mesurées ont été converties en doses ambiantes équivalentes selon: $1 \text{ Sv} \approx 100 \text{ R}$ resp. $10 \text{ nSv/h} \approx 1 \mu\text{R/h}$.

Relativement à l'origine des doses de rayonnements, on distingue l'exposition **naturelle** et **artificielle** aux rayonnements. L'exposition naturelle concerne le radon dans les maisons, la radioactivité de la croûte terrestre et des matériaux de construction, la radiation cosmique ainsi que les radionucléides naturels présents dans le corps humain. La radioactivité artificielle englobe la retombée des essais nucléaires des années 50 et 60, la contamination causée par l'accident au réacteur de Tchernobyl et également les émissions de radioactivité des centrales nucléaires, des industries et des hôpitaux ainsi que les autres applications médicales et techniques de la radiation et de la radioactivité.

Les effets dus aux rayonnements sont dits "**somatiques**" lorsqu'ils se manifestent p.ex. sous

forme de cancer chez l'individu exposé lui-même et "**héréditaires**" lorsqu'ils affectent sa descendance p.ex. malformations chez les nouveau-nés. L'effet dépend aussi du débit de dose, c'est-à-dire de la dose emmagasinée par unité de temps. Ainsi l'effet d'une dose d'irradiation est plus important pour une irradiation brève de quelques minutes à quelques heures, que lorsque la même dose est répartie sur des mois ou des années.

La Commission internationale de protection radiologique (CIPR) différencie deux types d'effets des rayonnements sur l'homme. Les effets "**stochastiques**", pour lesquels la probabilité d'apparition d'un dommage, comme un cancer et non sa gravité augmente avec la dose, sans seuil inférieur pour la manifestation de l'effet. La CIPR a publié en 1991 des facteurs de risque pour l'apparition de tels dommages à faibles doses, selon lesquels par Sv, sur 100 personnes irradiées, 5 décèdent d'un cancer dû aux rayonnements, resp. par Sv délivré aux parents, sur 100 naissances, une est suivie de graves dommages héréditaires. Le deuxième type d'effets des rayonnements, appelés effets "**déterministes**", sont ceux qui induisent de graves dommages à hautes doses, pour lesquels il peut y avoir un seuil et dont la gravité de l'effet augmente avec la dose. On calcule par exemple lors d'une courte irradiation du corps entier avec 2 Sv resp. 4 Sv, que la moitié des personnes irradiées tombent malades resp. décèdent en quelques semaines.

Ces facteurs de risque donnent pour le **risque somatique de la population** en Suisse les estimations grossières suivantes relativement au nombre annuel des cas mortels de cancer spontané:

- radiation naturelle externe (sans le radon) environ 2 pour cent;
- Radon dans l'habitat environ 5 pour cent des cas de cancer du poumon;
- radiation artificielle (sans la médecine) moins de 0.4 pour cent.

Répercussions génétiques par génération sous forme de dommages héréditaires (mutations dominantes et X chromosomiques) chez la descendance relativement au nombre des naissances viables:

- irradiation naturelle externe (sans le radon) environ 1-6 pour cent;
- dose de rayonnements artificiels (sans la médecine) environ 0.2-1 pour cent.

Ces mesures indiquent une moyenne pondérée de 60 Bq par mètre cube dans les séjours avec des valeurs extrêmes jusqu'à quelques 1000 Bq par mètre cube. Il en résulte que le sous-sol constitue la source essentielle, tandis que le rôle des matériaux de construction et de l'eau potable semble secondaire. Les paramètres principaux sont la teneur en radium du sol et surtout la perméabilité de ce dernier au gaz ainsi que les porosités des sols et des murs dans les étages inférieurs. L'effet de cheminée, provoqué par l'ascension de l'air chaud à l'intérieur des maisons entraînant l'aspiration du radon à partir du sous-sol, est un facteur important. Les concentrations les plus élevées se mesurent en général dans les caves et diminuent dans les étages supérieurs. Les anciennes constructions présentent souvent des valeurs plus élevées que les nouvelles, de même que les villas individuelles et les fermes en comparaison des maisons à plusieurs familles. Des bâtiments, où les valeurs radon sont élevées, peuvent être assainis par des interventions appropriées au niveau de la construction, comme la ventilation active ou passive des locaux de la cave et du sous-sol ou encore le calfeutrage du bâtiment par rapport au soubassement ⁵⁾.

Les sondages effectués dans les habitations suisses dans le cadre du programme RAPROS ⁴⁾ permettent aujourd'hui une détermination fiable des concentrations moyennes de radon et des doses de rayonnements qui en résultent pour le public. Le degré de recensement n'atteint actuellement que 3 pour mille des maisons alors qu'il devrait approcher 1 pour cent. Les nouveaux examens concernent en priorité la recherche des concentrations élevées de radon. Des campagnes régionales correspondantes soutenues par les autorités cantonales sont donc en cours là où des valeurs accrues ont déjà été observées et dans des sites où l'on peut s'attendre à des valeurs élevées en tenant compte des critères géologiques.

4. Résultats de la surveillance de l'environnement pour 1993 (voir chap. B.3.2)

La radioactivité artificielle qui a marqué l'environnement dans son ensemble suite aux essais d'armes nucléaires passés et à l'accident au réacteur de Tchernobyl a progressivement diminué dans l'air, les précipitations, les eaux, le sol et l'herbe au cours des dernières années (voir chap. 3.1). Les valeurs actuelles ont atteint des niveaux tels, que les traces subsistantes sont souvent à peine détectables même avec les techniques de mesures les plus sensibles et que leur contribution à l'exposition aux rayonnements s'avère négligeable.

Dans l'air (voir fig. 1) on décèle encore de faibles traces de césium-137 ⁶⁾ en plus des radio-nucléides naturels comme le béryllium-7, le plomb-210 et les descendants du radon. Les gaz rares radioactifs krypton-85 et argon-37 témoignent du retraitement des combustibles irradiés respectivement des essais souterrains d'armes nucléaires (voir chap. 3.2).

5) Les recommandations concernant des interventions au niveau de la construction pour l'assainissement radon des maisons peuvent être obtenues auprès de la Division radioprotection de l'Office fédéral de la santé publique, Berne.

6) Immédiatement après l'accident au réacteur de Tchernobyl, des valeurs momentanées de quelques Bq de césium-137 par mètre cube ont été mesurées.

Figure 1

Radionucléides dans l'air extérieur
1993

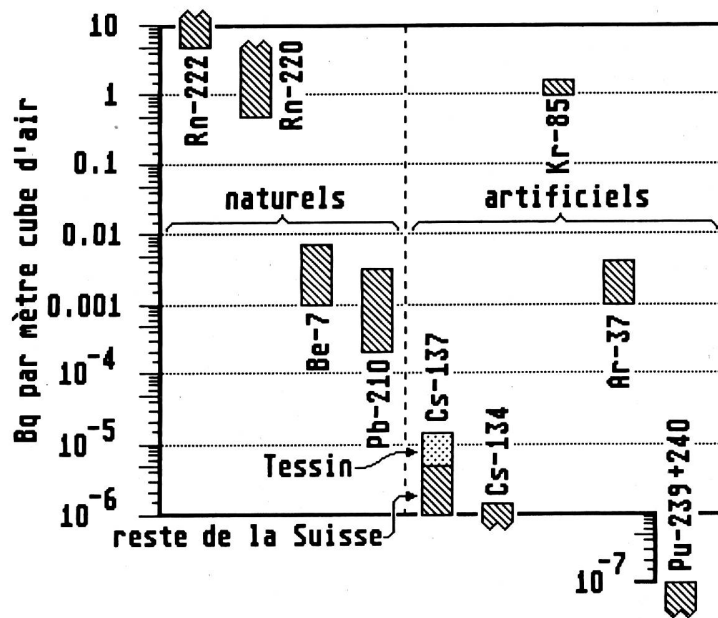


Figure 2

Radionucléides dans la pluie
1993

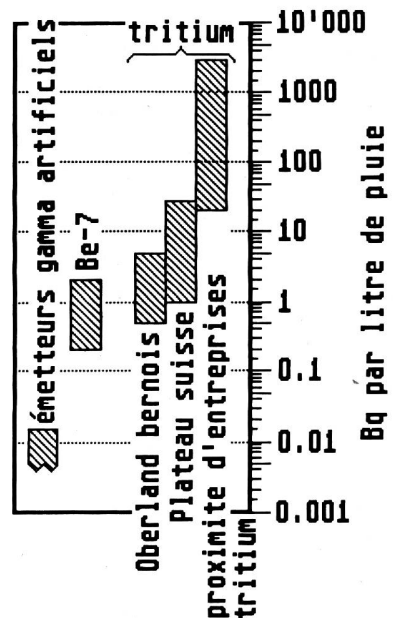


Figure 3

Radionucléides dans l'herbe 1993

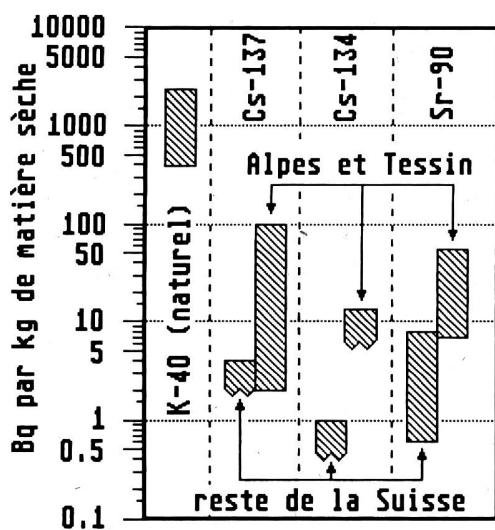
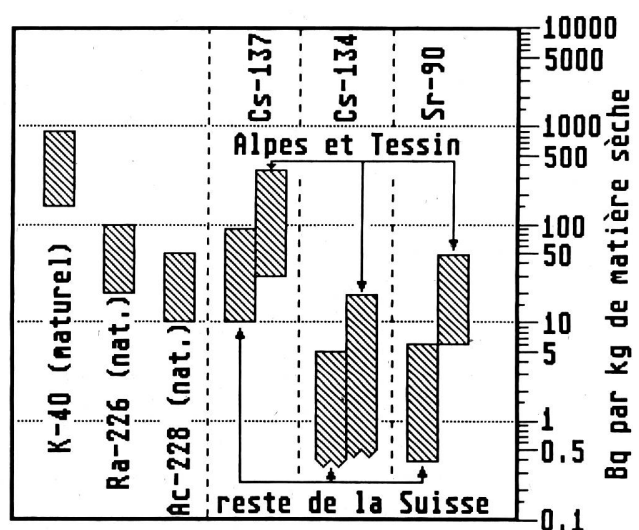


Figure 4

Radionucléides dans le sol 1993



Le carbone-14 produit par la radiation cosmique présente dans la biosphère des concentrations accrues d'environ 13% par rapport au niveau naturel en raison des anciens essais d'armes nucléaires (voir chap- 3.2). Dans le voisinage immédiat des centrales nucléaires, on observe une augmentation additionnelle de ces concentrations de l'ordre de 10% en conséquence des émissions radioactives. Dans les **précipitations** (voir fig. 2), la teneur en tritium ne représente actuellement que quelques Bq par litre, alors qu'elle avait augmenté jusqu'à plusieurs centaines de Bq par litre suite aux essais thermonucléaires des années 60. Dans le proche voisinage des entreprises traitant du tritium, on constate toutefois des valeurs tritium partiellement accrues. D'autres radionucléides artificiels ne sont guère plus détectables dans la pluie.

Dans le **sol** et **l'herbe** (voir fig. 3 et 4), le césium-137 témoigne essentiellement de l'accident de Tchernobyl et le strontium-90 des essais nucléaires (voir chap. B.3.1 et B.3.6). Le transfert progressif du césium dans les couches plus profondes du sol montre que la part Tchernobyl prédomine en 1993 dans les 10 premiers cm alors qu'au-delà de cette profondeur on retrouve avant tout le césium des essais nucléaires. On observe un comportement particulier quant au transfert du césium dans les sols ruraux, où il peut être homogénéisé jusqu'à 30 cm suite au labourage ou au hersage, ainsi que dans certains sols forestiers où il peut rester fixé durablement dans la couche supérieure. Cela explique dans ce dernier cas une contribution supérieure du césium à l'exposition externe par rapport à un sol au transfert plus favorable.

La surveillance du milieu aquatique englobe les **eaux de surface et de la nappe phréatique, les poissons, les végétaux aquatiques, les sédiments et les eaux usées des stations d'épuration et des dépotoirs** ⁷⁾. Dans les prélèvements réguliers d'eaux de rivières (voir fig. 5), le tritium reste en général le seul radionucléide artificiel détectable. Les échantillons mensuels témoignent en partie de l'influence de l'industrie des peintures luminescentes et d'installations nucléaires sur la teneur en tritium (voir chap. B.3.4). Les sédiments indiquent des contributions césium en premier lieu attribuables à l'accident au réacteur de Tchernobyl et des traces des rejets liquides en aval des centrales nucléaires. Les boues d'épuration signalent la présence du iode-131 issu des hôpitaux (voir paragraphe 6).

La surveillance de la **radioactivité des denrées alimentaires** (voir fig. 6) s'opère en étroite collaboration avec les laboratoires cantonaux (voir chap. B.3.5). Dans les aliments de base comme le lait, les céréales et la viande, la radioactivité artificielle, c'est-à-dire le césium-134, le césium-137 et le strontium-90, est faible et même le plus souvent inférieure au seuil de détection pour les régions du nord des Alpes. Les concentrations de césium dans le gibier, sont en recul même si certaines valeurs accrues restent perceptibles en conséquence de l'accident de Tchernobyl. Ce recul n'apparaît pas dans certains champignons sauvages indigènes, en particulier les bolets bails et les pholiotas ridés, qui montrent encore des valeurs isolées de césium-137 jusqu'à 1500 Bq/kg. En regard des taux restreints de consommation de ces aliments, les doses qui résultent de leur ingestion restent faibles. L'exposition aux rayonnements des radionucléides artificiels présents dans les aliments en Suisse ne représente en 1993 que quelque millième de mSv pour des personnes dont le mode d'alimentation correspond au standard moyen suisse. La consommation régulière des eaux minérales couramment commercialisées n'entraîne pas en raison de leur faible contenu de radionucléides naturels des doses supérieures à quelques centièmes de mSv par an ⁸⁾ comme l'ont confirmé les analyses en 1991.

7) Pour le voisinage des installations nucléaires, resp. des entreprises et des hôpitaux consulter aussi le paragraphe 5 resp. 6.

8) Consulter le rapport annuel OFSP sur la radioactivité de l'environnement pour 1991, chap. 3.5.A: *Natürliche Radionuklide der Uran- und Thorium-Zerfallsreihen in Mineralwässern*.

Figure 5

Radioactivité dans les rivières 1993

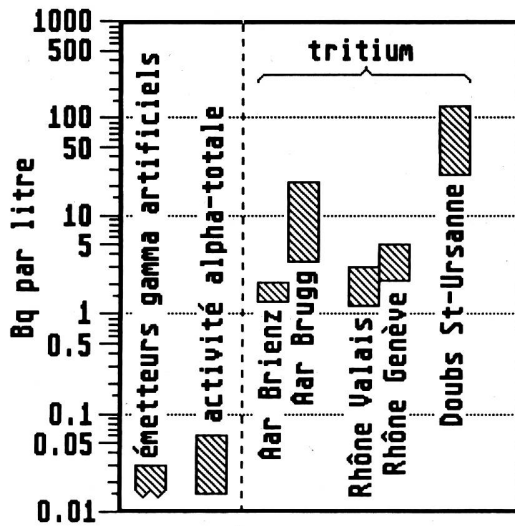


Figure 6

Radioactivité dans les aliments de base 1993

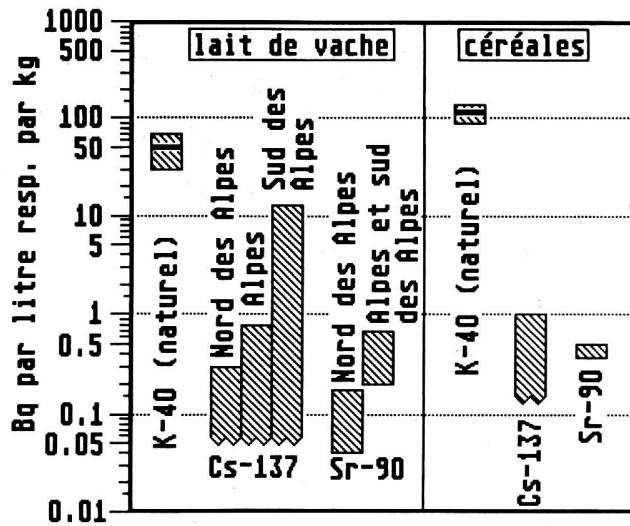


Figure 7

Dépôts de césium-137

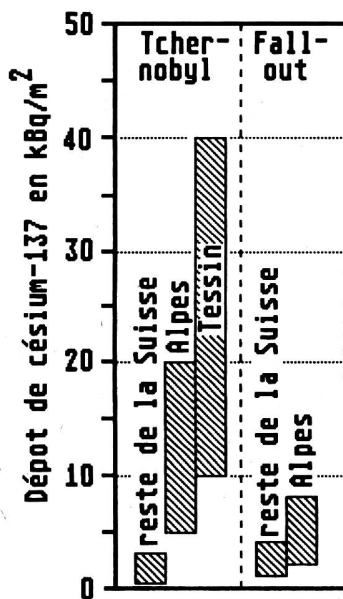
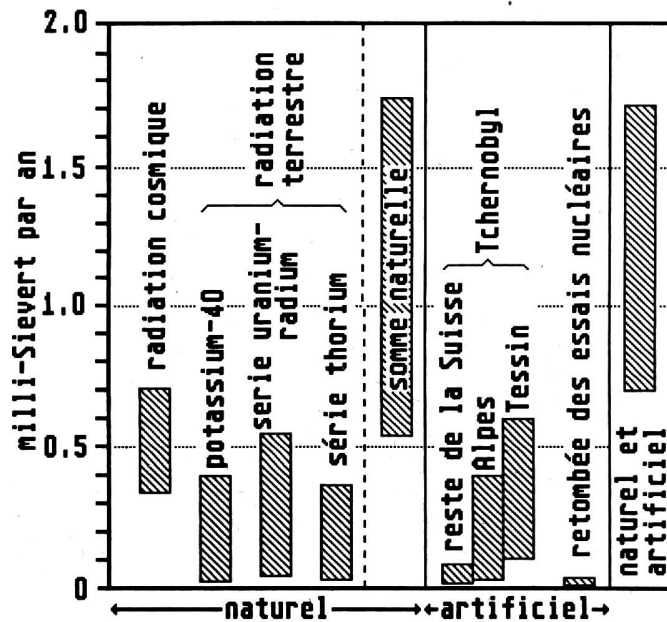


Figure 8

Contributions à la dose ambiante en plein air 1993



Les **doses ambiantes en plein air** (voir fig. 7 et 8), qui sont recensées par le réseau national automatique NADAM (voir chap. B.3.8) et par des mesures additionnelles indiquent des valeurs jusqu'à 1.8 mSv par an dans les Alpes et approximativement 1 mSv pour le reste de la Suisse. La contribution du césium-137 issu de Tchernobyl représente encore aujourd'hui jusqu'à 0.6 mSv par an au Tessin, de 0.1 à 0.4 mSv dans les Alpes, certaines contrées jurassiennes et alémaniques resp. 0.01 à 0.1 mSv par an sur le reste du territoire (voir chap. B.3.3). Un recul de cette contribution d'environ 3 pour cent par an a été observé au cours des 6 dernières années dans les stations NADAM.

A **l'intérieur des bâtiments** (voir chap. 3.12), l'augmentation de la dose des rayonnements attribuable aux matériaux de construction l'emporte globalement sur l'atténuation par les murs des rayonnements présents en plein air. Cela explique que le rapport de la dose externe dans les maisons à celle en plein air, appelé "Housing-Faktor" est en moyenne voisin de 1.2. Si l'on admet un séjour à l'intérieur des maisons de 80 pour cent, on obtient en moyenne pour l'exposition externe aux rayonnements de la population suisse près de 0.8 mSv par an. Cette constatation a été confirmée par des mesures du débit de dose dans les maisons du canton de Fribourg et par des analyses des radionucléides contenus dans les matériaux de construction.

Les **mesures de la radioactivité dans le corps humain** (voir fig. 9) constituent l'ultime contrôle de la surveillance globale: il s'agit des déterminations du strontium-90 dans les dents de lait ainsi que dans les vertèbres de personnes décédées et de mesures du césium-137 chez les travailleurs et les collégiens (voir chap. B.3.6 et B.3.7). Le strontium a un comportement physiologique analogue au calcium et se fixe donc préférentiellement dans le squelette et les dents alors que le césium dont le métabolisme est semblable à celui du potassium se fixe surtout dans le tissu musculaire. La concentration moyenne du strontium-90, rapportée au contenu de calcium, est voisine de 0.024 Bq par gramme de calcium dans les dents de lait et 0.056 Bq par gramme de calcium dans les vertèbres. La dose interne correspondante représente 0.002 mSv par an. Les valeurs du césium-137 mesurées sur des collégiens de Genève sont en moyenne voisines de 8 Bq par kg de poids du corps chez les filles et respectivement 18 Bq par kg de poids du corps chez les garçons. Il en résulte une dose interne de rayonnements inférieure à 0.001 mSv par an.

5. Voisinage des installations nucléaires (voir chap. B.4)

Les autorisations d'exploitation des centrales nucléaires de Beznau, Gösgen-Däniken, Leibstadt et Mühleberg et de l'Institut Paul Scherrer (PSI) fixent des limites de rejets telles que la dose pour une personne de leur voisinage ne puisse excéder 0.2 mSv/an. Les exploitants sont tenus de surveiller et de balancer en permanence leurs rejets radioactifs atmosphériques et liquides dans l'environnement (voir chap. B.4.1). La Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN) contrôle ces données par de propres mesures et calcule les doses maximales de rayonnements qui en résultent pour la population avoisinante⁹⁾. Les installations nucléaires ont respecté en 1993, à deux exceptions près (voir paragraphe suivant), leurs limites annuelles.

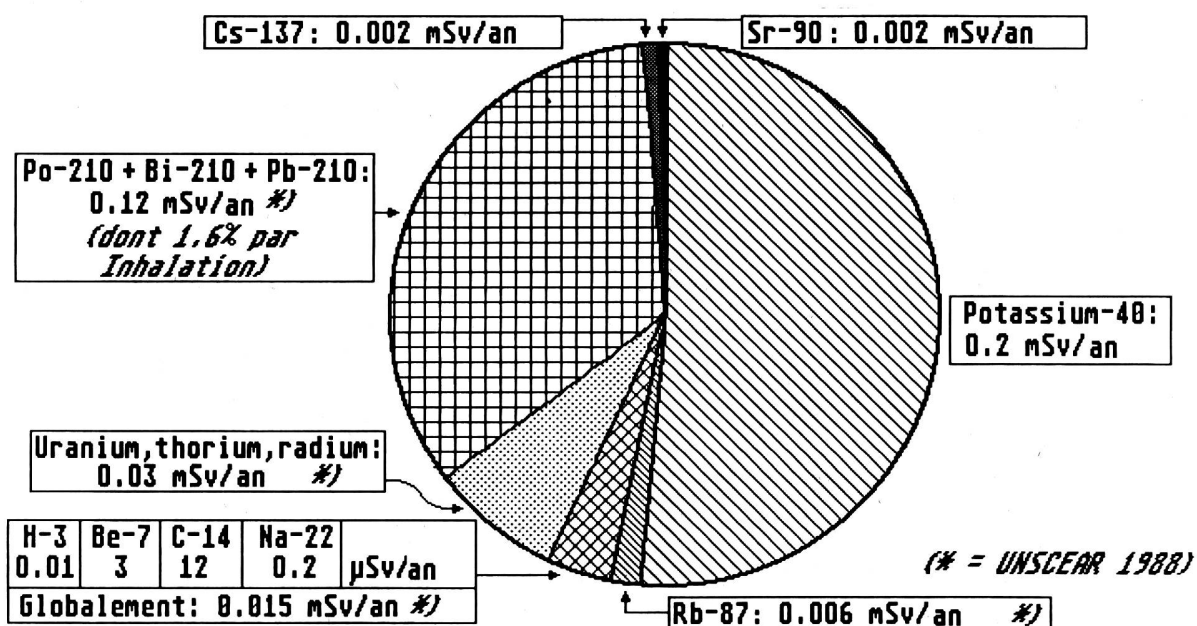
9) Voir *Bericht über die schweizerischen Kernanlagen im Jahre 1993*. Rapport HSK-AN-2661/KSA-AN-1786 de mai 1994. Division principale de la sécurité des installations nucléaires, Villigen-PSI.

III: Qui est compétent pour la surveillance ?

Conformément à l'**Ordonnance sur la radioprotection**, c'est l'Office fédéral de la santé publique (OFSP) qui est compétent pour la surveillance de la **radioactivité de l'environnement**. Cet office collabore pour les prélèvements et les mesures avec d'autres instances et laboratoires de la Confédération, avec les hautes écoles ainsi qu'avec les laboratoires cantonaux, en particulier pour la surveillance des denrées alimentaires. Les mesures concernant le voisinage des installations nucléaires (voir fig. 12) et des industries qui manipulent des substances radioactives se font en collaboration avec les instances de contrôle respectives, la Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN) et la Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents (CNA). Cette dernière est compétente pour l'utilisation des radionucléides dans l'industrie, le commerce et l'artisanat, tandis que le contrôle sur les applications en médecine, recherche et enseignement relève de l'OFSP. Les résultats de la surveillance de l'environnement et les doses qui en résultent pour la population sont publiés dans les rapports annuels de l'OFSP.

Les **compétences pour le cas de catastrophe**, lors d'une mise en danger de la population en cas d'augmentation de la radioactivité, en conséquence d'explosions nucléaires, d'accidents de centrales nucléaires, de l'industrie et de transport avec matériel radioactif, de chutes de satellites à réacteur nucléaire etc. sont réglementées dans l'**Ordonnance relative à l'organisation d'intervention en cas d'augmentation de la radioactivité** (OROIR) du 26 juin 1991. Cette organisation d'intervention (OIR) comprend la Centrale nationale d'alarme (CENAL) constamment prête à l'engagement; en cas de nécessité, elle peut être renforcée par des spécialistes, le Comité directeur radioactivité (CODRA), qui apprécie en permanence la situation et oriente le Conseil fédéral sur la mise en oeuvre des mesures à prendre. Elle dispose aussi d'une organisation de prélèvement et de mesure s'appuyant sur les réseaux automatiques et les laboratoires pour le recensement continu de la situation radiologique dans tout le pays. La mise en oeuvre des mesures de protection vise à maintenir faible le risque sanitaire de la population après un événement avec radioactivité accrue et se base sur le Concept suisse des mesures à prendre en fonction des doses (CMD).

Figure 9 Doses internes de rayonnements 1993: 0.38 mSv/an
Doses moyennes de rayonnements par des radionucléides dans le corps
(sans les descendants directs du radon)



L'exposition maximale aux rayonnements est restée inférieure à 0.015 mSv pour la population avoisinante de la centrale de Mühleberg resp. 0.006 mSv pour celle des centrales de Beznau, Gösgen-Däniken et Leibstadt. Concernant les trois dernières centrales mentionnées, les rejets de carbone-14 représentent en proportion la contribution majeure à la dose. Pour le voisinage de l'Institut Paul Scherrer, les doses maximales calculées à partir des rejets représentent pour la population avoisinante 0.012 mSv par an.

Trois événements, dont deux avec dépassement des limites de rejets court terme dans l'environnement sont à signaler auprès du PSI. Le 31 août 1993 environ 150 GBq de xénon-123 ont été relâchés, comme déjà en 1992, par la production des isotopes du PSI-Ouest. Ce rejet correspond à près de 80 pour cent de la limite des rejets de courte durée; il en est résulté une dose additionnelle pour la population avoisinante d'au maximum 0.001 mSv. Le 1^{er} septembre 1993 un rejet accru de tritium (170 GBq sous forme HTO) a eu lieu au laboratoire pour les déchets radioactifs. La limite de rejets courte durée a été dépassée d'un facteur 2.7; la dose maximale calculée pour la population avoisinante s'est située autour de 0.004 mSv. Dans la semaine du 25 novembre au 2 décembre 1993, un nouveau rejet accru de tritium de 1250 GBq (trois fois supérieur à la limite de rejets court terme) s'est déroulé à la station d'incinération pour déchets radioactifs du PSI, induisant une dose maximale à la population avoisinante de 0.012 mSv. Il s'en est suivi comme mesure d'urgence, l'arrêt immédiat de l'incinération de déchets contenant du tritium et l'installation d'un système de surveillance continue de la teneur en tritium des gaz de fumée. Une amélioration du tri préalable des déchets à incinérer s'est également imposée.

A l'ancienne centrale expérimentale de **Lucens**, dont la caverne a été bétonnée en 1992, une surveillance d'une année a été poursuivie au niveau de la quantité et des caractéristiques radiologiques et chimiques des eaux de drainage.

La **surveillance du voisinage des installations nucléaires** (voir chap. B.4.2 et B.4.3) s'opère en étroite collaboration entre la Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN), l'Office fédéral de la santé publique (OFSP/SUER) et d'autres institutions. Le programme de mesure et les méthodes impliquées concernent, outre les doses ambiantes, la radioactivité du sol, de l'herbe, des céréales, du lait et d'autres produits agricoles ainsi que des eaux de rivières et de la nappe phréatique, des poissons, des végétaux aquatiques et des sédiments; ces analyses sont complétées par des mesures in situ, des sondages aéroradiométriques (voir chap. 3.9) et des analyses de carbone-14 dans les feuillages (voir chap. 3.2). La surveillance de la radioactivité effectuée dans le voisinage des installations nucléaires dans l'année couverte par ce rapport n'a indiqué aucune concentration ou dose supérieures aux valeurs directrices.

L'influence des centrales nucléaires est faiblement perceptible au niveau du rayonnement direct auprès des réacteurs à eau bouillante ainsi que dans les sédiments et les végétaux aquatiques prélevés dans les rivières en aval des installations. Il en va de même pour le voisinage du PSI à la suite des incidents mentionnés précédemment. Des augmentations du carbone-14, rapportées ci-après au fond naturel, sont également mesurables dans le proche voisinage des installations nucléaires: 80 à 120 pour mille auprès de Leibstadt (KKL), 100 pour mille auprès de Beznau et de l'Institut Paul Scherrer (KKB/PSI) et 120 à 470 pour mille à proximité immédiate du réacteur SAPHIR du PSI. L'impact de ces injections de radioactivité dans l'environnement par les émissions des installations nucléaires sur l'exposition aux rayonnements de la population est insignifiant du point de vue radiologique.

IV: Que surveille-t-on et qui conduit les mesures ?

a) Objectifs du programme de mesure

- Surveillance de la distribution spatio-temporelle de la **radioactivité de l'environnement**, afin de suivre les évolutions à long terme et l'accumulation des radionucléides.
- Surveillance de **l'impact** des radiocnucléides artificiels sur l'environnement, en particulier à proximité des installations nucléaires, des entreprises et des hôpitaux, afin de contrôler le respect des valeurs limites d'impact.
- Etablissement des **doses de rayonnements de la population** en conséquence des sources artificielles et naturelles. Une importance particulière est accordée au radon dans l'habitat.

b) Réseaux automatiques de mesure et d'alarme (voir fig. 13)

- Le réseau NADAM constitué de 58 stations enregistre en permanence les débits de dose ambiante sur l'ensemble du territoire suisse; la centrale des données se trouve à la CENAL à Zurich.
- Le réseau MADUK surveille les débits de dose ambiante dans le proche voisinage des centrales nucléaires en 12 à 18 stations auprès de chaque centrale; la responsabilité de son exploitation et le traitement des données relèvent de la DSN.
- Le réseau RADAIR surveille la radioactivité de l'air en 10 stations de la Suisse et une dans la Principauté du Liechtenstein; ce réseau est en cours de réalisation et remplacera les appareils actuels de mesure, qui ne sont pas dotés d'une transmission télématique. C'est la section de surveillance de la radioactivité de l'OFSP qui a la compétence d'exploiter ce réseau.

c) Autres mesures de routine

Les précipitations, les aérosols de l'air et l'eau des rivières de plusieurs sites répartis dans le pays ainsi que les eaux usées des stations d'épuration des agglomérations de Zurich, Bâle, Berne et Lausanne sont collectés en continu, puis examinés régulièrement au laboratoire. A cela s'ajoute l'analyse au laboratoire des échantillons de sol, d'herbe, de lait, de céréales et autres denrées alimentaires, d'eaux souterraines, de poissons, de végétaux aquatiques et de sédiments, qui sont prélevés de façon systématique dans tout l'environnement. L'ultime maillon du contrôle de la radioactivité s'opère sur l'homme par le biais des mesures de césium dans le corps entier et des analyses du strontium-90 dans les dents de lait et les vertèbres de personnes décédées. Des programmes particuliers sont menés à proximité des installations nucléaires (voir fig. 12) et des entreprises manipulant des radio-isotopes ainsi que pour le radon dans les maisons et le rayonnement naturel.

d) Organismes participant aux prélèvements et aux mesures:

- Les **instances d'autorisation et de contrôle**: Office fédéral de la santé publique (OFSP); Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN) et Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents (CNA).
- Les **laboratoires cantonaux** pour la surveillance des denrées alimentaires.
- **Autres institutions de la Confédération**: Centrale nationale d'alarme (CENAL); Institut de Géophysique de l'EPF-Zurich; Institut Paul-Scherrer, Division Strahlenhygiene (PSI); Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux (EAWAG); Laboratoire AC de l'armée; Service hydrologique et géologique national de l'OFEPF; Institut fédéral de chimie agricole et de l'hygiène de l'environnement (FAC).
- **Instituts universitaires**: Institut de radio-physique appliquée (IRA) à Lausanne; Université de Berne; Hôpital cantonal de Genève; Hôpital de l'île, Berne; Hôpital cantonal de Bâle.

La DSN a mis en service fin 1993 un réseau automatique de surveillance du débit de dose ambiante dans le voisinage des centrales nucléaires suisses. Ce réseau (MADUK) est constitué pour chaque site nucléaire de 12 à 18 stations de mesures équipées de compteurs Geiger-Müller. La DSN collecte les données, qui sont également directement accessibles pour la CENAL et la SUER. Ce réseau doit contribuer à informer rapidement les autorités et la population sur la situation radiologique; il doit en particulier permettre une appréciation rapide de la situation en cas d'événements.

Le projet débuté par l'EAWAG en 1993 sur demande de la DSN, concernant le comportement des radionucléides des eaux de rejet des centrales nucléaires dans les rivières et les sédiments, a déjà indiqué des résultats intéressants. Une des observations montre par exemple qu'une proportion considérable du cobalt-60 reste en solution, resp. liée à des particules $< 0.2 \mu\text{m}$. Il en résulte un transport du cobalt-60 avec l'eau sur des distances supérieures à celles admises jusqu'alors (voir chap. B.3.10).

6. Voisinage des entreprises et des hôpitaux (voir chap. B.5)

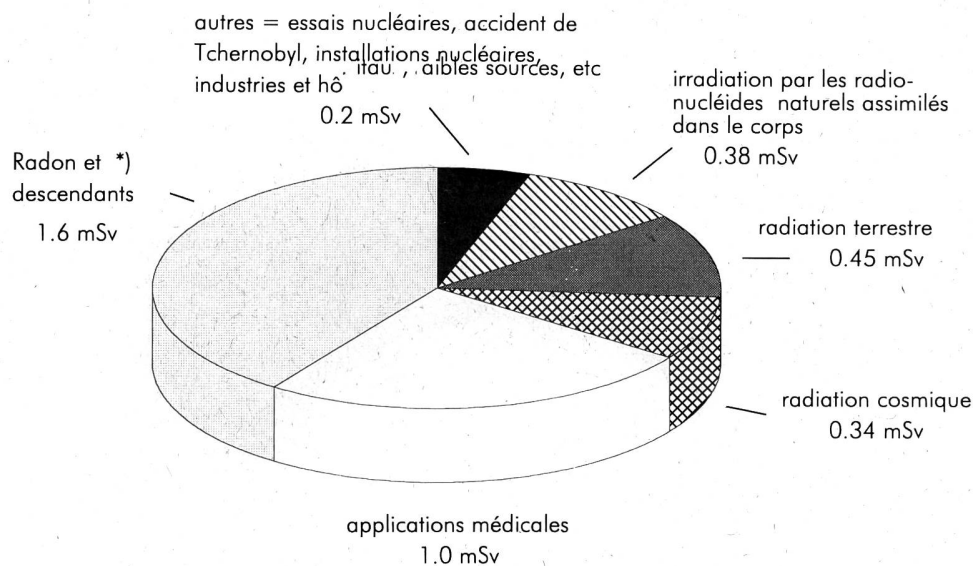
Les entreprises qui manipulent des substances radioactives doivent posséder une **autorisation**. L'Office fédéral de la santé publique (section contrôle des entreprises) surveille les entreprises médicales et les instituts de recherche et d'enseignement. La Caisse nationale suisse d'assurance (CNA, section physique) surveille les entreprises industrielles et artisanales, les laboratoires analytiques ainsi que les institutions correspondantes de l'administration publique.

L'autorité de surveillance oblige les entreprises qui traitent d'importantes quantités à déclarer un bilan des rejets de substances radioactives. Suivant le cas une surveillance correspondante de l'environnement peut également être exigée (précipitations, eaux superficielles, sources etc.). Il en est ainsi auprès des fabriques Radium-Chemie à Teufen/AR et mb-Microtec à Niederwangen/BE, qui produisent des peintures luminescentes au tritium resp. des sources luminescentes-gaz tritium. Une surveillance de l'environnement est également effectuée à La Chaux-de-Fonds, où l'industrie horlogère traite des peintures luminescentes.

Les **entreprises industrielles**, qui doivent communiquer un bilan de rejets à la CNA, ont respecté en 1993 les limites fixées pour les rejets de substances radioactives dans l'environnement (voir chap. B.5.1). Les mesures à proximité des entreprises dans la région de La Chaux-de-Fonds et à Teufen/AR ne signalent certes aucune valeur supérieure aux valeurs directrices ¹⁰⁾ mais confirment cependant une tendance à l'augmentation du tritium dans les précipitations ces dernières années. L'activité dans les pluies à Teufen a atteint jusqu'à 3 kBq/l en 1993 et jusqu'à 0.3 kBq/l à La Chaux-de-Fonds. Dans le canal d'écoulement de la station d'épuration de La Chaux-de-Fonds, les concentrations de tritium en 1993 n'ont jamais dépassé 12 kBq/l ¹⁰⁾. L'écoulement annuel de tritium à travers la station d'épuration d'environ 30 TBq en 1993 est sensiblement inférieur à celui de l'année précédente; celui du Doubs à St. Ursanne peut être estimé à près de 50 TBq.

10) L'ancienne ordonnance concernant la protection contre les radiations fixe la valeur directrice pour les eaux accessibles au public à 12000 Bq/l (Cw300 selon Art. 107); la nouvelle ordonnance sur la radioprotection du 1er octobre 1994 maintient une valeur de 12000 Bq/l (LA/50).

Figure 10: Dose effective moyenne de la population suisse en milli-Sievert 1993

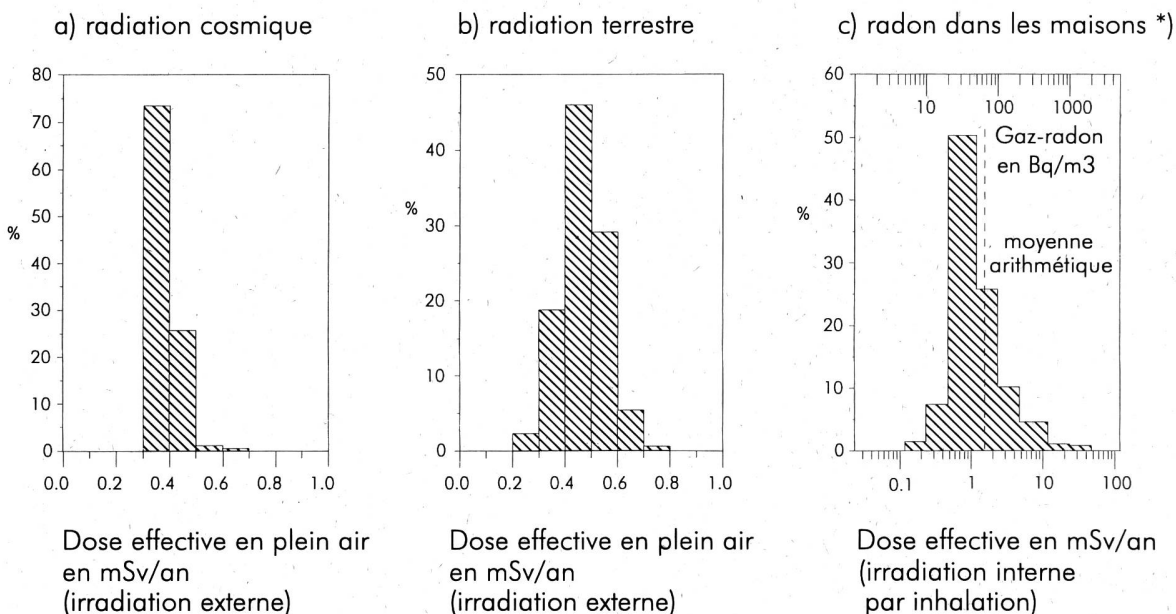


*) Pour le radon, un nouveau facteur de dose a été utilisé conformément aux dernières recommandations de la CIPR (voir page A.22)

Figure 11: Fréquence approximative de distribution des doses de rayonnements en Suisse

Données pondérées par la distribution de la population sur la base des mesures disponibles jusqu'en 1991
Valeurs radon corrigées relativement au type de bâtiment, à la distribution de la population et à la différence été/hiver

On remarque l'important domaine de variation de la dose-radon (échelle logarithmique !)



Les échantillons de pluie au voisinage de Niederwangen ont indiqué des concentrations de tritium comprises entre 0.02 et 0.9 kBq/l et jusqu'à 0.027 (en moyenne annuelle 0.006) kBq/l à la station de Berne distante de 6 km; 3 à 18 Bq/m³ ont été enregistrés dans l'humidité de l'air à Niederwangen. Des échantillons supplémentaires d'eau, de lait et de légumes prélevés alentour de mb-Microtec ont présenté jusqu'à 15 kBq/l, avec des valeurs nettement inférieures lorsque l'on s'éloigne de l'entreprise (voir chap. B.5.3 et B.5.4). Ces mesures ont confirmé les analyses d'urine effectuées par le passé pour des résidents de cette entreprise, qui avaient conclu à des doses maximales de 0.03 mSv par an.

Les rejets des **hôpitaux** des grandes agglomérations de Zurich, Bâle, Berne et Lausanne sont surveillés régulièrement sur la base d'échantillons cumulés provenant des stations d'épuration (voir chap. B.5.2). Cette surveillance porte essentiellement sur le iode-131 intervenant dans les traitements de la glande thyroïde. Les échantillons cumulés et en partie les boues d'épuration indiquent souvent des traces de iode-131 en plus des contributions du tritium décelables dans l'eau. Dans l'écoulement de la STEP de Berne, les valeurs du iode-131 sont restées inférieures à 5 Bq/l en 1993. Le bilan de l'écoulement de iode-131 effectué à la STEP de Berne sur la base des échantillons cumulés hebdomadaires, soit près de 40 GBq pour 1993, coïncide avec les données de rejet communiquées par l'hôpital de l'Ile, si l'on tient aussi compte des quantités d'iode administrées lors des traitements ambulatoires. Ces derniers constituent la part prépondérante de l'écoulement de iode pour l'agglomération de Berne, tandis que les rejets contrôlés des bassins de rétention de la médecine nucléaire de l'hôpital de l'Ile à Berne n'en représentent que quelques pour cent. Les écoulements de iode sont nettement inférieurs auprès des villes de Zurich, Bâle et Lausanne, pour lesquelles les valeurs ne dépassent généralement pas le seuil de mesure compris entre 0.1 et 0.5 Bq/l suivant les laboratoires de mesure.

Comme dans tous les cas précités, ces eaux usées ne sont pas destinées à la consommation et sont de surcroît fortement diluées après leur passage dans l'Aar resp. dans le Doubs, on peut exclure des **doses** inadmissibles de **rayonnements** pour la population. La surveillance de l'environnement des entreprises n'a signalé aucun impact inadmissible et les doses de rayonnements à la population résultant de leurs rejets de radioactivité sont nettement inférieures aux valeurs directrices correspondantes.

Le radium de cadrans lumineux, de flacons d'eau de cure et de paratonnerres, qui dataient encore de l'époque antérieure à l'entrée en vigueur de l'ordonnance concernant la protection contre les radiations de 1976, a été détecté en 1993 dans des **chargements de vieux métaux** destinés à l'exportation en Italie. Ces chargements contenaient en outre des sources de rayonnements de détecteurs (autorisés) de fumée et des fragments métalliques provenant d'installations d'accélérateurs. Ces sources de rayonnements de faible activité n'ont constitué aucune mise en danger pour les personnes et l'environnement. L'OFSP a introduit en collaboration avec la CNA et les quincailliers des mesures qui devraient empêcher à l'avenir que des substances radioactives soient assimilées aux vieux métaux ¹¹⁾.

11) Voir aussi Bulletin-OFSP Nr. 47/93 du 6.12.1993, page 857

Figure 12

Surveillance de l'environnement à proximité de la CN de Gösgen-Däniken

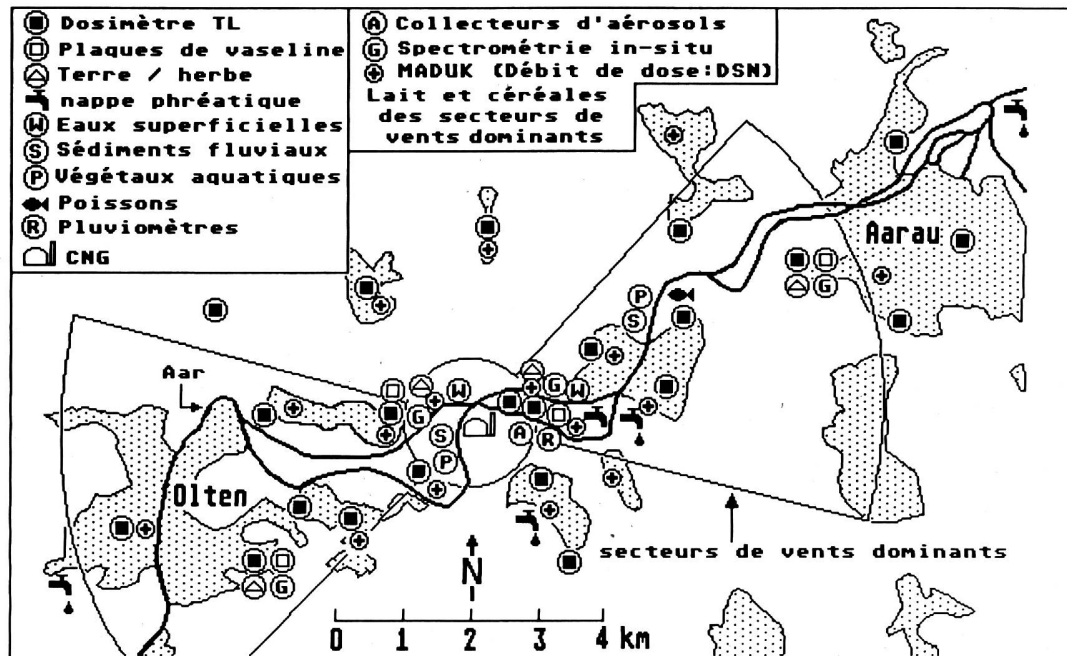
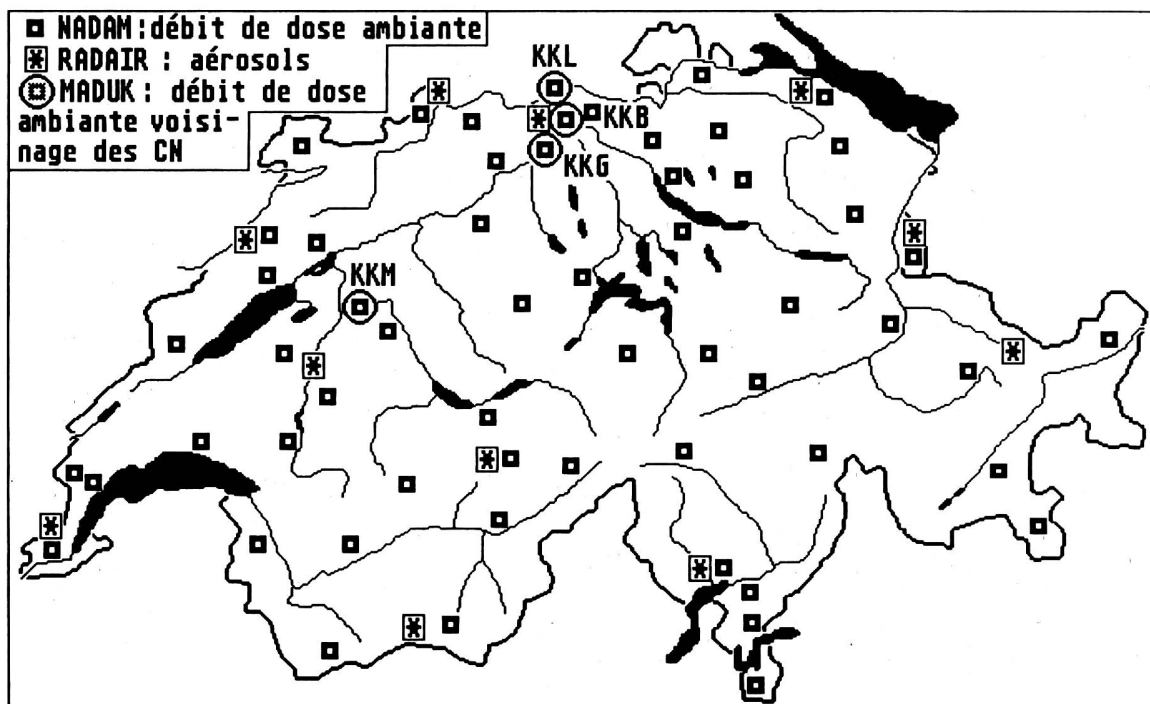


Figure 13

Réseaux automatiques de surveillance en Suisse (CN = centrale nucléaire)



7. Appréciation du programme de surveillance

La surveillance de la radioactivité a pour objectif premier la détermination des doses de rayonnements de la population; mais elle doit aussi poursuivre l'examen de l'accumulation des radionucléides dans l'environnement et des évolutions à long terme ainsi que le contrôle de l'impact radiologique des installations nucléaires et des entreprises sur l'environnement.

Les activités provenant de la **radioactivité artificielle** répandue à grande échelle dans l'**environnement** sont faibles aussi bien dans l'air que dans les précipitations, les eaux et les sols. Leur détection nécessite le plus souvent un important investissement de mesure et des méthodes Low-Level. La rénovation et l'automatisation de la surveillance de la radioactivité des aérosols par un réseau télématique (**RADAIR**¹²⁾) entreprise en 1992 a été poursuivie. L'examen des régions où le risque radon est élevé, reste l'objectif prioritaire du **programme-radon**. Cet examen est complété par des études relatives à l'origine et au transport du radon dans le sol, par l'expérimentation de mesures d'assainissement dans les maisons à fortes concentrations de radon ainsi que par l'élaboration des recommandations correspondantes à l'intention de l'industrie du bâtiment. Une priorité sera donnée dès 1994 à l'exécution des prescriptions radon de la nouvelle ordonnance en collaboration avec les autorités cantonales. La surveillance de la radioactivité des **denrées alimentaires** couvre l'ensemble du territoire grâce à l'engagement des laboratoires cantonaux. Le programme de surveillance pour le **voisinage des installations nucléaires** et les méthodes de détection impliquées sont adaptés au standard des connaissances et des techniques actuelles. L'entrée en service du réseau MADUK fin 1993 offre une redondance supplémentaire dans cette surveillance. Un projet de l'EAWAG (voir chap. 3.10) laisse entrevoir une meilleure compréhension du comportement des rejets radioactifs liquides dans les eaux et les sédiments en aval des centrales. Les contrôles au niveau des eaux usées et des stations d'épuration ont été intensifiés auprès des hôpitaux où l'utilisation de l'iode est importante. Il en va de même auprès des **industries** traitant du tritium.

8. Les doses de rayonnements de la population 1993 (tab. 1; fig. 10 et 11)

L'exposition moyenne aux rayonnements provient en majeure partie, comme par le passé, du radon et de ses descendants principalement dans les maisons. La moyenne arithmétique pondérée de 1.6 mSv/an donnée dans le tableau page A.38 est inférieure à la valeur de 2.2 mSv indiquée dans les rapports précédents. Cette différence incombe uniquement à l'utilisation du nouveau facteur de dose radon de la CIPR.

Les autres **contributions naturelles à la dose** proviennent de la radioactivité de la croûte terrestre et des matériaux de construction, à laquelle s'ajoute la radiation cosmique et les radionucléides naturels assimilés dans le corps. Parmi ces derniers le potassium-40 radioactif prédomine; sa proportion dans le potassium naturel est de 0.12 pour mille. Il se fixe préférentiellement dans les tissus musculaires. Les radionucléides naturels assimilés dans le corps représentent en moyenne 0.38 mSv par an. En comparaison la dose induite par les radionucléides artificiels suite à l'ingestion d'aliments est inférieure à 0.01 mSv par an.

12) Voir L. Ribordy, Ch. Murith & H. Völkle: *Das Schweizerische RADAIR-Projekt: Ein automatisches Netz zur Überwachung der Radioaktivität der Luft*, dans «Umweltradioaktivität, Radioökologie, Strahlenwirkung» Jahrestagung des Fachverband für Strahlenschutz, Binz/Rügen/D, 28.-30.9.1993; pages 173 - 177. ISSN 1013-4506, Verlag TÜV-Rheinland à Cologne.

Les doses de rayonnements provenant de **sources artificielles** incombent essentiellement aux applications médicales des radiations ¹³⁾. Le tableau 1 indique l'exposition moyenne de la population due aux radiodiagnostic et à l'utilisation des radionucléides en médecine nucléaire. Les doses individuelles dépendent néanmoins fortement du type et de la fréquence des examens.

Les répercussions de l'accident au réacteur de **Tchernobyl** ainsi que la retombée des anciens essais d'armes nucléaires contribuent encore faiblement aux doses de rayonnements, essentiellement en raison de la contamination du sol par le césium-137 resp. en conséquence de son ingestion avec la nourriture.

La contribution des autres "faibles sources", inhérentes à la civilisation de par la présence de petites quantités de radionucléides dans des objets utilitaires et dans les biens de consommation, peut être grossièrement approximée à 0.1 mSv/an. Dans cette catégorie figurent entre autres les montres à cadran lumineux au tritium, les carrelages, les manchons des lampes à incandescence ou la céramique dentaire qui renferment des radionucléides naturels, les paratonnerres ou même le tabac en raison de l'inhalation du polonium-210 et les vols de lignes ¹⁴⁾ par les doses accrues de la radiation cosmique. Cette dernière occasionne par exemple à des altitudes de 10 à 12 km des débits de dose de 5 à 8 µSv/heure, ce qui représente pour le personnel naviguant des doses additionnelles de rayonnements d'environ 5 mSv par an.

Les doses de rayonnements calculées à partir des **émissions des installations nucléaires, de l'industrie et des hôpitaux** sont très faibles pour la population avoisinante même en admettant des hypothèses défavorables du point de vue du séjour en plein air et des habitudes alimentaires.

Les 58519 personnes professionnellement exposées aux rayonnements dans les centrales nucléaires, l'industrie, le commerce, les services publics, la recherche et la médecine ont reçu en 1993 des doses dont le maximum atteint 25 mSv/an; 96 pour cent des valeurs n'ont pas dépassé 1 mSv/an. La dose individuelle moyenne correspondante est 0.2 mSv/an ¹⁵⁾.

L'exposition globale moyenne aux rayonnements est voisine de 4 mSv/an pour la population suisse. On peut en attribuer en moyenne 40% à l'irradiation naturelle interne par le radon et ses descendants, dont les valeurs extrêmes peuvent cependant atteindre jusqu'à 100 mSv/an. 30% soit 1.2 mSv/an proviennent en moyenne de l'irradiation naturelle externe et près de 25% des applications médicales. Les quelques pour cent subsistant, soit moins de 0.2 mSv/an se répartissent entre les autres sources artificielles de rayonnements.

Traduction française: Christophe Murith, SUER

13) Les données sur les doses de rayonnements issues des applications en médecine nucléaire proviennent d'une enquête de 1989/90 à l'hôpital cantonal de Bâle (Prof. J. Roth & Dr. H.W. Roser). Les estimations de la dose moyenne de la population en raison des radiodiagnostic ont été reprises d'une enquête de 1978 (Prof. Dr. G. Poretti et al., hôpital de l'île de la Plaine, Berne) et leur validité actuelle pourrait s'avérer restreinte. Des données correspondantes plus récentes ne sont pas encore disponibles (voir aussi: R.L. Mini: *Dosisbestimmungen in der medizinischen Röntgendiagnostik*. ISBN 3-906401-16-6; M. Huber-Verlag Chiètres, 1992).

14) Voir W. Burkard: *Gefahr aus dem Kosmos? Ein Beitrag zur Diskussion über gesundheitliche Risiken von Flugreisen infolge erhöhter Strahlenexposition*. dans «Radiologie Aktuell» Nr. 1/93, pages 14 - 20.

15) Voir rapport du groupe d'experts pour la dosimétrie individuelle de la Commission fédérale de la protection contre les radiations: *Dosimétrie des personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession en Suisse 1993*. Publié par l'Office fédéral de la santé publique, mai 1994, Berne.

Tableau 1: DOSES DE RAYONNEMENTS DE LA POPULATION SUISSE 1993

Moyennes et domaines approximatifs des valeurs exprimés comme dose effective en milli-Sievert par an en tenant compte de la durée de séjour dans les maisons.

Irradiation	Source	Description	Domaine des valeurs	Moyenne
irradiation naturelle	radiation terrestre	descendants de l'uranium et du thorium et potassium-40 dans le sol, y compris les matériaux de constructions	0.2 - 1.5	0.45
	radiation cosmique	dépendance avec l'altitude $D(\text{mSv/a}) = 0.324 \cdot e^{(0.38 \cdot z)}$ (z = altitude en km)	0.3 - 0.6	0.34
	radionucléides naturels dans le corps	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 dans les maisons suisses: 60 Bq radon-222/m ³	0.3 - 100	1.6
	accident au réacteur de Tchernobyl	bilan global (1986-2000): doses pour 1993:	0.2 - 5 (≤ 0.01 - 0.1)	0.5 ≤ 0.01
	retombée des essais d'armes nucléaires	bilan global (1946-2000): doses pour 1993:	(0.5 - 5) (≤ 0.01 - 0.02)	1.2 ≤ 0.01
	rejets des installations nucléaires	valeurs maximales pour la population avoisinante	≤ 0.015	≤ 0.015
	rejets des autres entreprises	valeurs maximales pour la population avoisinante	≤ 0.03	≤ 0.03
	faibles sources	par ex. montres à cadran lumineux, polonium-210 dans le tabac, vol de ligne et autres petites sources	≤ 5 (par ex. personnel naviguant)	0.1
	applications médicales	radiodiagnostic (1978)	0 - 30	1
		médecine nucléaire (1989/90)	0 - 80	0.04
Professionnels	exposition professionnelle aux rayonnements	58'519 personnes ont reçu en 1993 globalement 11.7 homme-Sievert	0 - 25; moins de 1 mSv pour 96 %	0.20

A

RADIOATTIVITÀ DELL'AMBIENTE E DOSI D'IRRADIAZIONE: RIASSUNTO

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

Fin dalla metà degli anni '50, la radioattività dell'ambiente e delle derrate alimentari in Svizzera è sottoposta a una sorveglianza sistematica. Nel presente rapporto si riassumono gli esiti delle misure svolte nel 1993, si interpretano tali dati e si indicano 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, le dosi derivanti dal radon all'interno delle case, le emissioni di impianti nucleari e altre aziende e le rimanenti fonti di radiazioni. Nel 1993, le centrali e gli impianti nucleari autorizzati a servirsi di sostanze radioattive hanno osservato (con due eccezioni) 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. Il quaranta per cento di questa dose, pari a 1,6 mSv, proviene del radon all'interno delle case, che talvolta raggiunge anche valori estremi fino a circa 100 mSv. Il trenta per cento, ossia 1,2 mSv, deriva dalla radioattività naturale, mentre il contributo di quella artificiale, senza le applicazioni mediche, non ammonta neppure a 0,2 mSv all'anno.

1. Introduzione

L'umanità è sempre circondata da radioattività e da radiazioni ionizzanti. Ne sono sorgenti naturali la radiazione cosmica e la radioattività naturale nell'aria, nel suolo, nelle acque, nelle piante e nell'organismo umano. In seguito alle applicazioni della scissione nucleare per bombe atomiche e reattori sono stati immessi nell'ambiente anche radionuclidi artificiali. Questi ultimi trovano inoltre impiego anche per la ricerca, l'industria e la medicina. I timori concernenti eventuali rischi per la popolazione legati alla radioattività sprigionata con gli esperimenti di armi nucleari negli anni cinquanta e sessanta sono all'origine della sorveglianza generale della radioattività in atto dal 1956. Attualmente rivestono tuttavia maggiore importanza le misure del radon nelle abitazioni e la sorveglianza in prossimità di impianti nucleari, di aziende che lavorano con isotopi radioattivi e di ospedali.

2. Radioattività naturale

La crosta terrestre contiene radionuclidi naturali da quando il mondo è mondo. Si tratta del potassio-40, radionuclide di lunga durata, e di quelli appartenenti alle catene di decadimenti dell'uranio e del torio. Della catena dell'uranio fanno parte anche il radon e i prodotti del suo decadimento che, accumulandosi all'interno delle case, accrescono probabilmente il rischio di cancro ai polmoni. Circa la metà delle dosi d'irradiazione terrestre (in Svizzera circa 0,45 mSv all'anno) deriva dai radionuclidi contenuti nella crosta terrestre.

I: Unità di misura e regolamentazione legale

La **radioattività** è la caratteristica di determinati nuclei atomici, detti instabili, di trasformarsi senza intervento esterno (decadimento radioattivo), emettendo una radiazione (ionizzante) caratteristica in forma di particelle alfa o beta e di quanti gamma. Le 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. Un millesimo di Bq si dice millibecquerel (mBq), un milionesimo è un microbecquerel (μ Bq), un milionesimo un nanobecquerel (nBq) e un milionesimo di milionesimo di Becquerel si chiama picobecquerel (pBq). Mille, un milione, un miliardo e mille miliardi di Becquerel 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 si riferisce all'intero organismo ed 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.

Le **disposizioni legali** relative alla radioattività e all'irradiazione si trovano nell'Ordinanza sulla radioprotezione. Quest'ultima fissa tra altro le dosi massime ammissibili per la popolazione in generale e per le persone professionalmente esposte a radiazioni, tra cui i lavoratori delle centrali nucleari e i dipendenti di aziende mediche, istituti di ricerca e imprese industriali che lavorano con sostanze radioattive. Vi sono inoltre fissati valori limite alla radioattività dell'aria respirata e dell'acqua potabile per la popolazione e per le persone professionalmente esposte a radiazioni.

La nuova **Ordinanza sulla radioprotezione**^{+) (ORaP)}, entrata in vigore il 1° ottobre 1994, sostituisce quella del 30 giugno 1976 e si fonda sulla Legge federale del 22 marzo 1991 sulla radioprotezione (LRaP) e sulle più recenti raccomandazioni della Commissione internazionale di radioprotezione del 1991*). Vi sono introdotti per la prima volta valori limite e di tolleranza per i radionuclidi nelle derrate alimentari, pubblicati nell'Ordinanza sulle sostanze estranee e sui componenti nelle derrate alimentari (OEC). Se si supera un valore di tolleranza, la qualità dell'alimento si riduce, ma il suo consumo non comporta ancora alcun rischio. L'autorità competente (ad esempio il chimico cantonale) devono tuttavia contestarlo. Conformemente alla nuova ordinanza, la dose d'irradiazione delle persone professionalmente esposte non deve superare $20 [50]^{+)} \text{ mSv}$ all'anno. Per la popolazione rimane il valore limite d'irradiazione in seguito ad immissioni radioattive nell'ambiente (senza il radon e le applicazioni mediche) è fissato a $1 [5] \text{ mSv}$ all'anno. L'evacuazione nell'ambiente di sostanze radioattive provenienti da aziende è ammessa soltanto se controllata. 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, anche in caso di permanenza continua sul luogo, la popolazione non subisca attraverso la respirazione e il consumo d'acqua potabile un'irradiazione superiore a $0,2 [0,5] \text{ mSv}$ all'anno ognuno. Per l'irradiazione diretta, il valore limite della dose ambiente è di $5 [5] \text{ mSv}$ all'anno nelle aree pubblicamente accessibili e di $1 [5] \text{ mSv}$ all'anno nei locali di abitazione, di soggiorno e di lavoro. Per gli impianti nucleari, l'autorità cui compete il rilascio delle licenze, ossia la Divisione principale della sicurezza per gli impianti nucleari (DSN) fissa i limiti d'immissione in modo tale che, anche nelle immediate vicinanze, nessuno subisca una dose di oltre $0,2 \text{ mSv}$ all'anno.

Per la concentrazione di **radon**, la nuova ordinanza fissa il valore limite a 1000 Bq/m^3 nei locali d'abitazione e di soggiorno e a 3000 Bq/m^3 nelle aree di lavoro. Oltre questi limiti, bisogna procedere al risanamento dell'edificio. Trattandosi di nuove costruzioni o ristrutturazioni, non si dovrebbero superare 400 Bq/m^3 . L'ordinanza disciplina inoltre le competenze per le misure del radon e i procedimenti applicabili.

+) Il presente rapporto si fonda ancora sull'**Ordinanza sulla radioprotezione (ORP)** del 30.6.76, i cui limiti sono indicati in questa pagina tra parentesi quadre [...]

*) 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.

Un chilogrammo di terra contiene ad esempio alcune centinaia di Bq di potassio-40, circa 20 a 75 Bq di radio-226 (catena dell'uranio) e dei prodotti del suo decadimento, nonché, circa 10 a 40 Bq di attinio-228 (catena del torio) e dei prodotti del suo decadimento. Alla radioattività nella crosta terrestre s'aggiunge la radiazione cosmica. Quest'ultima aumenta con l'altitudine: mentre sul Ceresio il suo contributo ammonta a 0,35 mSv all'anno, a San Moritz causa già a 0,65 mSv all'anno. La radiazione cosmica genera inoltre nell'atmosfera altri radionuclidi come il tritio, il carbonio-14 e il berillio-7. Con l'alimentazione, la radioattività naturale penetra anche nell'organismo umano. Un litro di latte contiene ad esempio circa 50 Bq di potassio-40. I 100 g circa di potassio che si trovano nell'organismo di una donna adulta, i 150 g in quello di un uomo, contengono approssimativamente 3000, rispettivamente 4500 Bq di potassio-40, la cui radioattività è all'origine di una dose interna di ca. 0,2 mSv. La dose complessiva annua derivante dalla radiazione interna di tutti i radionuclidi contenuti nel corpo umano è di circa 0,4 mSv. Anche i materiali di costruzione contengono modeste quantità di radionuclidi naturali; negli edifici, la dose d'irradiazione esterna è perciò circa del venti per cento superiore a quella subita all'aperto.

3. Radon nelle abitazioni (v. capitolo B.2)

Con 1,6 mSv all'anno ¹⁾, il radon con i prodotti del decadimento sono all'origine di quasi la metà dell'esposizione media ad irradiazione della popolazione svizzera. Si sono riscontrati valori massimi di 100 mSv all'anno (cfr. fig. 11). 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. Penetrando nell'organismo attraverso la respirazione, i prodotti radioattivi del suo decadimento irradiano i polmoni e accrescono perciò il rischio di cancro. Applicando alla Svizzera gli esiti di un recente studio epidemiologico svedese ²⁾, si giunge alla conclusione che il radon è responsabile del 6 per cento di tutti i casi di cancro ai polmoni. Anche calcolo di regressione svolto nel 1992 per diverse regioni svizzere ³⁾ indica una debole correlazione tra il livello di concentrazione del radon e le mortalità giovanile per cancro ai polmoni e conferma che alcuni casi su cento di cancro ai polmoni si devono al radon. Su un milione di abitanti, circa 120 donne e 730 uomini muoiono ogni anno in Svizzera di cancro ai polmoni. 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.

Nel quadro del programma nazionale «RAPROS» l'Ufficio federale della sanità pubblica (UFSP) ha sinora coordinato circa 15'000 misure svolte in edifici d'abitazione.⁴⁾ Per i locali abitati ne risulta una media ponderata di circa 60 Bq/m³ con valori estremi di alcune migliaia

-
- 1) Questa rettifica verso il basso rispetto ai 2,2 mSv/anno menzionati nei rapporti precedenti si deve al nuovo fattore di dose del radon dell'ICRP. Il contenuto medio di radon nelle abitazioni svizzere resta di circa 60 Bq/m³. Il nuovo fattore di dose si fonda sulla pubblicazione dell'ICRP: *Protection against radon-222 at home and at work*. Pubblicazione no 65; Annals of the ICRP, vol 23/2 (1993); ISBN 0-08-042475-9.
 - 2) *Residential Radon Exposure and Lung Cancer in Sweden*, by G. Pershagen et al., in «The New England Journal of Medicine», vol. 330/3 (1994), pag. 159-164.
 - 3) H. Völkle e Ch. E. Minder: *Lungenkrebs und Radon in Wohnräumen*, in «Umweltradioaktivität, Radioökologie, Strahlenwirkung», Jahrestagung des Fachverbands für Strahlenschutz, Binz/Rügen/D, 28-30.9.1993; pag. 933-938, ISSN 1013-4506, Edizione TÜV-Rheinland, Colonia.
 - 4) *Radon Programm Schweiz «RAPROS»: Bericht über die Ergebnisse der Jahre 1987-1991*; UFSP Berna, marzo 1992; ISBN 3-905235-00-5.

II: Come agiscono le radiazioni sull'organismo umano?

A seconda del loro tipo e della loro energia, le **radiazioni ionizzanti** sono in grado di attraversare la materia e di trasmettere parte dell'energia agli atomi e alle molecole della sostanza irradiata. Il materiale in questione si riscalda, gli atomi si ionizzano e i legami chimici si sciolgono. Se si tratta di un tessuto biologico, le funzioni cellulari ne risultano disturbate (una cellula diventa, ad esempio cancerogena), l'informazione genetica è alterata (mutazioni) o si produce una citolisi. A differenza delle particelle cariche pesanti e dei neutroni, le radiazioni alfa, beta e gamma non causano tuttavia radioattività della sostanza irradiata. Le derrate alimentari irradiate con raggi gamma non sono dunque radioattive.

Si parla d'irradiazione **esterna** se la fonte radioattiva si trova al di fuori dell'organismo umano, d'irradiazione **interna** se i radionuclidi vi penetrano attraverso l'aria respirata e il cibo ingerito e lo irradiano da dentro. Per calcolare le dosi d'irradiazione di una persona è determinante conoscere la quantità degli alimenti consumati, rispettivamente la durata di permanenza in un determinato campo d'irradiazione. Si deve perciò esaminare il contenuto di radionuclidi dell'aria, dell'acqua e delle derrate alimentari, ma bisogna anche misurare le radiazioni nei luoghi di permanenza delle persone. Per calcolare la dose individuale, nel presente rapporto si applica a questa misura, detta equivalente di dose ambiente, il fattore di conversione approssimativo $1 \text{ Sv} \approx 100 \text{ R}$ (rispettivamente $10 \text{ nSv/ora} \approx 1 \text{ } \mu\text{R/ora}$).

A seconda della loro origine, le radiazioni si suddividono in **naturali** e **artificiali**. Le prime derivano dalla radioattività naturale della crosta terrestre, dei materiali di costruzione, del radon, della radiazione cosmica e dei radionuclidi naturali nell'organismo umano. Le seconde sono imputabili alle ricadute degli esperimenti con armi nucleari svolti negli anni '50 e '60 e a quelle dell'incidente nel reattore di Cernobil, ma anche alle emissioni radioattive di impianti nucleari, industrie ed ospedali e alle applicazioni mediche e tecniche delle radiazioni e della radioattività.

Per quanto concerne l'effetto delle radiazioni, si distingue tra le ripercussioni, dette **somatiche**, che colpiscono il soggetto irradiato stesso (ad esempio il cancro), e quelle che diventano evidenti soltanto sui suoi discendenti in forma

di **tare ereditarie**, ad esempio di deformazioni del neonato. L'effetto delle radiazioni dipende anche dall'intensità della dose, ossia dalla dose assorbita per unità di tempo. Una dose assorbita entro alcuni minuti o alcune ore presenta un'effetto maggiore della medesima dose distribuita su diversi mesi o anni.

La Commissione internazionale di radioprotezione (ICRP) suddivide gli effetti delle radiazioni sull'organismo umano in due tipi. Gli effetti **stocastici** sono quelli la cui probabilità, ma non gravità, aumenta con la dose e per i quali non esiste una soglia inferiore, al di sotto della quale non occorrono mai. Nel 1991 l'ICRP ha pubblicato i cosiddetti fattori di rischio, che indicano la probabilità che questi danni si avverino. Secondo questi fattori, per ogni Sv d'irradiazione, cinque persone irradiate su cento muoiono in seguito ad un cancro dovuto all'irradiazione e un figlio su cento di genitori irradiati presenta gravi tare ereditarie. Gli effetti del secondo tipo si dicono **deterministici**: si tratta di danni acuti imputabili a dosi particolarmente elevate. Questi danni sorgono perciò soltanto se la dose supera un determinato limite e sono tanto più gravi, quanto più la dose è elevata. Se l'intero organismo subisce in breve tempo una dose d'irradiazione di 2 Sv, rispettivamente 4 Sv, la metà delle persone colpite si ammala, rispettivamente muore entro poche settimane.

Dai fattori di **rischio risulta per la popolazione svizzera** il seguente rischio di danni somatici dovuti alla radioattività per rapporto ai casi spontanei annui di decesso per cancro:

- radiazione esterna naturale (senza il radon): 2 per cento circa;
- radon in locali abitati: 5 per cento dei casi di cancro ai polmoni circa;
- radiazione da fonti artificiali (senza la medicina): meno dello 0,4 per cento.
- **Ripercussioni genetiche** per generazione in forma di tare ereditarie (mutazioni dominanti o legate al cromosoma X) presso i discendenti per rapporto al numero di nati vivi:
 - radiazione naturale esterna (senza il radon): 1 a 6 per cento circa;
 - dosi d'irradiazione da fonti artificiali (senza la medicina): 0,2 a 1 per cento circa.

di Bq/m³. Secondo queste misure, il radon proviene principalmente dal terreno di fondazione, 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. Il cosiddetto "effetto camino", vale a dire il movimento ascendente dell'aria calda all'interno dell'edificio, 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. Gli edifici che presentano valori elevati si possono risanare, ad esempio, con un'aerazione attiva o passiva della cantina e dei locali sotterranei o con misure atte a rendere l'edificio impermeabile ai gas provenienti dal terreno di fondazione ⁵⁾.

Grazie ai rilevamenti svolti in edifici abitati della Svizzera nel quadro del programma RAPROS, possiamo oggi calcolare con una certa sicurezza la concentrazione media del radon e le dosi d'irradiazione che ne derivano per la popolazione. Solo il 3 per mille degli edifici abitati è tuttavia stato finora sottoposto a tali misure, mentre sarebbe auspicabile una quota dell'1 per cento circa. Le ricerche previste per il prossimo futuro mirano in primo luogo a reperire gli edifici dove la concentrazione del radon è particolarmente alta. Con la cooperazione delle autorità cantonali, si svolgono perciò campagne regionali che includono anche gli aspetti geologici nelle zone dove si sono già riscontrati valori elevati o dove criteri geologici li lasciano prevedere.

4. Esiti della sorveglianza nel 1993 (v. capitolo B.3.2)

Negli ultimi anni, la **radioattività ambientale** artificiale proveniente dall'incidente di Cernobil e diffusa in aree geograficamente estese nell'aria, nelle precipitazioni, nelle acque, nel suolo e nell'erba è continuamente diminuita (v. capitolo 3.1). Attualmente è così modesta che spesso non è più possibile accertarla nemmeno con i più sensibili metodi di misura e il suo contributo all'esposizione radiologica è ormai trascurabile. Nell'**aria** (v. fig. 1) sono accertabili, accanto ai radionuclidi naturali come il berillio-7, il piombo-210 e i prodotti di decadimento del radon, soltanto ancora tracce modeste di cesio-137 ⁶⁾. I gas nobili radioattivi cripto-85 e argo-37 sono indicatori della rigenerazione di combustibili nucleari o di esperimenti sotterranei con armi nucleari (v. capitolo 3.2). In seguito agli esperimenti svolti in passato con armi nucleari, la concentrazione nella biosfera del carbonio-14, originato dalla radiazione cosmica, è attualmente ancora circa del 13 per cento superiore al livello naturale (v. capitolo 3.2). Nelle immediate vicinanze delle centrali nucleari, questo valore è aumentato ancora del 10 per cento circa a causa delle emissioni di radioattività.

Nelle **precipitazioni** (v. fig. 2), il contenuto di tritio era salito negli anni sessanta, in seguito agli esperimenti con armi nucleari, ad alcune centinaia di Bq/l. Da allora si è continuamente ridotto e ammonta attualmente soltanto ancora a pochi Bq/l. Nelle immediate vicinanze delle aziende industriali di lavorazione del tritio si misurano tuttavia valori in parte superiori. Altri radionuclidi artificiali non sono più accertabili nell'acqua piovana.

5) Presso l'Ufficio federale della sanità pubblica, Divisione della radioprotezione, Berna, si possono ottenere raccomandazioni per provvedimenti tecnici di risanamento degli edifici con forti concentrazioni di radon.

6) Immediatamente dopo l'incidente nel reattore di Cernobil, si erano misurati per breve tempo alcuni Bq/m³ di cesio-137.

Figura 1

Margine di variazione dei radio-
nuclidi all'aria aperta nel 1993

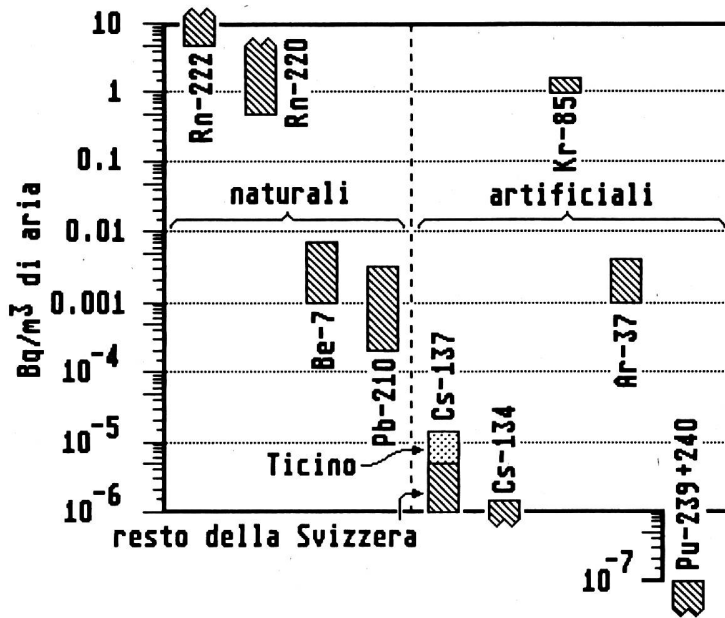


Figura 2

Radionuclidi nell'acqua piovana
nel 1993

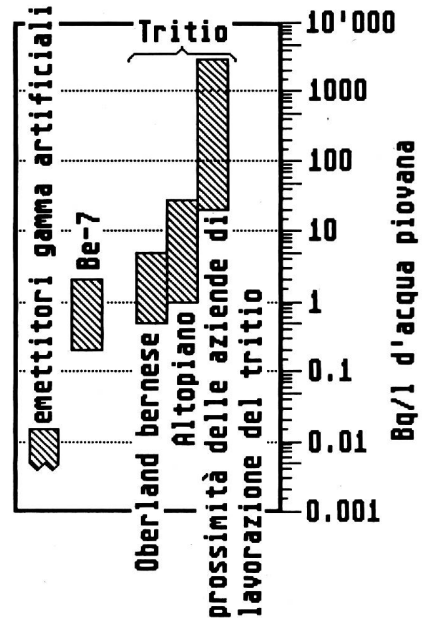


Figura 3

Radionuclidi nell'erba nel 1993

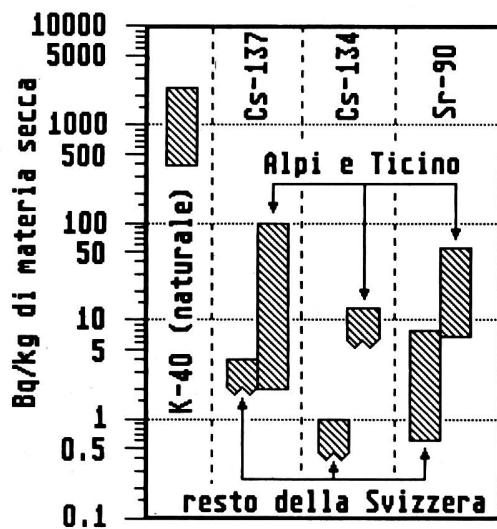
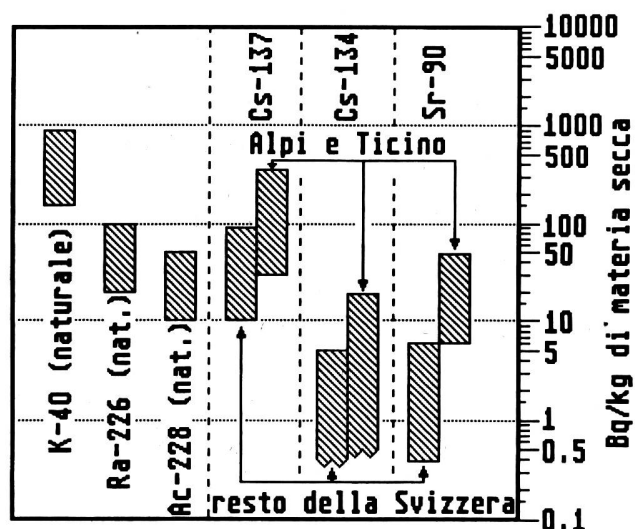


Figura 4

Radionuclidi nella terra nel 1993



Nel suolo e nell'**erba** (v. fig. 3 e 4) si misurano ancora contenuti di cesio-137, proveniente principalmente dall'incidente di Cernobil, e stronzio-90, derivante dagli esperimenti con armi nucleari (v. capitoli B.3.1 e B.3.6). Per il cesio-137, originato soltanto in parte dagli esperimenti con armi nucleari, si può ancora riconoscere l'andamento della sedimentazione dei depositi di Cernobil. Il cesio che si sedimenta sul suolo naturale decade e penetra lentamente negli strati più profondi del terreno. Nel 1993, la parte proveniente da Cernobil aveva raggiunto una profondità di circa 10 cm, quella imputabile alle ricadute di bombe atomiche circa 30 cm. Nei boschi, il cesio permane più a lungo nello strato superiore e il suo contributo alla dose d'irradiazione esterna è perciò più forte di quello calcolato altrove. Anche 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.

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** ⁷⁾. Nei campioni d'acqua fluviale regolarmente prelevati (v. fig. 5) non erano generalmente accertabili radionuclidi artificiali all'infuori del tritio. Il contenuto di tritio nei campioni prelevati ogni mese dalle acque pluviali permette in parte di accertare influssi antropogeni (industria delle vernici luminescenti e impianti nucleari; v. capitolo B.3.4). 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 nelle fanghi di depurazione e piante acquatiche (v. parte 6).

La **sorveglianza della radioattività nelle derrate alimentari** (v. fig. 6) si svolge in stretta cooperazione con i laboratori cantonali (v. capitolo B.3.5). 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 inferiore al limite di misura. I valori in parte ancora elevati di cesio nella selvaggina, dovuti all'incidente di Cernobil, stanno diminuendo, a differenza di quelli misurati in determinati funghi domestici non coltivati, soprattutto nei boleti dei castagni e negli agarici rugosi. In singoli casi, questi funghi presentavano ancora una concentrazione di cesio-137 di 1500 Bq/kg. Dato il basso tasso di consumo di selvaggina e funghi, le relative dosi d'irradiazione sono modeste. Nel 1993, la dose d'irradiazione della popolazione svizzera da radionuclidi artificiali nelle derrate alimentari era, per persone con abitudini alimentari medie, ancora di alcuni millesimi di mSv. Come dimostrano studi svolti nel 1991, anche un consumo regolare delle acque minerali in commercio con un modesto contenuto di radionuclidi naturali causa al massimo un'irradiazione di alcuni centesimi di millisievert all'anno ⁸⁾.

Le **dosi ambiente** esterne misurate all'aperto con la rete di misura automatica NADAM (v. fig. 7 e 8; capitolo B.3.8) e altri tipi di misura, raggiungono un massimo di 1,8 mSv all'anno nelle Alpi e circa 1 mSv all'anno nel resto della Svizzera. Attualmente il contributo del cesio-137 derivante dall'incidente di Cernobil è ancora di 0,6 mSv al massimo nel Ticino, 0,1 a 0,4 mSv nelle Alpi, in parte del Giura e nella Svizzera orientale e 0,01 a 0,1 mSv all'anno nel resto del Paese (v. capitolo B.3.3). Negli ultimi sei anni questo contributo è calato presso le stazioni NADAM del 3 per cento circa all'anno.

7) Per i dintorni degli impianti nucleari, rispettivamente delle aziende e degli ospedali, cfr. le parti 5 e 6.

8) cfr. Rapporto dell'UFSP sulla radioattività dell'ambiente in Svizzera per l'anno 1991. Capitolo 3.5.A: *Natürliche Radionuklide der Uran- und Thorium-Zerfallsreihen in Mineralwässern.*

Figura 5

Radioattività nei fiumi nel 1993

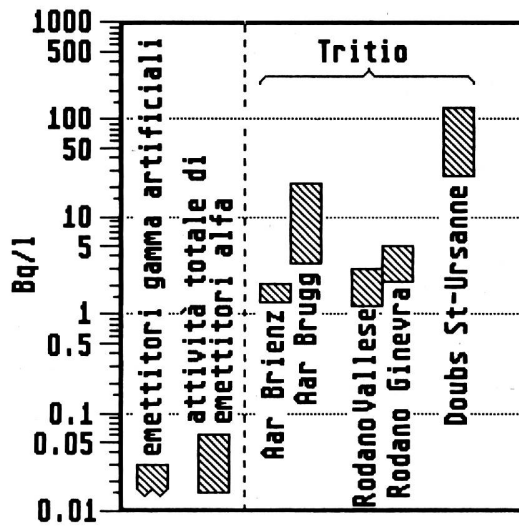


Figura 6

Radioattività negli alimenti di base nel 1993

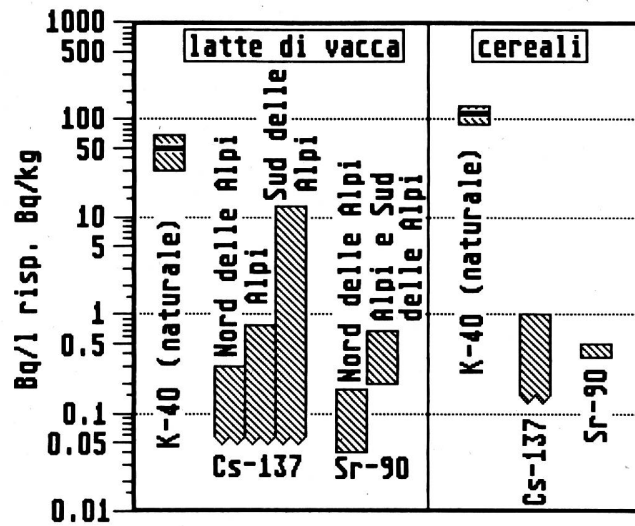


Figura 7

Sedimentazione del cesio-137

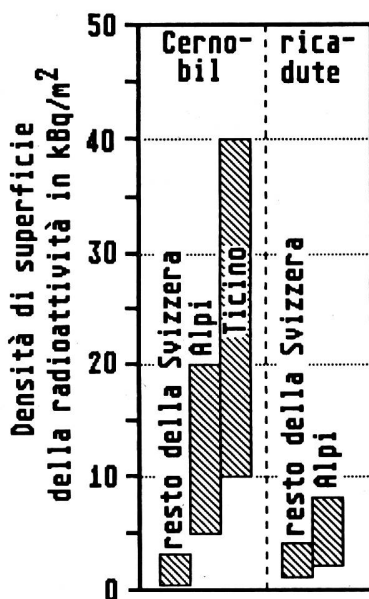
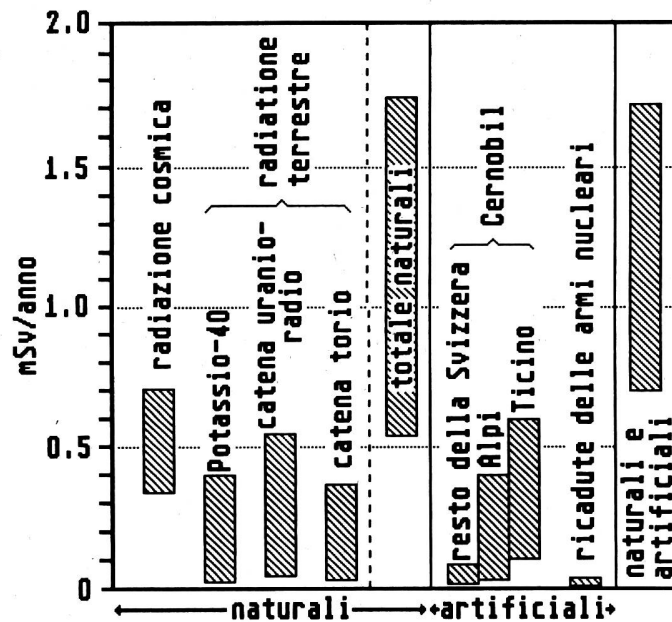


Figura 8

Contributi alla dose ambiente all'aperto nel 1993



All'interno delle case (v. capitolo 3.12) la dose d'irradiazione esterna risulta lievemente 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. Il rapporto tra la dose d'irradiazione in casa e quella all'aperto (il cosiddetto "housing-factor"), è perciò in media pari a circa 1,2. Se si presuppone che una persona trascorra in casa l'80% del tempo, si ottiene per l'esposizione media della popolazione svizzera a radiazioni esterne una dose 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 queste ipotesi.

Misure della radioattività presente nell'organismo umano (v. fig. 9) fungono da controllo finale dell'intera sorveglianza; a tale scopo si determina lo stronzio-90 nei denti di latte e nelle ossa di persone decedute e si misura il cesio-137 contenuto nell'organismo di persone attive e di studenti (v. capitoli B.3.6 e B.3.7). Lo stronzio ha un comportamento fisiologico simile a quello del calcio ed è perciò incorporato nell'organismo umano soprattutto nei denti e nelle ossa, mentre il cesio subisce un metabolismo analogo a quello del potassio e si trova perciò più che altro nel tessuto muscolare. La concentrazione media dello stronzio-90 (usualmente indicata per rapporto al calcio) nei denti di latte era di 0,024 Bq, nelle vertebre di 0,056 Bq per ogni grammo di calcio. La dose interna che ne deriva è di 0,002 mSv all'anno. Le misure del cesio-137 svolte su liceali ginevrini hanno dato una media di 8 Bq per chilogrammo di peso per le ragazze e 18 Bq per chilogrammo per i ragazzi. Questa concentrazione corrisponde a una dose inferiore a 0,001 mSv all'anno.

5. Impianti nucleari (v. capitolo B.4)

Nelle licenze delle centrali nucleari di Beznau, Gösgen-Däniken, Leibstadt e Mühleberg e dell'Istituto Paul Scherrer (IPS) sono posti alle evacuazioni di sostanze radioattive limiti stabiliti in modo 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 (v. capitolo B.4.1). 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 circostante⁹⁾. Con due eccezioni (v. prossimi capoversi), gli impianti nucleari hanno osservato nell'anno in rassegna i valori limite. Gli abitanti delle immediate vicinanze erano esposti a un'irradiazione di meno di 0,015 mSv per la centrale nucleare di Mühleberg e meno di 0,006 mSv per quelle di Beznau, Gösgen-Däniken e Leibstadt. Per queste ultime, il contributo principale era quello delle emanazioni di carbonio-14. Nelle vicinanze dell'Istituto Paul Scherrer, le dosi massime d'irradiazione della popolazione circostante, calcolate sul fondamento delle emanazioni, sono di 0,012 mSv/anno.

Per l'IPS si segnalano tre **casi di aumento delle evacuazioni radioattive** nell'ambiente; in due di questi casi si sono superati i limiti di ricaduta a breve termine. Come già era successo nel 1992, il 31 agosto 1993 si liberarono dalla produzione d'isotopi nell'IPS-ovest circa 150 GBq di Xeno-123, pari all'80 per cento del limite di ricaduta a breve termine, causando una la dose addizionale massima d'irradiazione della popolazione circostante non superiore a 0,001

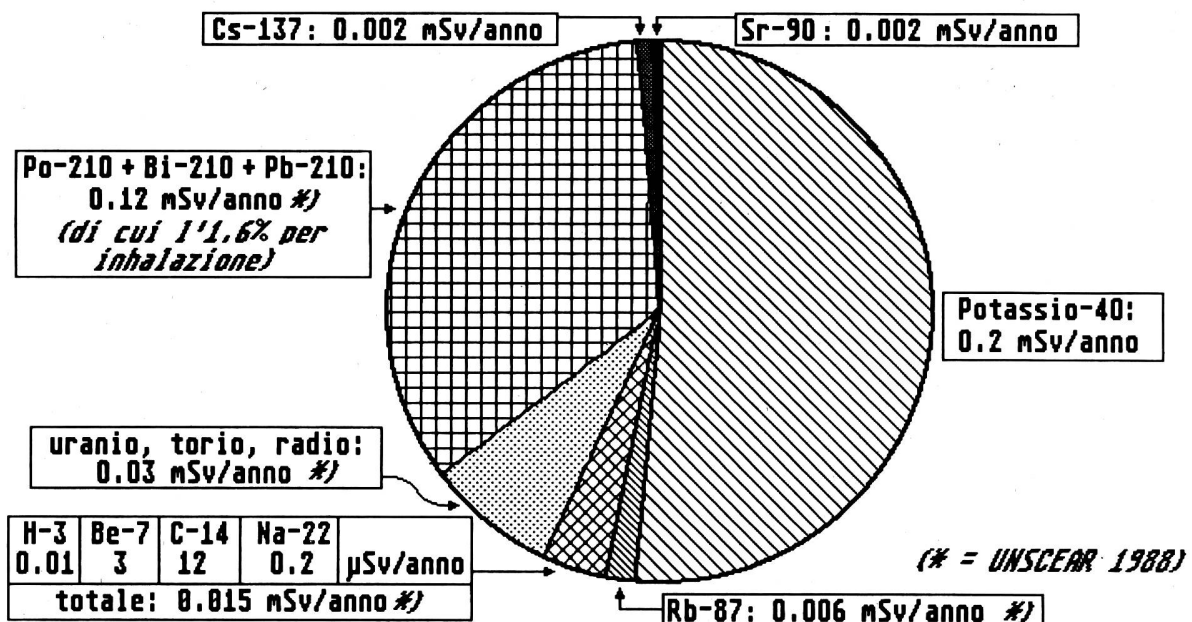
9) V. Bericht über die schweizerischen Kernanlagen im Jahre 1993. Bericht HSK-AN-2661/KSA-AN-1786. Maggio 1994. (Rapporto annuale della Divisione principale per la sicurezza degli impianti nucleari, Villigen-PSI; esiste anche in francese e inglese).

III: A chi è affidata la sorveglianza?

Conformemente all'Ordinanza sulla radio-protezione, la sorveglianza della **radioattività ambientale** rientra nelle competenze dell'Ufficio federale della sanità pubblica (UFSP). Per il prelievo dei campioni e per le misure, l'UFSP si avvale della cooperazione di altri uffici e laboratori federali nonché, degli istituti universitari; alla sorveglianza delle derrate alimentari collaborano segnatamente anche i laboratori cantonali. Per la sorveglianza in prossimità degli impianti nucleari (cfr. fig. 12) e delle aziende di lavorazione di sostanze radioattive, le misure si svolgono in comune con l'autorità di sorveglianza competente: la Divisione principale della sicurezza per gli impianti nucleari (DSN) o l'Istituto nazionale svizzero di assicurazione contro gli infortuni (INSAI). L'INSAI è competente per l'uso di radionuclidi nelle aziende industriali, commerciali e artigianali, mentre L'UFSP sorveglia gli istituti che si occupano di medicina, ricerca o insegnamento. Gli esiti della sorveglianza della radioattività e le dosi d'irradiazione della popolazione che ne risultano sono pubblicati nei rapporti annuali dell'UFSP.

L'Ordinanza concernente l'organizzazione di intervento in caso di aumento della radioattività (OROIR) del 26 giugno 1991 regola le competenze in **caso di catastrofe**, se la popolazione è minacciata da un aumento della radioattività in seguito all'esplosione di armi nucleari, di incidenti in centrali nucleari, di incidenti nell'industria di lavorazione di sostanze radioattive o durante il trasporto dei medesimi, di caduta di satelliti con reattori nucleari incorporati, ecc. L'organizzazione d'intervento (OIR) comprende: la Centrale nazionale d'allarme (CENAL), alla quale s'aggiungono, se necessario, altri specialisti; il Comitato direttivo radioattività (CODRA), incaricato di valutare continuamente la situazione e di assistere il Consiglio federale nella decisione su provvedimenti da prendere; e un'organizzazione di prelievo e misurazione, composta delle reti di misura automatiche e dei laboratori che registrano continuamente la situazione radiologica in tutto il Paese. Gli eventuali provvedimenti di protezione volti a mantenere minimo il rischio per la salute della popolazione dopo un aumento della radioattività si decidono sul fondamento della Strategia dei provvedimenti in funzione delle dosi (SPD).

Figura 9 Dosi d'irradiazione interna nel 1993: 0.38 mSv/anno
Dosi medie derivanti da radionuclidi nell'organismo
(senza i prodotti di decadimento del radon)



mSv. Un primo caso di evacuazione eccessiva di tritio ebbe luogo il 1° settembre 1993, quando 170 GBq fuoriuscirono in forma di HTO dal laboratorio per scorie radioattive, superando il limite di ricaduta a breve termine del fattore 2,7. La dose massima d'irradiazione della popolazione circostante è stata, secondo i calcoli, di 0,004 mSv. Una seconda evacuazione eccessiva di tritio di 1250 GBq (tre volte superiore al limite di ricaduta a breve termine) avvenne nella settimana dal 25 novembre al 2 dicembre 1993 dall'impianto di combustione delle scorie radioattive dell'IPS. La popolazione circostante ha subito in questo caso una dose massima di 0,012 mSv. In seguito a questi fatti si sono presi due provvedimenti immediati: la cessazione della combustione di scorie contenenti tritio e la sorveglianza continua del contenuto di tritio nel gas combusto. Bisognerà tuttavia migliorare anche il sistema di cernita delle scorie destinate alla combustione.

Presso la centrale atomica sperimentale di **Lucens**, la cui caverna è stata otturata nel 1992 con cemento, si osservano durante un periodo di un anno la quantità e le caratteristiche radiologiche e chimiche dell'acqua di drenaggio.

La **sorveglianza dell'ambiente circostante gli impianti nucleari** (v. capitoli B.4.2 e B.4.3) si svolge in stretta collaborazione tra la Divisione principale per la sicurezza degli impianti nucleari (DSN), l'Ufficio federale della sanità pubblica (UFSP/SUER) e altre istituzioni. I programmi e metodi di misura includono, accanto alle dosi ambiente, 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 di misura con elicotteri (v. capitolo 3.9) e misure del carbonio-14 nelle foglie degli alberi (v. capitolo 3.2). Le misure della radioattività svolte nell'anno in rassegna nelle vicinanze degli impianti nucleari non hanno palesato 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 i contrattempi menzionati. In prossimità degli impianti nucleari si nota inoltre un leggero aumento del carbonio-14 rispetto al fondo di radioattività naturale e quella delle ricadute degli esperimenti nucleari: 80 a 120 per mille presso la CNL, 100 per mille presso la CNB/IPS e 120 a 470 per mille nelle immediate vicinanze del reattore SAPHIR dell'IPS. L'impatto di questa radioattività ambientale, causata dalle emissioni dagli impianti nucleari, sull'esposizione della popolazione non è tuttavia di rilievo dal punto di vista radiologico.

Nel 1993, la DSN ha messo in funzione, in prossimità delle centrali nucleari, una rete automatica di misura dell'intensità della dose ambiente (**MADUK**) con 12 a 18 stazioni di misura fornite di contatori di Geiger-Müller per ogni centrale. I dati sono raccolti presso la DSN; vi hanno accesso diretto anche la Centrale nazionale d'allarme e la Sezione di controllo della radioattività. Questa rete dovrebbe contribuire alla rapida informazione delle autorità e della popolazione sulla situazione radiologica, permettendone così la valutazione tempestiva soprattutto in caso di avvenimenti particolari.

Il progetto di studio della diffusione nei fiumi e nei sedimenti dei radionuclidi contenuti nelle acque di scolo degli impianti nucleari, intrapreso nel 1993 dall'Istituto federale per l'approvvigionamento, la depurazione e la protezione delle acque, ha già fruttato esiti interessanti. Sembra ad esempio che una buona parte del cobalto-60 rimanga disciolto o legato a particelle

IV: Oggetto della sorveglianza e incaricati delle misure

a) Obiettivi del programma di misure

- Sorveglianza della distribuzione nello spazio e nel tempo della **radioattività ambientale**, allo scopo di rilevare le tendenze a lungo termine e l'accumulazione di radionuclidi.
- Sorveglianza delle **immissioni** di radionuclidi artificiali, in particolare nei pressi di impianti nucleari, aziende industriali e ospedali, allo scopo di controllare l'osservanza dei valori limite d'immissione.
- Determinazione delle **dosi d'irradiazione della popolazione** da fonti naturali e artificiali, con particolare riguardo al radon nei locali abitati.

b) Reti automatiche di misura e di preallarme (cfr. fig. 13)

- La rete **NADAM** registra in modo continuo le dosi ambiente di 58 stazioni di misura ripartite in tutta la Svizzera. La centrale di raccolta dei dati si trova presso la CENAL a Zurigo.
- Il sistema **MADUK** serve a controllare le dosi ambiente in 12 a 18 stazioni misure in prossimità di ogni centrale nucleare. Responsabile del funzionamento del sistema e dell'elaborazione dei dati è la DSN.
- Con la rete **RADAIR** si sorveglia la radioattività degli aerosoli nell'aria presso dieci stazioni di misura in Svizzera e una nel Principato del Liechtenstein. Attualmente questa rete è in fase d'ampliamento; in futuro sostituirà gli strumenti di misura esistenti (senza trasmissione a distanza dei dati). Il suo funzionamento è affidato alla Sezione di controllo della radioattività dell'UFSP.

c) Altre misure regolari

In diversi punti del Paese si raccolgono e si esaminano regolarmente campioni d'acqua piovana e fiumana, di aerosoli e delle acque di scolo dagli impianti di depurazione nelle agglomerazioni di Zurigo, Basilea, Berna e Losanna. Si analizzano inoltre anche campioni di terra, erba, latte, cereali, altre derrate alimentari, acqua della falda freatica, pesci, piante acquatiche, sedimenti e altro. Quale controllo finale della radioattività nel corpo umano si svolgono misure del cesio nell'intero organismo e analisi di denti di latte come anche delle vertebre di persone decedute per determinarne il contenuto di stronzio-90. Nei dintorni degli impianti nucleari (cfr. fig. 12) e delle aziende di lavorazione di isotopi radioattivi, come anche per quanto concerne il radon all'interno delle case e il fondo di radiazioni naturali, sono in atto programmi speciali.

d) Uffici e istituti

- **Autorità competenti per il rilascio delle licenze e per la sorveglianza:** Ufficio federale della sanità pubblica (UFSP), Divisione principale per la sicurezza degli impianti nucleari (DSN), Istituto svizzero di assicurazione contro gli infortuni (INSAI).
- **Laboratori chimici cantonali** per il controllo delle derrate alimentari.
- **Altre istituzioni della Confederazione:** Centrale nazionale d'allarme (CENAL), Istituto di geofisica del Politecnico federale di Zurigo; Istituto Paul Scherrer (IPS); Istituto federale per l'approvvigionamento, la depurazione e la protezione delle acque (EAWAG); Laboratorio AC dell'esercito; Servizio idrologico e geologico nazionale dell'UFAFP; Stazione di ricerche d'agrochimica e igiene ecologica (FAC).
- **Istituti universitari:** Institut de Radio-physique appliquée (IRA) a Losanna; Università di Berna; Ospedale cantonale di Ginevra; Inselspital di Berna; Ospedale cantonale di Basilea.

$< 0,2 \mu\text{m}$ e possa così essere trasportata con l'acqua fiumana per distanze ben maggiori di quanto si credesse sinora (v. capitolo B.3.10).

6. Aziende industriali e ospedali (v. capitolo B.5)

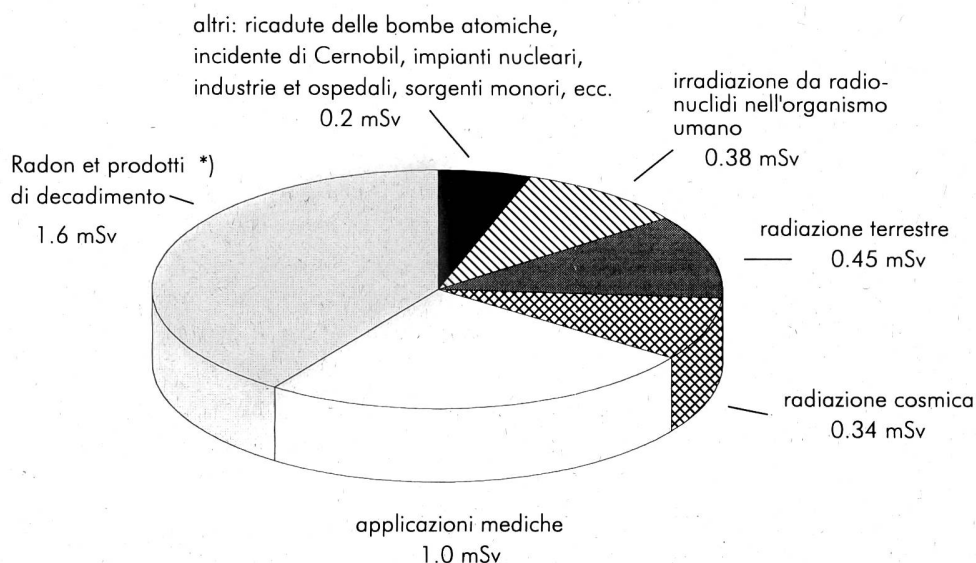
Le aziende che lavorano con sostanze radioattive devono essere in possesso di una **licenza**. L'Ufficio federale della sanità pubblica (Sezione controllo delle aziende) sorveglia gli istituti che si occupano di medicina, ricerca o insegnamento, l'Istituto nazionale svizzero d'assicurazione contro gli 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 esige dalle aziende che manipolano grandi quantità di sostanze radioattive un bilancio delle loro emanazioni. Eventualmente, l'ambiente circostante (precipitazioni, acque di superficie, sorgenti, ecc) è sottoposto a osservazione. Questo provvedimento si applica alle ditte Radium-Chemie a Teufen/AR e mb-Microtec a Niederwangen/BE che producono vernici o fonti luminescenti al tritio. Si sorveglia inoltre anche l'ambiente circostante la Città di La Chaux-de-Fonds, dove queste vernici sono impiegate nell'industria orologiera.

Nel 1993, 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 (v. capitolo B.5.1). Dalle misure svolte nelle vicinanze di aziende della regione di La Chaux-de-Fonds e di Teufen/AR non sono risultati valori superiori al limite ¹⁰⁾; negli ultimi anni si nota tuttavia che la concentrazione del tritio nelle precipitazioni tende ad aumentare. A Teufen la radioattività nelle precipitazioni ha raggiunto al massimo 3 kBq/l, a La Chaux-de-Fonds 0,3 kBq/l. Nelle acque di scolo dell'impianto di depurazione di La Chaux-de-Fonds, le concentrazioni di tritio misurate nel 1993 erano sempre inferiori a 12 kBq/l ¹⁰⁾. Con 30 TBq, il deflusso annuale di tritio attraverso l'impianto di depurazione era leggermente inferiore al 1992. Il deflusso nel Doubs presso St. Ursanne è stimabile a circa 50 TBq. I campioni d'acqua piovana prelevati nelle vicinanze di Niederwangen presentavano concentrazioni di tritio comprese tra 0,02 e 0,9 kBq/l; a Berna, a 6 km di distanza, erano ancora di 0,027 kBq/l al massimo e 0,006 kBq/l in media annuale. Nell'umidità dell'aria si sono misurati a Niederwangen da 3 a 18 Bq/m³. In campioni d'acqua, di latte e di verdure nelle vicinanze della mb-Microtec si sono inoltre misurate attività fino a 0,15 kBq/l, nettamente decrescente con l'aumentare della distanza dell'azienda (v. capitoli B.5.3 e B.5.4). Queste misure confermano il risultato di analisi dell'urina svolte in passato, secondo le quali gli abitanti delle vicinanze di questa ditta sarebbero sottoposti a una dose annuale d'irradiazione dovuta al tritio non superiore a 0,03 mSv.

Le emanazioni degli **ospedali** nelle grandi città (Zurigo, Basilea, Berna e Losanna) - essenzialmente iodio-131 impiegato per il trattamento della tiroide - sono sottoposte ad un continuo controllo con la raccolta di campioni dall'impianto di depurazione (v. capitolo B.5.2). Questi campioni e in parte anche i fanghi di depurazione contengono perciò spesso iodio-131, nell'acqua si trova a volte anche tritio. Nel 1993, le misure relative allo iodio-131 nell'impianto di depurazione di Berna sono sempre state inferiori a 5 Bq/l. Il bilancio del deflusso di iodio-131 nel 1993 nella regione di Berna, determinato per mezzo dei campioni settimanali

10) Giusta l'Ordinanza sulla radioprotezione in vigore sinora, il valore limite per acque d'accesso pubblico era di 12'000 Bq/l ($C_w/300$ secondo l'art. 107); anche la nuova ordinanza del 1994 fissa un valore di 12'000 Bq/l (LA/50).

Figura 10: Dose efficace media annuale della popolazione svizzera in milli-Sievert 1993

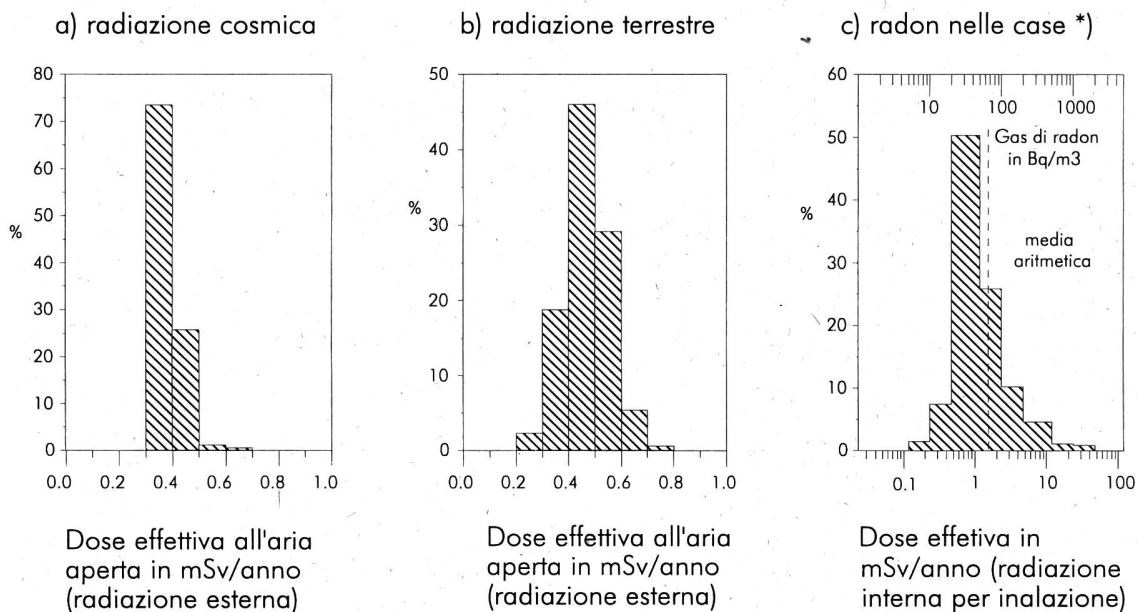


*) Conformemente alle più recenti raccomandazioni dell'ICRP, si è applicato al radon un nuovo fattore di dose (v. testo pag. A.41)

Figura 11: Distribuzione approssimativa delle dosi in Svizzera

Dati fondi sulle misure svolte fino al 1991 ponderati secondo la distribuzione della popolazione. Le misure relative al radon sono corrette delle differenze dovute al tipo di casa, alla distribuzione della popolazione et a fattori stagionali.

Il margine di variazione delle dosi imputabili al radon è assai ampio; si è perciò adottata una scala logaritmica



mente raccolti, è di circa 40 GBq e corrisponde ai dati forniti dall'Inselspital sulle sue emanazione se vi si aggiungono le quantità di iodio applicate a pazienti in trattamento ambulante. Nelle altre città controllate (Zurigo, Basilea e Losanna) il deflusso di iodio è nettamente inferiore, spesso sotto il limite di misura di 0,1 a 0,5 Bq/l, a seconda del laboratorio.

Poichè, in tutti i casi menzionati, le acque non sono destinate al consumo umano e vengono più tardi fortemente diluite con l'immissione nell'Aar o nel Doubs, si può escludere che la popolazione ne abbia tratto **dosi d'irradiazione** inammissibili. Del resto, non si sono costatate, nelle vicinanze delle aziende sorvegliate, concentrazioni particolarmente elevate; le dosi d'irradiazione della popolazione dovute alle emanazioni radioattive di tali aziende sono nettamente inferiori ai valori limite ammessi.

Nei **rottami metallici** destinati all'esportazione verso l'Italia si sono trovati nel 1993 quadranti di orologi contenenti radio, cure idropiniche e scaricatori di sovratensione, in uso prima del 1976, quando è entrata in vigore l'ordinanza sulla radioprotezione. Si sono inoltre trovate anche sorgenti di radiazioni da avvisatori di fumo a ionizzazione (ammessi) e parti metalliche attivate di acceleratori. La radioattività di queste fonti era modesta; né le persone né l'ambiente hanno mai corso un pericolo. In cooperazione con l'INSAI e i commercianti di materiali usati, l'UFSP ha preso provvedimenti atti nel limite del possibile ad impedire che in futuro sostanze radioattive vengano a trovarsi nei rottami metallici ¹¹⁾.

7. Valutazione del programma di sorveglianza

L'obiettivo principale della sorveglianza della radioattività è quello di determinare le dosi d'irradiazione della popolazione. Inoltre, si intende osservare l'accumulazione di radionuclidi nell'ambiente e le tendenze di sviluppo a lungo termine e controllare le immissioni radioattive di impianti nucleari e aziende.

Per quanto riguarda la **radioattività ambientale** artificiale, ampiamente diffusa nell'aria, nelle precipitazioni e nel suolo, la sorveglianza ha per oggetto attività modeste, spesso accertabili soltanto ancora con metodi di misura complessi e procedimenti di basso livello. Il programma di innovazione e automatizzazione della sorveglianza della radioattività degli aerosoli per mezzo della rete automatica **RADAIR** ¹²⁾ è proseguito anche nel 1993.

Oggetto principale del **programma radon** sono le ricerche nelle regioni di particolare rischio. Le completano gli studi sulla provenienza e il trasporto del radon nel suolo, i risanamenti sperimentali di case con elevate concentrazioni di radon e l'elaborazione delle relative raccomandazioni per l'edilizia. Dal 1994 riveste particolare importanza l'attuazione delle disposizioni relative al radon della nuova ordinanza sulla radioprotezione in cooperazione con le autorità cantonali. Grazie alla partecipazione impegnata dei Cantoni, il grado di sorveglianza della radioattività nelle **derrate alimentari** è sufficiente in tutto il Paese. I programmi di sorveglianza e i procedimenti d'accertamento applicati nelle **immediate vicinanze degli impianti nucleari** corrispondono allo stato attuale della tecnica. La rete di misura MADUK,

11) V. anche Bollettino dell'UFSP no 47/93 del 6.12.1993, pag. 857.

12) V. L. Ribordy, Ch. Murith & H. Völkle: *Das schweizerische RADAIR-Projekt: Ein automatisches Netz zur Überwachung der Radioaktivität der Luft*, in «Umweltradioaktivität, Radioökologie, Strahlenwirkung», Jahrestagung des Fachverbands für Strahlenschutz, Binz/Rügen/D, 28.-30.9.1993; pag. 933-938, ISSN 1013-4506, Edizione TÜV-Rheinland, Colonia.

Figura 12

Sorveglianza nei dintorni della CN di Gösgen-Däniken

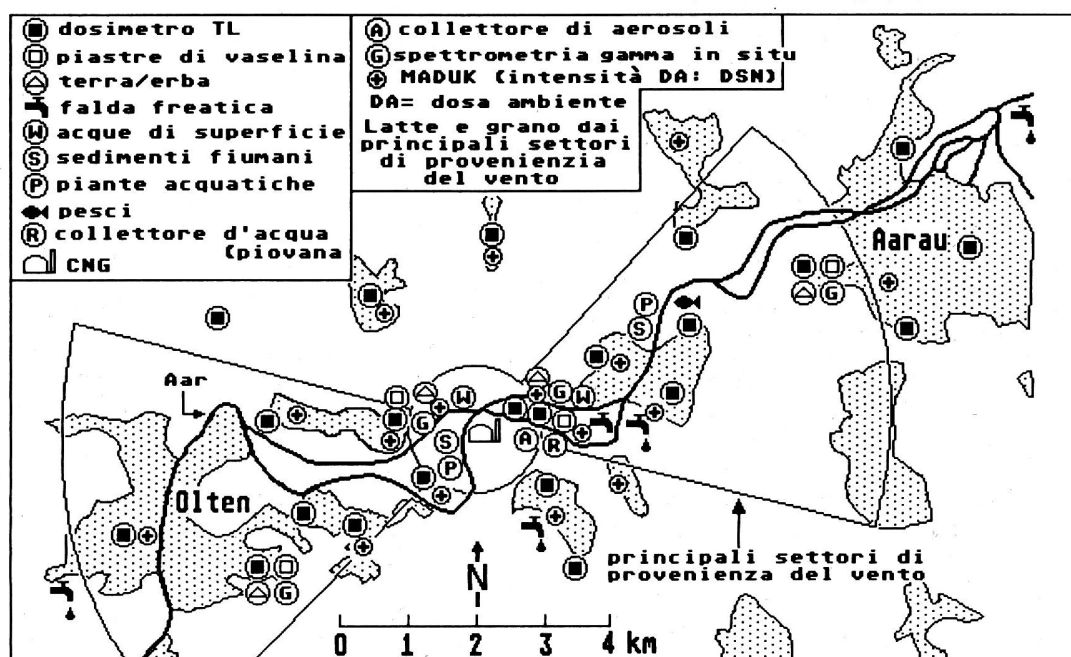
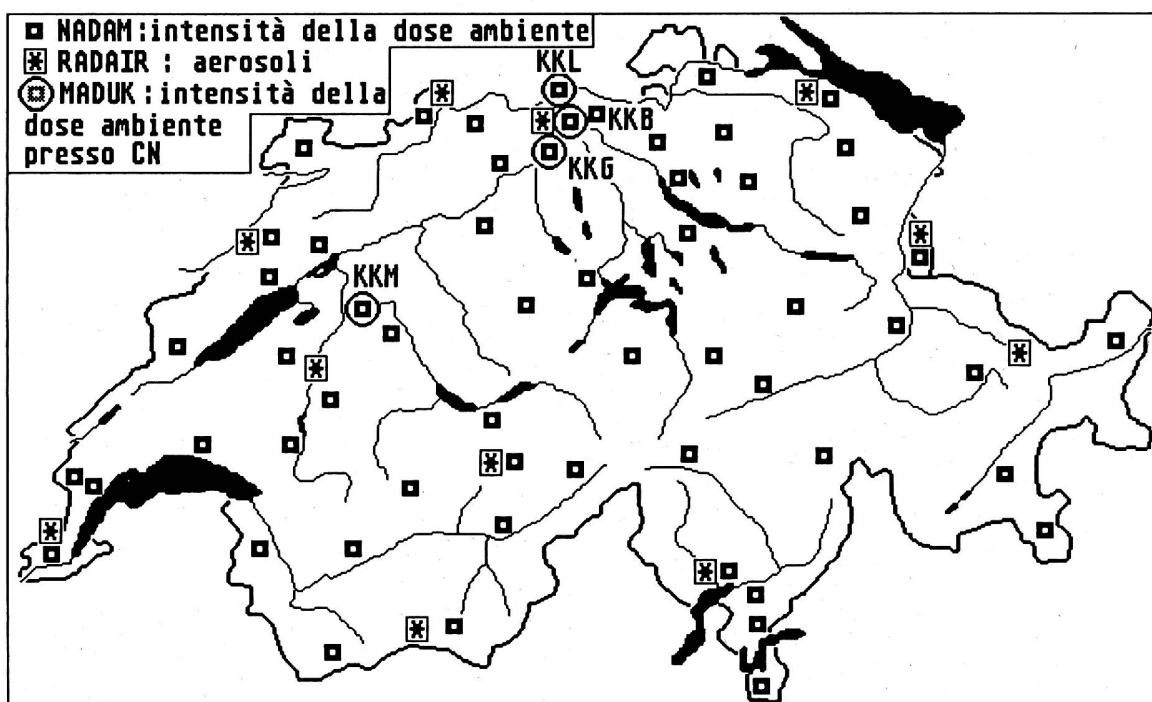


Figura 13

Reti automatiche di sorveglianza in Svizzera (CN = centrale nucleare)



entrata in servizio nel 1994, offre una possibilità di controllo addizionale. La diffusione delle emissioni liquide di radioattività nelle acque e nei sedimenti sottostanti le centrali nucleari è tema di un progetto dell'Istituto federale per l'approvvigionamento, la depurazione e la protezione delle acque (v. capitolo 3.10). Nell'ambito della sorveglianza operata nelle **immediate vicinanze delle aziende e degli ospedali**, si sono intensificati i controlli dell'acqua di scarico e degli impianti di depurazione presso gli ospedali con forte consumo di iodio nonché le misure in prossimità delle aziende di lavorazione del tritio.

8. Dosi d'irradiazione della popolazione (tab. 1; fig. 10 e 11)

Il maggior contributo all'esposizione a radiazioni naturali è sempre ancora quello del radon e dei prodotti del suo decadimento, soprattutto all'interno delle case: La media aritmetica ponderata, indicata nella tabella alla pagina A.56, è di 1,6 mSv/anno e quindi inferiore ai 2,2 mSv/anno menzionati nei precedenti rapporti; questo si deve unicamente al nuovo fattore di dose dell'ICRP per il radon.

I rimanenti **contributi naturali** alla dose d'irradiazione provengono dalla radioattività del suolo e dei materiali di costruzione, dalla radiazione cosmica e dai radionuclidi incorporati nell'organismo. La parte principale di quest'ultima componente è dovuta al potassio-40 che costituisce lo 0,12 per mille del potassio esistente in natura ed è incorporato soprattutto nel tessuto muscolare. Per confronto: la dose dovuta a radioattività artificiale ingerita con il cibo è inferiore a 0,01 mSv/anno.

Per quanto riguarda le dosi d'irradiazione provenienti da **fonti artificiali**, predomina la parte derivante dall'applicazione medica delle radiazioni ¹³⁾. La tabella indica l'esposizione media della popolazione in seguito questi esami e trattamenti (ad esempio la radiodiagnosi e l'applicazione di radionuclidi nelle medicina nucleare). Nel caso individuale, la dose dipende tuttavia in larga misura dal tipo e dalla frequenza dell'esame o trattamento medico.

Le ripercussioni dell'incidente nel reattore di **Cernobil** e le ricadute radioattive degli esperimenti con armi nucleari causano in Svizzera soltanto ancora modeste dosi d'irradiazione, soprattutto attraverso il cesio-137 sedimentato sul suolo o ingerito con il cibo.

Un contributo approssimativo di 0,1 mSv/anno deriva inoltre dalle sorgenti radioattive legate al nostro modo di vivere e dalle cosiddette "**fonti minori**", ossia da oggetti d'uso e beni di consumo che contengono quantità modeste di radionuclidi. Si tratta, ad esempio, di orologi con cifre luminose a base di tritio, dei radionuclidi naturali in piastrelle, reticelle, ceramica dentaria e avvisatori di fumo a ionizzazione, del polonio-210 aspirato con il fumo e delle dosi più elevate causate dall'aviazione civile ¹⁴⁾. Per quanto riguarda ad esempio quest'ultima, i

13) I dati sulle dosi d'irradiazione causate dalla medicina nucleare sono tratti da uno studio svolto nel 1989/90 all'Ospedale cantonale di Basilea (Prof. J. Roth & Dr. H. W. Roser). Le stime della dose media d'irradiazione della popolazione in seguito ad accertamenti radiodiagnostici si trovano in uno studio del 1978 (Prof. Dr. G. Poretti et al., Inselspital Berna); attualmente non sono probabilmente più da considerarsi esatte. Non esistono tuttavia ancora dati più recenti sull'irradiazione della popolazione derivante dalla radiodiagnosi (cfr. anche: R.L. Mini: *Dosisbestimmungen in der medizinischen Röntgendiagnostik*, ISBN 3-906401-16-6; Edizione M. Huber, Kerzers, 1992).

14) V. W. Burkard: *Gefahr aus dem Kosmos? Ein Beitrag zur Diskussion über gesundheitliche Risiken von Flugreisen infolge erhöhter Strahlenexposition*, in «Radiologie Aktuell», no 1/93, pag. 14-20.

Tableau 1: DOSI D'IRRADIAZIONE DELLA POPOLAZIONE SVIZZERA NEL 1993

Valori media 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	Media
naturale	radiazione terrestre	prodotti di decadimento dell'uranio e del torio e potassio-40 nel suolo, materiali di costruzione	0.2 - 1.5	0.45
	radiazione cosmica	dipendente dall'altitudine $D(\text{mSv/a}) = 0.324 \cdot e^{(0.38 \cdot z)}$ (z = altitudine in km)	0.3 - 0.6	0.34
	radionuclidi naturali nell'organismo umano	potassio-40, uranio e torio e prodotti del loro decadimento, tritio, carbonio-14 ecc.	0.2 - 0.5	0.38
legata al modo di vivere e da 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	bilancio globale (1986-2000): dose nel 1993:	0.2 - 5 ($\leq 0.01 - 0.1$)	0.5 ≤ 0.01
	ricadute delle armi nucleari	bilancio globale (1946-2000): dose nel 1993:	(0.5 - 5) ($\leq 0.01 - 0.02$)	1.2 ≤ 0.01
	evacuazioni degli impianti nucleari	dose massima per la popolazione nelle vicinanze	≤ 0.015	≤ 0.015
	evacuazioni di altre aziende	dose massima per la popolazione nelle vicinanze	≤ 0.03	≤ 0.03
	fonti minori e altre dosi imputabili al modo di vivere	es. orologi con cifre luminose, polonio-210 del fumo, volo e altre	≤ 5 (es. personale di volo)	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, 58'519 persone hanno subito nel 1993 11.7 homme-Sievert	0 - 25; meno di 1 mSv nel 96 % dei casi	0.20

contributi di dose della radiazione cosmica a un'altitudine di 10 km, rispettivamente 12 km corrispondono a 5, rispettivamente 8 μSv /ora. Il personale di volo subisce perciò una dose addizionale d'irradiazione annua di circa 5 mSv.

Anche se si presuppongono condizioni sfavorevoli per quanto riguarda il tempo passato all'aperto e il consumo di derrate alimentari, la dose d'irradiazione calcolata per chi abita nelle immediate vicinanze di **centrali nucleari, industrie e ospedali** come conseguenza delle emissioni radioattive è assai modesta.

Le 58'519 **persone professionalmente esposte a radiazioni** occupate nelle centrali nucleari, nell'industria, nel commercio, nei servizi pubblici, nella ricerca e nella medicina hanno subito nel 1993 dosi di 25 mSv/anno al massimo; il 96% dei valori era tuttavia inferiore a 1 mSv/anno. La dose individuale media è stata di 0,2 mSv/anno ¹⁵⁾.

Il 40 per cento circa dell'esposizione totale media della popolazione Svizzera a radiazioni, che si aggira sui 4 mSv/anno, deriva dal radon e dai prodotti del suo decadimento. Questo contributo presenta anche le più ampie oscillazioni, con valori massimi di 100 mSv/anno. Un altro 30 per cento (1,2 mSv/anno) si deve ad altre fonti naturali d'irradiazione esterna, circa un quarto alle applicazioni mediche e una minima percentuale alle rimanenti sorgenti radioattive artificiali. Il contributo di queste ultime (senza la medicina) è inferiore a 0,2 mSv/anno.

Traduzione italiana: Claudia Forni Degkwitz, Bülach

15) V. Rapporto del Gruppo peritale sulla dosimetria individuale della Commissione federale di radioprotezione: *Dosimetrie der beruflich strahlenexponierten Personen in der Schweiz 1993*, edito dall'Ufficio federale della sanità pubblica, Berna, maggio 1994.

A

OVERVIEW OF ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY AND RADIATION DOSES

H. Völkle Radioactivity Surveillance Branch (SUER)
Federal Office of Public Health, Ch. du Musée 3, CH-1700 Fribourg

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 1993, along with the interpretation of the data and the resultant radiation dose 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 radiation sources. With two exceptions, the nuclear power plants and other facilities licensed to handle radioactive substances remained within their annual release limits in 1993, and measurements carried out in the environment revealed no inadmissible radioactivity concentrations 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 a mean of 1.6 mSv and extreme values as high as around 100 mSv; 30%, or 1.2 mSv, may be ascribed to natural radiation, leaving less than 0.2 mSv ascribable to man-made sources, excluding medical applications.

1. Introduction

Wherever they go, human beings are accompanied by radioactivity and ionising radiation. Natural sources are cosmic radiation and the natural radiation present in the air, soil, water, plants and the human body itself. With the use of nuclear fission in atomic bombs and nuclear reactors, it has also become possible for artificial radionuclides to escape into the environment. In some cases, radioactive substances are also used in research, industry and medicine. It was the potential threat to the population resulting from the radiation released through 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, industries processing radioisotopes and hospitals.

2. Natural Radioactivity

Natural radionuclides have been present in the Earth's crust as long as it has existed. They are the long-lived potassium-40, plus the elements belonging to the natural decay chains of uranium and thorium. The uranium series also includes radon and its decay products, that are able to accumulate inside our houses, probably increasing the lung-cancer risk. About half of the terrestrial radiation dose (with a Swiss mean value of 0.45 mSv per year) is due to radionuclides contained in the Earth's crust. One kilogram of soil, for instance, contains several hundred

I: Units and Regulations

Radioactivity is a property of certain (instable) atomic nuclei to change without 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, millionth, thousand-millionth or million-millionth is written mBq, μ Bq, nBq and pBq, respectively (standing for: milli-, micro-, nano- and pico-). In a similar manner, thousands, millions, billions and trillions 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 ($1 \text{ nCi} = 37 \text{ Bq}$ or $1 \text{ Bq} = 27 \text{ pCi}$).

The population's **radiation doses** are expressed in a form known as the "effective dose" (E) and the unit is the millisievert (mSv). This, in terms of the whole body, is the sum of the (equivalent) doses of all irradiated organs, 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 **regulations** dealing with radioactivity and radiation are laid down in the radiation protection ordinance. They include, inter alia, the maximum permissible radiation doses for the population at large and for people exposed on account of their jobs. This latter category includes, for instance, workers in nuclear power stations as well as employees in medical centres, research bodies and industries that work with radioactive materials. The regulations also set limit values for both the general population and persons exposed at work which are applicable to radioactivity in the air we breathe and the water we drink.

The new **radiation protection ordinance**^{+) , which came into force on 1 October 1994, replacing the ordinance on radiation protection of 30.06.76, is based on the new radiation protection law (of 22.03.91) and the most recent (1991) recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP)^{*)}. For the first time, it has now introduced tolerance and limit values for radionuclides in food, which are published in the ordinance on admixtures and ingredients (FIV). If a tolerance value is exceeded, it means a deterioration in quality, but does not, of itself, mean that there is any risk in consuming the food concerned; this is, however being challenged by the competent authorities (such as the cantons' chief chemists). According to the latest ordinance, doses for people exposed in the course of their work should no longer exceed $20 [50]^{+})$ mSv per year, whilst those for the population at large from radioactivity in the environment, but excluding radon and medical applications, should no longer be greater than $1 [5]$ mSv/year. No industrial operation may release radioactive substances into the environment other than under proper supervision. The ordinance sets concentration limit values for the atmosphere and waters in places accessible to the general public. A person continuously exposed both through drinking water and breathing air would have an environmentally induced dose of around $0.2 [0.5]$ mSv from each of them. The maximum value for direct radiation is $5 [5]$ mSv per year for ambient doses in places accessible to the public and $1 [5]$ mSv in living, recreation and working areas. In the case of nuclear facilities, the licensing authority, the Nuclear safety inspectorate fixes emission maxima to ensure that nobody in the immediate neighbourhood can receive an additional dose in excess of 0.2 mSv per year .}

For **radon gas**, the radiation protection ordinance lays down a limit value of $1000 \text{ Bq per cubic metre}$ for living and recreation areas ($3000 \text{ Bq per cubic metre}$ for work areas). If these values are exceeded, then remedial work must be carried out on the buildings concerned. For new or converted buildings, a target value of $400 \text{ Bq per cubic metre}$ should not be exceeded. The ordinance also sets out who is to carry out radon measurements and how.

^{+) in 1993 the «old» Ordinance on radiation protection from 30 June 1976 was still valid. On this page the 1976 limits are given in brackets [...]}

^{*) 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}

becquerels of potassium-40, between 20 and 75 becquerels of radium-226 (uranium decay chain) and its descendent products, and between some 10 and 40 becquerels of actinium-228 (thorium decay chain) and its descendent products. Another contribution comes from cosmic radiation, and this increases the higher the altitude. On Lake Lugano, for instance, it may be only around 0.35 mSv per year, but in St. Moritz it is already up at 0.65. In addition, cosmic radiation creates further radionuclides in the atmosphere, such as tritium, carbon-14 and beryllium-7. Natural radiation also makes its way into our bodies through our food. A litre of milk, for example, contains around 50 Bq of potassium-40. The approximately 100 or 150 grams of potassium in the body of an adult woman or man, respectively, include 3000 or 4500 becquerels of radioactive potassium-40, leading to an annual internal dose of ca. 0.2 mSv. Combined with the other natural radionuclides in the human body, this results in a mean annual internal dose of around 0.4 mSv. Building materials also contain low levels of natural radionuclides. This means that the external radiation dose inside a building is, on average, around 20% higher than that outdoors.

3. Radon in dwellings (see section B.2)

With 1.6 mSv per annum ¹⁾, radon and its decay products account for nearly half the population's mean radiation exposure. Extreme values as high as 100 mSv/year were measured (cf. Fig. 11). Radon is a decay product from the radium that occurs naturally in the soil. It is an noble gas and mainly makes its way into buildings through their substructures and, once inside, tends to accumulate. If inhaled, its radioactive descendent products irradiate the lungs, thereby increasing the lung-cancer risk. If the findings of a recent Swedish epidemiological study ²⁾ are applied to Switzerland, then around 6% of all cases of lung cancer would have to be put down to radon. A regression analysis ³⁾ that was carried out in Switzerland on a regional basis in 1992 also revealed a weak correlation between radon levels and deaths due to lung cancer in the younger population; it also ascribed a few percent of the total number of lung-cancer cases to radon. Per year and per million inhabitants, 120 women and 730 men die of lung cancer in Switzerland. Taking the 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.

To date, «RAPROS», the Swiss national radiation programme that is coordinated by the Federal Office of Public Health, has made some 15 000 measurements in people's homes ⁴⁾. For residential buildings they produce a weighted mean of around 60 Bq per cubic metre, with extreme values of several thousand becquerels. These measurements lead to the conclusion

-
- 1) This value is lower than the figure of 2.2 mSv/year given in earlier reports. This is related to the ICRP's new radon dose factor. The mean radon level in Swiss residential accommodation remains unaltered at around 60 Bq per cubic metre. The new dose factor is based on the ICRP publication number 65 *Protection against Radon-222 at home and at work*, Annals of the ICRP, vol. 23/2 (1993); ISBN 0-08-042475-9.
 - 2) *Residential Radon Exposure and Lung Cancer in Sweden*, G. Pershagen et al. in the «New England Journal of Medicine», Vol. 330/3 (1994), pp 159-164.
 - 3) H. Völkle and C.E. Minder: *Lungenkrebs und Radon in Wohnräumen* in «Umweltradioaktivität, Radioökologie, Strahlenwirkung», proceedings of the annual conference of the *Fachverband für Strahlenschutz*, Binz/Rügen, Germany, 28-30.09.93, pp 933-938, ISSN 1013-4506, Verlag TÜV-Rheinland, Cologne.
 - 4) *Radon-Programm Schweiz «RAPROS»*, Report on Results for the Years 1987-92, Swiss Federal Office of Health, Berne, March 1992, ISBN 3-90523-00-5

II: What Effect does Radiation have on people?

Depending on its type and energy, **ionising radiation** may be able to penetrate matter, thereby transferring a part of its energy to the atoms and molecules of the irradiated substance. This causes the material to heat up and its atoms to ionise, resulting in the breaking of chemical bonds. In the case of biological tissue, cell functions are disrupted (for example, a cell becomes cancerous), genetic information is modified (for example, mutations) or the cell is killed off. Alpha, beta or gamma radiation, however, (by way of contrast to heavy charged particles or neutrons) does not generate radioactivity in the irradiated material itself; food that has undergone gamma irradiation is not radioactive.

The term **external radiation** is applied whenever the radiation source is outside of the human body; if the radionuclides enter the body either through the respiratory system or in food and cause radiation from inside, then it is known as **internal radiation**. When it comes to computing the radiation dose of an individual, however, the decisive consideration is how much he or she consumed of the food under investigation or how much time he or she spent inside a particular radiation field. Thus it is necessary to measure not only the radionuclide content of the air, water and food but also radiation present in places where people spend time. For this latter case, that is known as the ambient dose equivalent, this report uses a conversion factor of $1 \text{ Sv} \approx 100 \text{ R}$ or $10 \text{ nSv} \approx 1 \mu\text{R/h}$.

When talking about the origin of radiation doses, a distinction is made between exposure to **natural** and **man-made** radiation. The former includes the naturally occurring radiation in the Earth's crust and building materials, radon, cosmic radiation and the natural radionuclides in the human body. Sources of man-made radiation are the fallout from the nuclear weapons tests of the 1950s and 60s, the Chernobyl reactor accident and also emissions of radioactivity from nuclear installations, industries and hospitals, plus other medical and technical applications of radiation and radioactivity.

When considering the effects of radiation, a distinction is made between the impact on the irradiated individual, such as the occurrence of cancer, which is referred to as **somatic**, and

impacts that only become evident in offspring, such as deformity in new-born children, which take the form of **genetic damage**. The effect also depends on the dosage rate, ie. The dose accumulated per unit of time. This effect is greater for concentrated radiation over a matter of minutes or hours than for the same dose spread over months or years.

The International Commission for Radiological Protection (ICRP) makes a distinction between two types of radiation effects in people. A **stochastic** effect is one where the likelihood of occurrence, though not the severity, (for instance, of developing cancer) increases with dose and where there is no lower limit below which it cannot occur. In 1991, the ICRP published so-called risk factors for the incidence of such harm at low dose levels. These show that, per sievert, 5% of irradiated people die of a radiation-induced cancer or that 1% of children born to irradiated parents have serious genetic disorders. The second type of radiation damage, known as **deterministic** concerns acute harm caused at high doses. This only occurs above a certain dose threshold and the severity of the disease worsens with increasing doses. It has been determined, for instance, that following short-term, whole-body radiation of 2 or 4 Sv, half the victims will fall ill or die within a few weeks, respectively.

These risk factors lead to the following estimated values for the **somatic radiation risk of people living in Switzerland**, relative to the number of spontaneously occurring cancers:

- natural external radiation (excluding radon): around 2%;
- radon in the home: around 5% of lung-cancer cases;
- radiation from man-made sources (excluding medicine): less than 0.4%.

Genetic effects per generation in the form of genetic damage to offspring (dominant or X-chromosome linked mutations), compared with the number of live births:

- natural external radiation (excluding radon): around 1-6%;
- radiation dose from man-made sources (excluding medicine): around 0.2-1%.

that the substructure of the building must be the main route and that neither building materials nor drinking water play an important part. The main parameters are the radon content of the soil, and soil permeability, as well as inadequacies in the sealing of floors and walls. An important factor is the chimney effect caused by warm air rising inside the building, thereby aspirating radon out of the foundations. Concentrations are normally highest in cellars and decrease from floor to floor. It is often the case that older buildings have higher values than newer ones and that detached houses and farm buildings have higher values than blocks of flats. Suitable remedial construction work can be effective on buildings with high radon values; these might, for instance, include active or passive extraction of the air from cellars and basements (or crawl spaces) and the installation of sealing layers between buildings and the underlying soil ⁵⁾.

Measurements carried out in Swiss dwellings in the context of the RAPROS programme ¹⁾ have now placed us in a position to make a reliable determination of mean radon concentrations and the resultant radiation doses for the population. However, so far only three residential buildings in every thousand have been measured, and it would be worth aiming to cover one percent. The top priority for further investigations is to detect higher concentrations of radon. Appropriate regional campaigns, including geological aspects, are being conducted in cooperation with the cantonal authorities in areas where higher values have been detected in the past or where geological criteria would lead us to expect them.

4. 1993 Environmental Monitoring Results (see section B.3.2)

The man-made **environmental radioactivity** spread out over large areas in the atmosphere, precipitation, bodies of water, soil and grass, which was the consequence of earlier atomic-weapons tests and the Chernobyl reactor accident, has declined steadily in recent years (see section 3.1). Today it has reached such low levels that it is often no longer detectable even with the most sensitive measuring techniques, and its contribution to radiation exposure is negligibly low. All that can still be detected in the atmosphere are minor traces of caesium-137 ⁶⁾, alongside naturally occurring radionuclides, such as beryllium-7, lead-210 and the descendent products of radon. The radioactive noble gases, krypton-85 and argon-37 are indicators of either the reprocessing of nuclear fuels or underground atomic-weapons tests (see section 3.2). When it comes to carbon-14, which is created by cosmic radiation, concentrations in the biosphere today are still some 13% higher than the natural level (see section 3.2). In the immediate vicinity of nuclear power facilities, they are some 10% higher still as a result of the radioactive emissions from there. The tritium content of **precipitation**, which rose to several hundred becquerels per litre in the 1960s, has diminished continuously ever since. Today, it is only a few becquerels per litre. In the immediate vicinity of industrial installations that handle tritium, higher values are, however, recorded in places. Other man-made radionuclides can no longer be detected in rainwater.

5) Recommendations on remedial constructional measures for high-radon buildings can be obtained from the Radiation Protection Division at the Federal Office of Public Health, Berne.

6) Immediately after the Chernobyl reactor accident, several becquerels of caesium-137 per cubic metre were recorded for a short period of time.

Figure 1

Value ranges of radionuclides in the outdoor atmosphere in 1993

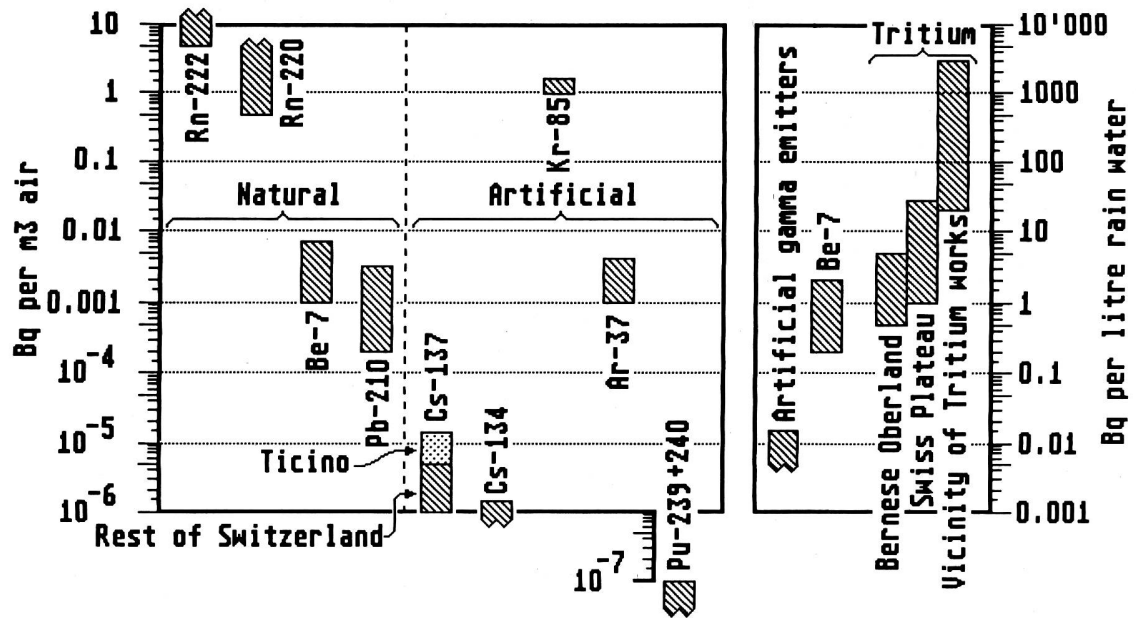


Figure 2

Radionuclides in rain in 1993

Figure 3

Radionuclides in grass in 1993

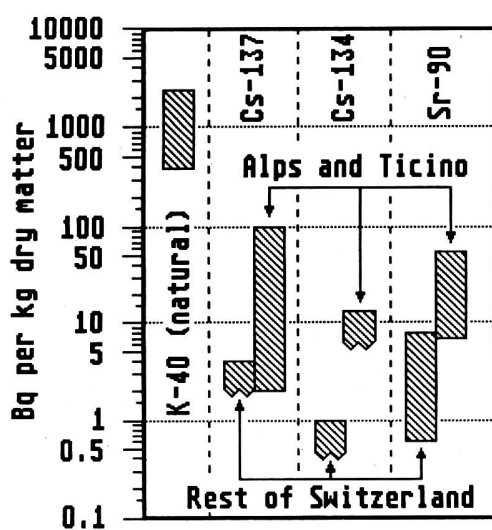
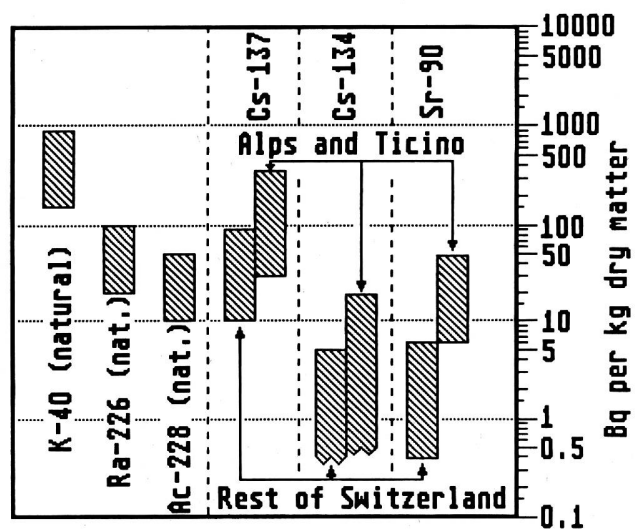


Figure 4

Radionuclides in soil in 1993



Measurements are still being made in **soil** and **grass** (see Figs. 3 and 4) to look for caesium-137, primarily from the Chernobyl accident, and strontium-90, resulting from the nuclear-weapons tests (see sections B.3.1 and B.3.6). In the case of caesium-137, where only a part comes from the nuclear tests, the typical pattern of the Chernobyl deposits can still be detected. The caesium deposited on the surface decays, and on natural soils, gradually sinks to deeper layers - by 1993, 10 cm for the Chernobyl component and up to 30 cm for the fallout from the bomb tests. On farmland, ploughing has the effect of distributing it over a depth of around 30 cm. On forest floors, caesium stays in the top layer longer, which accounts for the fact that, today, its contribution to the external radiation dose is higher in forests. Turning to strontium-90, which originates almost exclusively in fallout, we now generally find an even mixing down to depths of about 30 cm.

The monitoring of aquatic systems includes **surface water, ground water, fish, aquatic plants, sediments and also discharges from sewage works and landfills** ⁷⁾. In the water samples taken at regular intervals (see Fig. 5), it was generally not possible to detect any man-made radionuclides with the exception of tritium. In places, the tritium measured in the river-water samples reflects anthropogenic influences (luminescent-paint industry and nuclear facilities - see section B.3.4). The sediments still contain caesium contributions, primarily from the Chernobyl accident, but downstream from nuclear power stations there are also contributions from the liquid effluent they discharge, the same holds true for hospitals where iodine-131 is detected in sewage sludge (see section 6).

The **monitoring of radioactivity in food** is carried out in close cooperation with the cantonal laboratories (see section B.3.5). Taking staple foods, such as milk, cereals and meat, the level of artificial radiation, ie, caesium-134, caesium-137 and strontium-90 is generally below the detection limit in lowland areas and on the northern Alpine slopes. In the case of game, where scattered high caesium values resulting from the Chernobyl accident are still found, there is, nonetheless, a clear downward trend - not, however, with certain species of indigenous fungi, mainly *boletus badius* and *rozites caperata*, where individual caesium-137 values as high as 1500 Bq/kg are still to be found. Given that game and mushrooms are only consumed in small quantities, the resulting radiation dose is small. For 1993, the radiation exposure that would be caused by artificial radionuclides in food for a person living in Switzerland and eating a typical sort of diet would by now be at a level of a few thousandths of a millisievert. Investigations that were carried out in 1991 also demonstrated that the regular consumption of standard, commercially available mineral waters with low levels of naturally occurring radionuclides would mean a dose of at most a few hundredths of a millisievert per year ⁸⁾.

The **outdoor ambient doses rates** (see Figures 7 and 8) that are recorded on the automatic NADAM network (see section B.3.8) and by other measurements, show values of up to 1.8 mSv per year in the Alps and around 1 mSv per year in the rest of Switzerland. Today, the contribution caused by the caesium-137 from the Chernobyl accident is still at a level of up to 0.6 mSv per year in Ticino, between 0.1 and 0.4 mSv per year in the Alps, parts of the Jura

7) Data for the immediate neighbourhoods of nuclear facilities or factories and hospitals is discussed in sections 5 and 6 respectively.

8) For details, please refer to the Swiss Federal Office of Public Health's annual report on environmental radioactivity for 1991, section 3.5.A, dealing with "natural radionuclides in mineral waters resulting from the uranium and thorium decay series"

Figure 5

Radioactivity in rivers in 1993

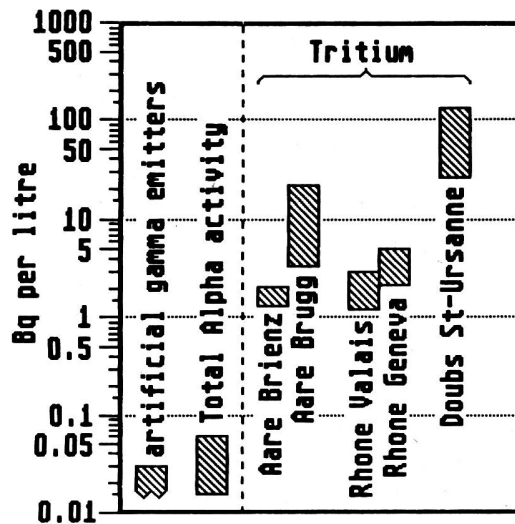


Figure 6

Radioactivity in staple foods in 1993

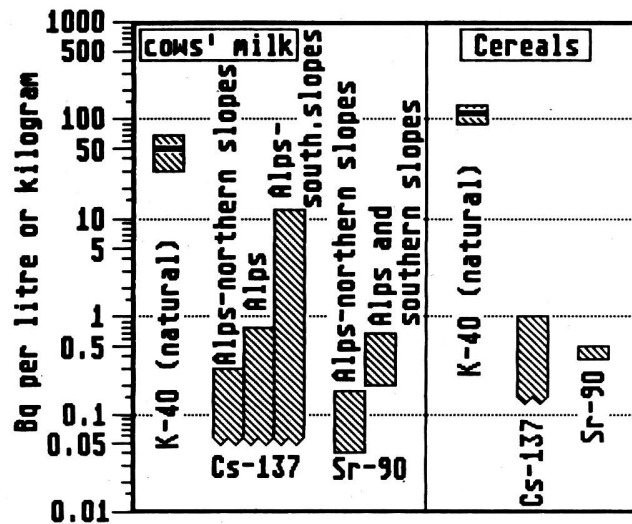


Figure 7

Caesium-137 deposits

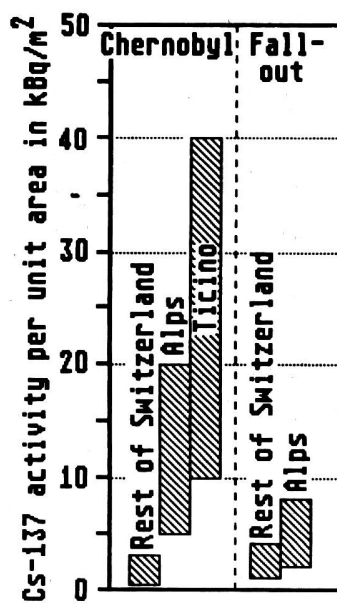
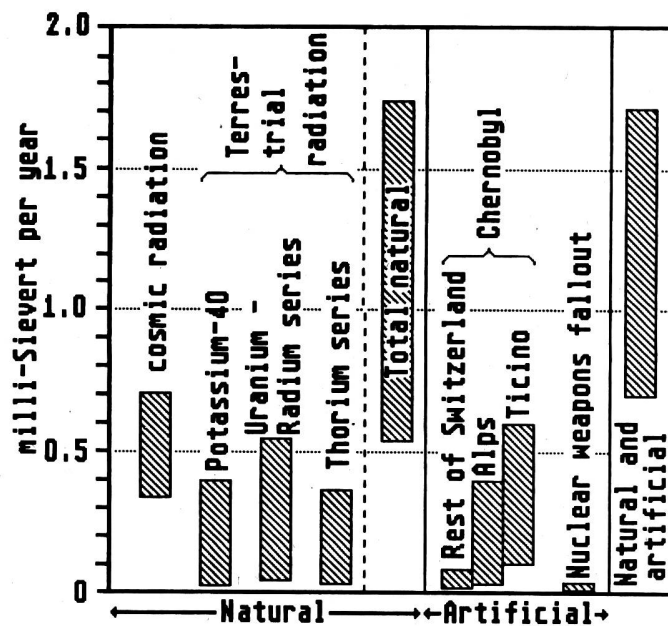


Figure 8

Contributions to the outdoor ambient dose in 1993



and Eastern Switzerland, and between 0.01 and 0.1 mSv per year in the rest of the country (see section B.3.3). Over the last six years, the NADAM stations have observed an annual fall of around 3% in this contribution.

Inside **residential buildings** (see section 3.12), the walls have the effect of somewhat attenuating the external radiation dose compared with outdoors. On the other hand, there is an additional contribution from radionuclides in the building materials. This latter factor normally has a greater effect than the attenuation through the walls. This results in a mean value of around 1.2 for the "housing factor" - the term applied to the ratio between indoor and outdoor dose levels. Assuming that people spend about 80% of their time indoors, the mean external radiation exposure for the Swiss population is around 0.8 mSv per year. These conclusions are confirmed both by dose measurements inside residential building carried out in Canton Fribourg and by analyses of radionuclides in building materials.

As a final check in the overall monitoring chain, **radioactivity measurements** are made on the **human body** (see Fig. 9). These include strontium-90 assays on milk teeth and the bones of people who have just died as well as caesium-137 measurements on people at work and schoolchildren (see sections B.3.6 and B.3.7). Physiologically, strontium behaves in a manner similar to calcium, and human beings accumulate it especially in their skeletons and teeth, whereas caesium has a metabolism similar to that of potassium, making its way primarily into muscular tissue. The mean strontium-90 concentration in milk teeth and vertebrae (it is determined in terms of calcium content) were 0.024 and 0.056 Bq per gram of calcium, respectively, corresponding to an internal dose of 0.002 mSv per year. The caesium-137 levels measured in high school students in Geneva were 8 Bq per kilogram of body weight in girls and 18 in boys. That leads to an internal radiation dose of less than 0.001 mSv per year.

5. Neighbourhood of Nuclear plant (see section B.4)

The limit values set for emissions in the operating licences granted to the nuclear power stations in Beznau, Gösgen-Däniken, Leibstadt and Mühleberg as well as the Paul Scherrer Institute (PSI) are intended to keep dose levels for the population living in the immediate vicinity below 0.2 mSv per year. There is a mandatory requirement for these bodies to carry out a continuous monitoring of their **radioactive emissions** into the environment through exhaust gases and waste water and to keep balance sheets (see section B.4.1). The Nuclear Safety Inspectorate (*Hauptabteilung für Sicherheit der Kernanlagen, HSK*) performs its own measurements to countercheck the reported figures and calculates the resulting maximum radiation doses for the neighbourhood population⁹⁾. With two exceptions (discussed below), the nuclear facilities remained within their annual limit values in 1993. The maximum radiation exposure for the population living near the Mühleberg nuclear power station was 0.015 mSv; near the Beznau, Gösgen-Däniken and Leibstadt facilities it was less than 0.006 mSv. For the three last named, there is also the highest percentage dose contribution of

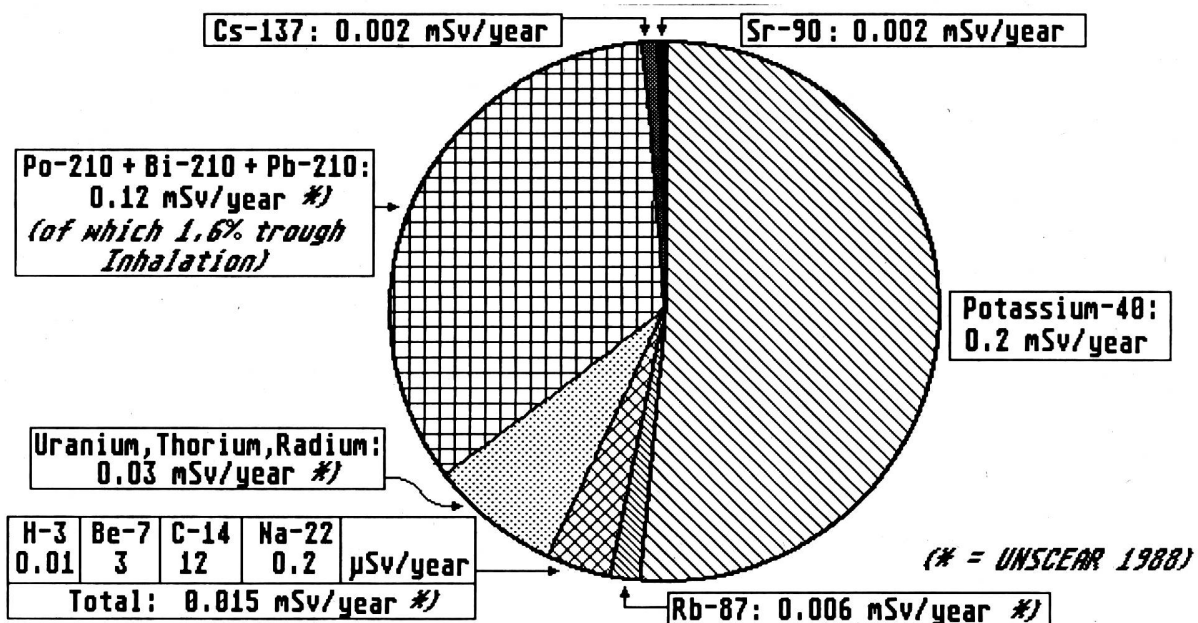
9) See the 1993 Swiss Report on Nuclear Power Stations. Order number (German): HSK-AN-2661/KSA-AN-1786, May 1994, *Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen*, Villigen-PSI.

III: Who is Responsible for Monitoring?

The **radiation protection ordinance** places responsibility for monitoring **radioactivity in the environment** in the hands of the Federal Office of Public Health. In taking samples and making measurements, this office cooperates closely with other public bodies and laboratories at federal level and also with the universities; it also liaises closely with the cantonal laboratories especially over the monitoring of food. For monitoring the neighbourhood of nuclear installations (cf. Fig. 12) and industries processing radioactive materials, measurements are carried out jointly with the competent supervisory and licencing authorities, namely the Nuclear Safety Inspectorate or the Swiss National Accident Insurance Organisation. The latter is responsible for the use of radionuclides throughout industry, whereas the Federal Office of Public Health supervises applications in medicine, research and academia. The results of environmental monitoring and the consequent radiation doses for the populations are published in the office's annual reports.

The **ordinance on the emergency organisation in cases of elevated radioactivity** (of 26 June 1991) sets out **who is competent for what in the event of a catastrophe** involving a threat to the population through elevated radioactivity resulting from the explosion of nuclear weapons, accidents in nuclear power stations, industrial and transport accidents involving radioactive substances, crashes of satellites with nuclear reactors on board, etc. This emergency organisation encompasses the National Emergency Operations Centre (NAZ), which is on round-the-clock standby and is reinforced with additional experts in case of need, the Radioactivity Steering Committee, which continuously assesses the situation and advises the government over what measures to decree, plus a sampling and measuring organisation, made up of the automatic measuring networks and laboratories to carry out a continuous assessment of the radiological situation throughout the country. When protective measures need to be ordered with a view to minimising the health risk to the population following an incident with elevated radioactivity, the Swiss Dose/Measures Concept is used to assist decision-making.

Figure 9 1993 internal radiation doses: 0.38 mSv/year
Mean radiation doses due to radionuclides in the body
(excluding direct radon decay products)



carbon-14 emissions. For the neighbourhood of the Paul Scherrer Institute, the maximum doses for the population calculated from the emission figures were 0.012 mSv per year.

At the PSI, three **incidents** involved the release of higher levels of radioactivity to the environment and, in two cases, the short-term emission levels were exceeded. On 31 August some 150 GBq of Xenon-123 leaked from the isotope production unit PSI-West (as had already happened once in 1992), corresponding to about 80% of the short-term emission limits. This caused a maximum additional dose for the local population of 0.001 mSv. On 1 September 1993, there was a higher emission of tritium (170 GBq in the form of HTO) from the radioactive waste laboratory. The short-term limits were exceeded by a factor of 2.7. According to calculations, the maximum dose for the local population was 0.004 mSv. A further higher emission of 1250 GBq of tritium (three times the short-term limits) occurred in the week between 25 November and 2 December 1993. It involved the PSI's radioactive waste-incineration unit. This led to a maximum dose of 0.012 mSv for the local population. The immediate reaction was to stop the incineration of wastes containing tritium and to introduce continuous monitoring for tritium in flue gases. There is also an urgent need to sort waste better prior to incineration.

At the former **Lucens** experimental nuclear power station, where the underground cavern was filled with concrete in 1992, observations of the radiological and chemical characteristics of seepage water are being made during a one-year monitoring period.

Monitoring the immediate environs of nuclear facilities (see sections B.4.2 and B.4.3) involves close liaison between the Nuclear Safety Inspectorate and the Federal Office of Public Health, plus a number of other departments. The measurement programmes and methods include not only local doses and also radioactivity in the soil, grass, cereals, milk and other farm produce, but also river and ground water, fishes, aquatic plants and sediments. They are complemented by in situ measurements, helicopter measuring flights (see section 3.2) and carbon-14 determinations on tree leaves (see section 3.2). Radioactivity monitoring in the vicinity of nuclear facilities during the year under review did not detect any concentrations or dose levels above the targets. Some, albeit generally minor, effects from the nuclear facilities in the form of direct radiation in the immediate vicinity of boiling water reactors as well as in sediments and aquatic plants downstream from nuclear reactors can be detected. This also applies to the immediate neighbourhood of the PSI following the incidents reported above. It is also possible to measure higher levels of carbon-14 in the immediate vicinity of nuclear plant. In the case of Leibstadt, the increase is 80-120 % by comparison to the natural background, for Beznau/PSI, 100 % and next to the PSI Saphir reactor, 120-470 %. The effects of the radiation exposure suffered by the population as a result of this environmental radioactivity due to emissions from nuclear facilities are radiologically insignificant.

In 1993, the Nuclear Safety Inspectorate (HSK) commissioned an automatic monitoring network for local ambient dose rates in the near vicinity of Swiss nuclear facilities (called "MADUK"). It is comprised of 12-18 measuring stations per nuclear site, equipped with Geiger counters. The HSK collects all this data; the National Emergency Operations Centre (NAZ) and Radioactivity Surveillance Branch (SUER) also have direct access to it. The purpose of this network is to ensure that the authorities and the people at large are quickly infor

IV: What is Monitored and who does the Measuring?

a) Objectives of the measuring programme

- to monitor the spread of **environmental radioactivity** both in space and time, in order to establish long-term trends and accumulations of radionuclides;
- to monitor the **environmental concentrations** caused by man-made radionuclides, especially related to nuclear plant, industrial operations and hospitals; to supervise compliance with environmental concentration limit values;
- to establish the **population's radiation doses** from artificial and natural sources. Radon in the home is particularly important in this respect.

b) Automatic measuring and early-detection network (see Fig. 13)

- The **NADAM** network, that comprises 58 stations, carries out continuous measurements of ambient dose rates throughout Switzerland; its computer centre is housed at the National Emergency Operations Centre (NAZ) in Zurich.
- The **MADUK** system monitors doses in the near vicinity of nuclear power stations, with 12-18 measuring points for each of them; it is the Nuclear Safety Inspectorate that is responsible for their operation and for data processing;
- The **RADAIR** network monitors aerosol radioactivity at ten different points in Switzerland and one in the Principality of Liechtenstein; this network is currently being built up and is intended to replace the existing measuring equipment (without data communication); responsibility for its operation is in the hands of the Radioactivity Surveillance Branch Section of the Federal Office of Public Health.

c) Further routine measurements

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, etc. 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 vertebrae (post-mortem) to determine strontium-90. There are special programmes for the neighbourhood of nuclear facilities (see Fig. 12) and industries processing radioactive isotopes; the same goes 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, Nuclear Safety Inspectorate and the Swiss National Accident Insurance Organisation;
- the **cantonal laboratories** responsible for monitoring food;
- **other institutions at a national level**: National Emergency Operations Centre (NAZ), Institute for Geophysics at the Swiss Federal Institute of Technology in Zurich; Paul Scherrer Institute (PSI), division for radiation hygiene; Swiss Federal Institute for Water Resources and Water Pollution Control (EAWAG); the army's AC laboratory; the national hydrology and geology unit at BUWAL; Federal Research Institute for Agricultural Chemistry and Environmental Hygiene (FAC).
- **University Institutes**: Institute of Applied Radiophysics Lausanne; Berne University; Geneva cantonal hospital; Berne Inselspital; Basle cantonal hospital.

med about the radiological state-of-affairs and, in particular, to ensure that in the event of an incident, a speedy appraisal of the situation will be possible.

In 1993, the HSK commissioned EAWAG to start a project to investigate the spread of radio-nuclides from nuclear plant in rivers and sediments, and it has already produced some interesting initial results. It shows, for instance, that a considerable amount of the cobalt-60 remains in solution or linked to particles of $<0.2\mu\text{m}$ and can thus be transported longer distances in the river water than had been previously assumed (see section B.3.10).

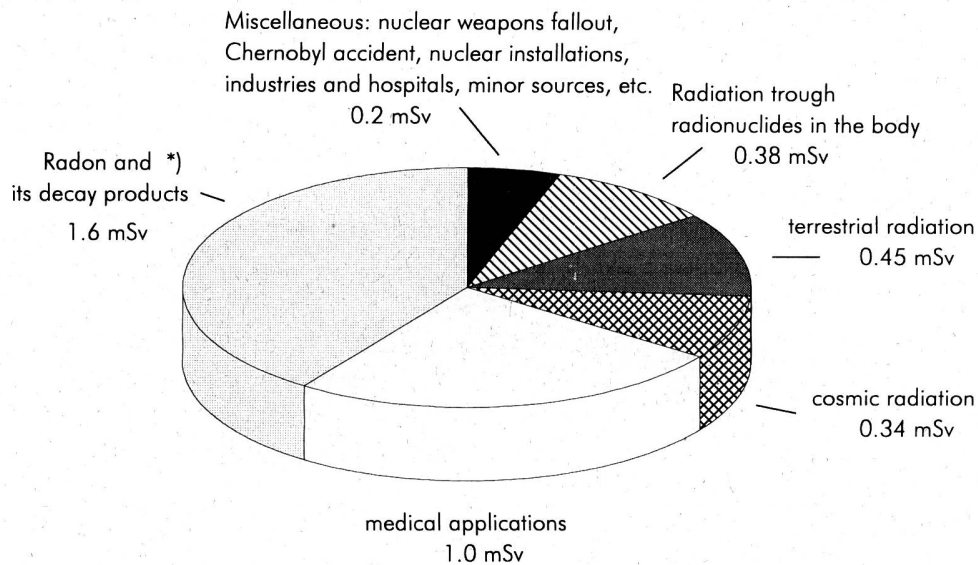
6. Neighbourhood of Industries and Hospitals (see section B.5)

Anybody handling radioactive materials needs a **licence**. In the case of medicine, research and academia, the supervisory organisation is the Federal Office of Public Health (industrial inspectorate section); in the case of industrial operations, analytical laboratories and the corresponding operations and departments of the public administration, it is the Swiss National Accident Insurance Organisation's (SUVA) physics section. When operations involve the processing of larger quantities the supervisory authority insists that a complete balance sheet of emissions of radioactive materials be kept. As appropriate, the corresponding environmental monitoring will also be carried out (precipitation, surface waters, springs, etc.). This latter provision applies to the companies Radium-Chemie of Teufen (canton Appenzell) and mb-Microtec of Niederwangen (canton Berne), both of which are involved in the manufacture of tritium-based luminescent dyes and/or tritium-gas fluorescent-light sources. Environmental monitoring is also carried out around the town of La Chaux-de-Fonds, where the clock and watch industry uses fluorescent dyestuffs.

In 1993, all the **industrial undertakings** that are required to submit an emission balance sheet to SUVA remained within the limits set in their licences for the emission of radioactive substances into the environment (see section B.5.1). Although measurements in the vicinity of industries in the La Chaux-de-Fonds region and in Teufen (Appenzell) do not show any values above the guidelines, there has, however, in recent years, been an upward trend in tritium in precipitation. In Teufen the precipitation activity was up to 3 kBq/l in 1993 and in La Chaux-de-Fonds, 0.3 kBq/l. In 1993, the discharge from La Chaux-de-Fonds sewage works still had a tritium concentration of less than 12 kBq/l ¹⁰). At around 30 TBq, the amount of tritium flowing through the sewage works in the course of the year was somewhat lower than the previous year; the value for the river Doubs next to St. Ursanne may be estimated at around 50 TBq. The precipitation sample taken from the neighbourhood of Niederwangen showed tritium concentrations of between 0.02 and 0.9 kBq/l, with values of up to 0.027 kBq/l in Berne, six kilometres away (for an annual mean of 0.006 kBq/l). Atmospheric moisture measured in Niederwangen produced tritium results of 3-18 Bq per cubic metre. Additional samples of water, milk and vegetables taken from the area around mb-Microtec showed up to 0.15 kBq/l, although the level of activity falls sharply with increasing distances away from the factory (see sections B.5.3 and B.5.4). These measurements confirm early urine

10) The radiation protection ordinance that has been in force so far lays down a guide value of 12 000 Bq/l for waters to which the public has access ($C_w/300$ according to Art. 107). The new radiation protection ordinance of 22 June 1994 also stipulates a value of 12 000 Bq/l (LA/50).

Figure 10 : Mean annual effective dose of the Swiss population in 1993 in milli-Sieverts

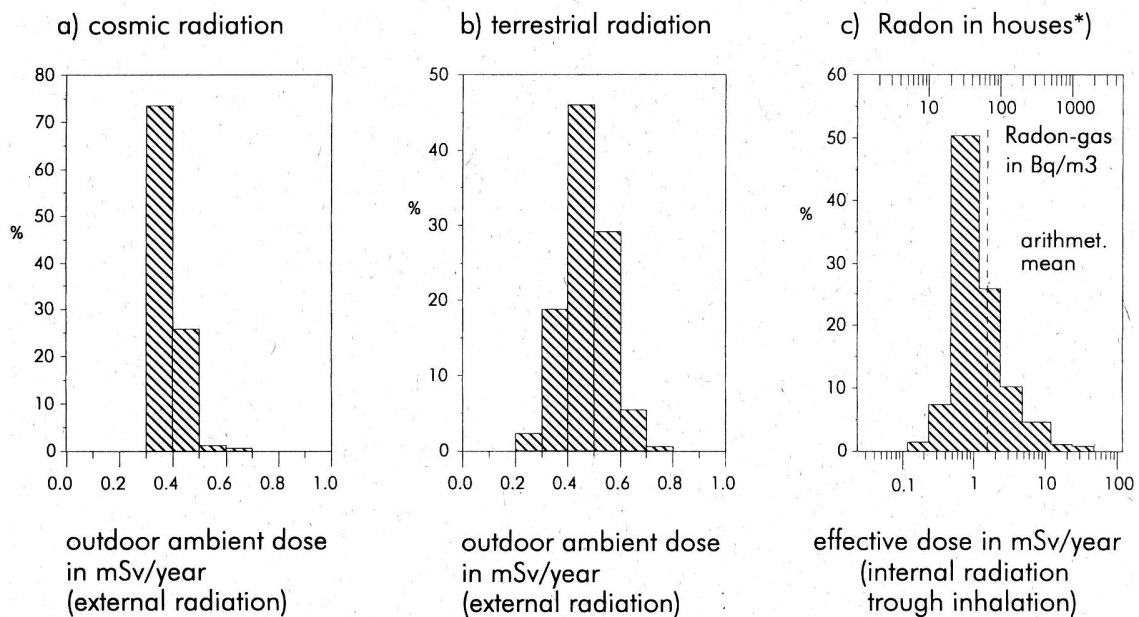


*) For radon a new dose factor has been applied in accordance with the latest ICRP recommendations (see text, page A.60)

Figure 11: Approximate frequency distribution of radiation doses in Switzerland

Data weighted according to population distribution, based on available measurements up to 1991; radon data corrected for house type, population distribution and summer/winter difference

Attention is drawn in particular to the big variation range in radon dose (logarithmic scale !)



results showing tritium doses of up to a maximum of 0.03 mSv per year for people living next to the company.

The emissions from **hospitals** in the bigger cities of Zurich, Basle, Berne and Lausanne are monitored through regular samples taken from sewage works; the main substance involved is iodine-131 used in thyroid treatments (see section B.5.2). Both these samples and some of the samples taken from sewage sludge frequently contain traces of iodine-131, whereas water sometimes has detectable traces of tritium. In 1993, the iodine-131 values in the water discharged from Berne sewage works never exceeded the 5 Bq/l-mark. The iodine-131 discharge balance for the Berne region of around 40 GBq for 1993 based on these weekly sewage-works samples tallies so far with the emission data reported by the *Inselspital*, only when the iodine quantity applied to outpatients is added to it. This latter accounts for the major part of iodine discharged in the Berne conurbation, whereas controlled releases from the cooling pond operated by the nuclear medicine unit at the Berne *Inselspital* account for only a few percent. For all the other cities monitored (Zurich, Basle, Lausanne), the iodine discharges are significantly lower, and measurements at the sewage works often fall below the detection threshold of between 0.1 and 0.5 Bq/l, depending on the laboratory.

Since these waters are not used for drinking and since they are very much diluted in the Aare and Doubs rivers, respectively, it is possible to exclude any inadmissible **radiation dose** affecting the population. Moreover, no inadmissible radioactivity concentrations was found in the immediate environs of the facilities monitored, and the radiation doses that result for the population are way below the corresponding guidelines.

In **consignments of scrap metal** destined for Italy in the course of 1993, clock faces, radium drinking cups (so called Radon-charging devices for drinking water) and surge voltage protectors were found to contain radium, originating from a period before the 1976 radiation protection ordinance came into effect. In addition, radiation sources were found from (authorised) ionising smoke detectors and activated metal particles from accelerators. The level of activity from all these sources was very low, so that there was never any danger for people or the environment. The Federal Office of Public Health, working in close liaison with SUVA and the scrap-metal dealers, has introduced measures that should ensure that, in future, no radioactive substances make their way into scrap metal ¹¹⁾.

7. Appraisal of the Monitoring Programme

The first purpose of the monitoring programme is to determine the radiation doses to which the public has been exposed. It is, however, also intended to monitor the accumulation of radionuclides in the environment and long-term trends, and also radioactive concentrations in the vicinity of nuclear plant and industries.

During the monitoring of **man-made radiation** spread over large areas in the atmosphere, precipitation, waters and soils, the activity levels are low and often only detectable if more is invested in measurements and special low-level techniques are applied. The modernisation and automation of radioactivity monitoring of aerosols through an automatic network

¹¹⁾ For further details, see Bulletin of the Federal Office of Public Health, No. 47/93, 06.12.93, page 857.

Figure 12

Environmental monitoring around the Gösgen-Däniken nuclear power station

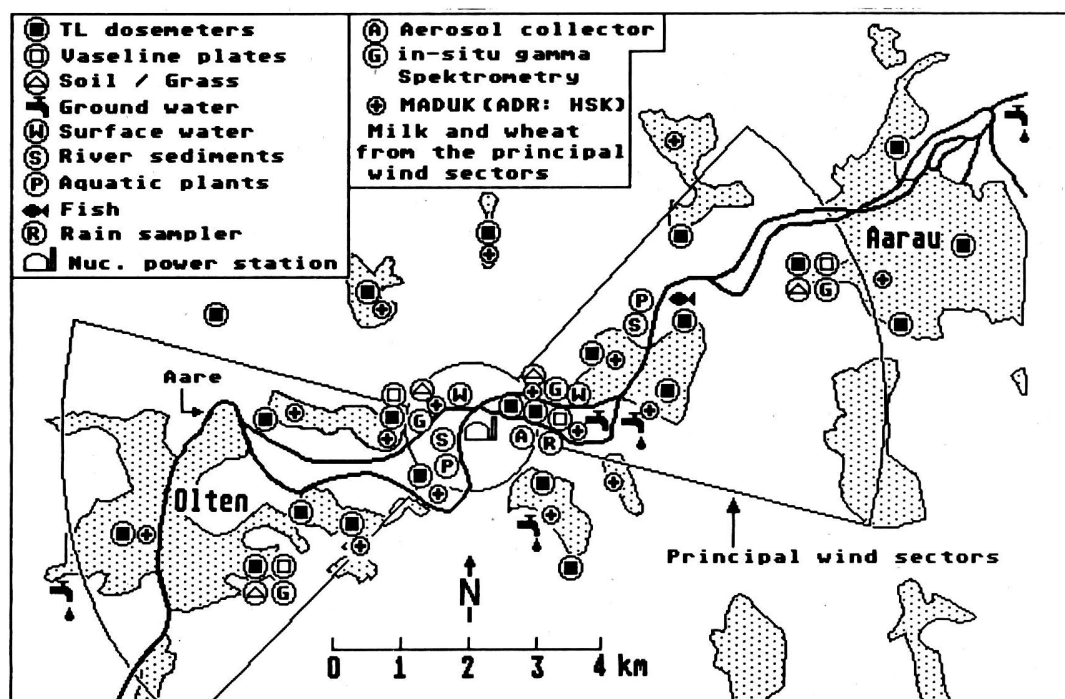
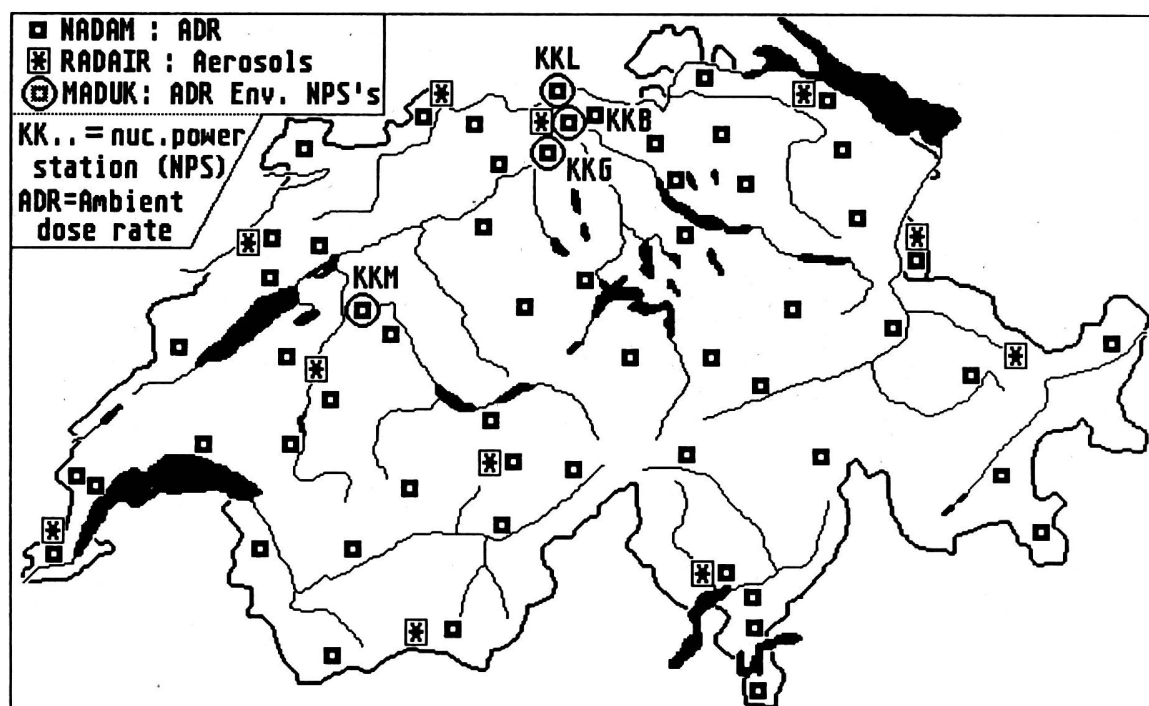


Figure 13

Automatic monitoring networks in Switzerland



(**RADAIR**¹²⁾), which started in 1992, has now been taken further. For the **radon programme**, the main focus is on areas with a higher risk. It is being complemented by investigations into the origin and transport of radon in the ground, trials of remedial measures for houses with high radon concentrations and the drawing up of corresponding recommendations for the building trade. One of the principal activities starting in 1994 is to be the implementation of the corresponding radon provisions in the new radiation protection ordinance; the cantonal authorities will be closely involved in this as well. For monitoring radioactivity in **food**, the whole national territory is already adequately covered thanks to the commitment of the canton laboratories. The monitoring programme for the **vicinity of nuclear facilities** and the detection methods used are state-of-the-art. The MADUK network, which came on stream in 1993 is making additional redundancy available for monitoring purposes. The dissemination of liquid radiation products discharged into waters and sediments downstream of nuclear power stations is the subject of an EAWAG project (see section 3.10). For the monitoring of the **near vicinity of industries and hospitals**, measurements in the waste water and in sewage plants have been intensified for hospitals consuming large amounts of iodine; the same is true for measurements in the area around industries processing tritium.

8. The population's radiation dose in 1993 (Table 1, Figs. 10 and 11)

In considering the mean radiation exposure, the biggest contribution still comes from radon and its decay products, principally inside buildings. The weighted arithmetical mean of 1.6 mSv/year given in the table on page A.75 is lower than the figure of 2.2 mSv contained in earlier reports; the sole reason for this is the revised ICRP dose factor for radon.

The other **natural dose contributions** come from radioactivity in the soil and building materials, cosmic radiation and natural radionuclides contained in the human body itself. In the case of this last-named source (0.38 mSv/year), the main contribution comes from potassium-40, which accounts for 0.12 ‰ of the potassium occurring in nature. Most of it is built into muscular tissue. Compared with this, the dose due to man-made radioactivity ingested with food is less than 0.01 mSv/year.

In looking at radiation doses from **artificial sources**, the predominant contribution comes from medical applications of radiation¹³⁾. The table gives the population's mean exposure as a result of such examinations (such as X-ray diagnostics or the use of radionuclides in nuclear medicine). When it comes to details, however, radiation doses depend a great deal on the type and frequency of examinations.

12) See L. Ribordy, C. Murith and H. Völkle: *Das Schweizerische RADAIR-Projekt zur Überwachung der Radioaktivität der Luft* in «Umweltradioaktivität, Radioökologie, Strahlenwirkung», annual conference of the «Fachverband für Strahlenschutz», Binz/Rügen, Germany, 28-30.09.93, pages 173-177, ISSN 1013-4506, Verlag TÜV-Rheinland, Cologne.

13) The data on radiation doses resulting from nuclear medicine applications are taken from a survey carried out at the Basle Cantonal Hospital in 1989/90 (Prof. J. Roth & Dr. H. W. Roser). The estimated values for the mean population dose from X-ray diagnostic investigations are taken from a 1978 survey (Prof. Dr. G. Poretti et al, Inselspital Berne) and are probably of only limited validity today. However, no newer data on the radiation exposure of the population through X-ray examinations is available as yet (cf. R.L. Mini: *Dosisbestimmungen in der medizinische Röntgendiagnostik*. ISBN 3-906401-16-6, M. Huber-Verlag, Kerzers, 1992).

Radiation	Source	Description	Value range	Mean
Natural radiation	Terrestrial radiation	The decay products of uranium and thorium as well as potassium-40 in the soil, building 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	Aggregate balance (1986-2000): Dose for 1993:	0.2-5 ($\leq 0.01 - 0.1$)	0.5 ≤ 0.01
	Fallout from nuclear weapons	Aggregate balance (1946-2000): Dose for 1993:	(0.5 - 5) ($\leq 0.01 - 0.02$)	1.2 ≤ 0.01
	Releases from nuclear facilities	Maximum values for the neighbouring population	≤ 0.015	≤ 0.015
	Releases from other operations	Maximum values for the neighbouring population	≤ 0.03	≤ 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	≤ 5 (for instance, for airline crews)	0.1
	Medical applications	X-ray diagnosis (1987) Nuclear medicine	0 - 30 0 - 80	1 0.04
People at work	Radiation exposure at the workplace	In 1993, 58 519 individuals received a total of 11.7 man-sieverts	0 - 25; less than 1 mSv in 96% of cases	0.20

The effects of the **Chernobyl** reactor accident and the fallout from earlier nuclear tests are now causing only minor radiation doses in Switzerland, mainly in the form of caesium-137 deposited on the soil or ingested with food.

A further 0.1 mSv/year or so, which it is not possible to estimate accurately, comes from radiation caused by civilisation and the so-called "**minor sources**", such as household and consumer goods containing radionuclides in small quantities. These include clocks and watches with tritium-based fluorescent figures, naturally occurring radionuclides in tiles, fluorescent lights, dental ceramics, ionising smoke detectors and also the polonium-210 inhaled while smoking and the higher cosmic-radiation doses in civil airliners ¹⁴⁾. In this last-mentioned case, for instance, flying altitudes of 10 or 12 km result in cosmic-radiation dose contributions of 5 or 8 µSv/hour, respectively; for airline crews this means additional annual radiation doses of around 5 mSv.

The calculated radiation doses from **emissions from nuclear facilities, industries and hospitals** for people in the immediate vicinity are very low, even assuming unfavourable conditions as regards the time spent outdoors and the food consumed.

The 58 519 **people whose jobs expose them to radiation**, such as in nuclear power stations, industrial operations, trade, public services, research and medicine, received doses in 1993 that did not exceed 25 mSv/year. For 96% of them, however, the values were less than 1 mSv/year. The mean personal dose was 0.2 mSv/year ¹⁵⁾.

Of the total mean radiation exposure of the people living in Switzerland of 4 mSv/year, some 40% comes from radon and its decay products; it also has the biggest degree of variation, with extreme values as high as 100 mSv/year. A further 30% (1.2 mSv/year) comes from the other natural (outdoor) radiation. Around a quarter comes from medical applications and a few percentage points from other artificial sources of radiation. The contribution of this final category (excluding medicine) is less than 0.2 mSv/year.

English translation by: Mike Evans, Freiburg / Breisgau

14) See W. Burkard: *Gefahr aus dem Kosmos? Ein Beitrag über gesundheitliche Risiken von Flugreisen infolge erhöhter Strahlenexposition* in «Radiologie Aktuell», No. 1/93, pp 14-20.

15) See Report of the expert group on "personal dosimetry" produced by the Swiss Federal Commission for Radiation Protection: *Dosimetrie der beruflich strahlenexponierten Personen in der Schweiz 1993*. Published by the Federal Office of Public Health, May 1994, Berne.