

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: - (2003)

Rubrik: Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 2003 : Überblick = Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnement en Suisse pour 2003 : vue d'ensemble = Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera nel 2003 : riassunto = Environmental radioactivity and radiation doses in Switzerland in 2003 : summary

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

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

Download PDF: 01.04.2026

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

A

Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 2003: Überblick

H. Völkle

Sektion Überwachung der Radioaktivität (SUER)
Bundesamt für Gesundheit, Chemin du Musée 3, 1700 FRIBOURG
(Auskünfte: Tel. 026 300 9161; e-mail: hansruedi.voelkle@bag.admin.ch)

Zusammenfassung ¹⁾

In diesem Kapitel sind die Ergebnisse der Radioaktivitätsüberwachung in der Umwelt von 2003 zusammengefasst:

- 1) Umweltradioaktivität,
- 2) externe Strahlung,
- 3) Strahlendosen.

Sowohl beim Messprogramm, wie auch bei der Wahl der Probenahmestellen und Analyseverfahren wird auf genügend Redundanz geachtet, um alle Quellen natürlicher und künstlicher Radioaktivität zu erfassen, unter Berücksichtigung der wichtigsten Transport- und Anreicherungsverfahren in der Umwelt. Die Überwachung geht daher über ein reines Monitoringprogramm hinaus und umfasst auch transdisziplinäre Projekte. Bezugsgrößen für die Bewertung der Ergebnisse sind die Dosis- und Immissionsgrenzwerte der Schweizer Strahlenschutzverordnung (StSV) von 1994 und die Toleranz- und Grenzwerte für Lebensmittel der Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe (FIV).

Die Berechnung der Strahlendosen der Bevölkerung basiert auf den Dosisfaktoren der StSV, diese stützen sich auf die Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP). Sie gelten für Personen mit durchschnittlichen Lebens- und Ernährungsgewohnheiten.

Für Bestrahlungen, die nicht gleichmässig über den ganzen Körper verteilt sind, empfiehlt die ICRP Strahlenrisiko-Faktoren für die verschiedenen menschlichen Organe. Diese berücksichtigen:

- 1) Tod durch Krebserkrankung,
- 2) Verminderung der Lebenserwartung (vorzeitiger Tod) als Folge einer Krankheit,
- 3) Verminderung der Lebensqualität infolge einer Krebserkrankung,
- 4) genetisch bedingte Leiden.

Diese Risikofaktoren basieren hauptsächlich auf den Untersuchungen an den Überlebenden der Atombombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki. Sie setzen voraus, dass die Strahlenschädigungen linear vom tiefsten Dosisbereich bis

zu hohen Dosen zunehmen. Diese Annahme ist für den tiefen Dosisbereich nicht verifizierbar. Sie basiert weitgehend auf der anerkannten Tatsache, dass auch kleine Dosen Zellschädigungen bewirken, die zu Erkrankungen führen können. Es ist sinnvoll, diese zu den ohnehin vorhandenen spontanen Schädigungen, welche die spontanen Krebserkrankungen auslösen, hinzuzurechnen.

In der Schweiz lagen die Radioaktivitätswerte in der Umwelt sowie die Strahlendosen der Bevölkerung aus künstlichen Strahlenquellen bisher immer weit unter den gesetzlichen Limiten, und das entsprechende Strahlenrisiko ist daher klein. Anders ist es beim Radon, einer natürlichen Strahlenquelle, dessen erhöhte Werte in Wohnräumen (s. Kap. 2) wahrscheinlich für einige Prozente der in der Schweiz auftretenden Lungenkrebstodesfälle verantwortlich sind.

1. Radioaktivität in der Umwelt

1.1 Luft ²⁾

Künstliche Radionuklide in der Luft wie ¹³⁷Cs (unter 0.01 mBq/m³), ²³⁹Pu und ²⁴¹Am sind - wenn überhaupt - nur in Spuren nachweisbar. So wurden beim CERN in einigen Wochen Spuren von ²⁴Na und ¹³¹I (0.0002% bzw. 0.00004% des Immissionsgrenzwertes für Luft der StSV) von dessen Beschleunigern festgestellt. ⁸⁵Kr aus der Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoff (in Europa die Anlagen La Hague/F und Sellafield/UK) ergab bei einem Grundpegel von 1.4 Bq/m³ überlagerte Erhöhungen bis 1.8 Bq/m³. Tritium (³H) weist in der Nahumgebung von Betrieben, die dieses Nuklid verarbeiten, in der Luftfeuchte bis rund 20 Bq/m³ auf, das ist rund ein Prozent des Immissionsgrenzwertes gemäss StSV. Das aus 11 Stationen bestehende automatische Überwachungsnetz RADAIR für die Radioaktivität der Luft funktionierte auch 2003 ohne grössere Ausfälle. Die natürlichen Radionuklide ⁷Be resp. ²¹⁰Pb zeigten 1 - 8 resp. 0.1 - 2 mBq/m³.

Der Hauptteil der Radioaktivität der Luft - vor allem im Hausinnern - besteht aus dem natürlichen Edelgas **Radon** ³⁾. Dieses dringt vorwiegend aus dem

¹⁾ **Hinweise** auf Kapitel im Teil B oder in früheren Jahresberichten sind in eckigen, solche für den Teil A in runden Klammern angegeben. **Einheiten** siehe Seite 46.

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

³⁾ Radon siehe: [Kap. 2]

Bauuntergrund, entsprechend dessen Gasdurchlässigkeit, in die Gebäude ein. Baumaterialien und Wasser führen dagegen in der Schweiz nicht zu erhöhten Radonkonzentrationen. Die radioaktiven Tochternuklide des Radon können durch ihre Alphastrahlung Lungenkrebs auslösen. Die Schweizer Radon-Datenbank enthält Messwerte aus rund 47'000 Häusern, insgesamt 91'000 Messwerte, davon 53'500 aus bewohnten Räumen. In 2059 der untersuchten Wohnräume ist (ohne die bereits sanierten Gebäude) der Richtwert (400 Bq/m^3) und in 611 der Grenzwert ($1'000 \text{ Bq/m}^3$) überschritten. Regionen mit einem Mittelwert über 200 Bq/m^3 oder mit mindestens einer Grenzwertüberschreitung werden als "Radongebiete" bezeichnet. Die Radonkarte der Schweiz ist fast vollständig. Nach Korrektur bezüglich Stockwerk und regionaler Bevölkerungsverteilung ergibt sich für bewohnte Räume ein arithmetisches Mittel von 75 Bq/m^3 . Erhöhte Radonkonzentrationen treten vor allem in den Kantonen Graubünden, Tessin, Neuenburg und Jura auf, vereinzelt auch im Mittelland. Häuser mit erhöhten Radonwerten - in der Schweiz sind es einige Tausend - werden mit bautechnischen Massnahmen saniert. Solche wurden in einigen Gebäuden (Priorität Schulen und Kindergärten) bereits durchgeführt.

1.2 Niederschläge ⁴⁾

In den Niederschlägen dominiert **Tritium** (^3H) mit heute noch wenigen Bq/l, im Einflussbereich von Industriebetrieben und Kernanlagen bis 30 Bq/l . Dessen durch die kosmische Strahlung erzeugter natürlicher Anteil beträgt wenige Zehntel Bq/l. In unmittelbarer Nähe von Tritium-verarbeitenden Betrieben oder Kehrlichtverbrennungsanlagen wurden bis gegen 1600 Bq/l gemessen. Der Immissionsgrenzwert für öffentliche Gewässer beträgt gemäss StSV $12'000 \text{ Bq/l}$; der Toleranzwert für Trinkwasser gemäss FIV $1'000 \text{ Bq/l}$.

Bei den weiteren **künstlichen Radionukliden** wurden vereinzelt Spuren von ^{137}Cs von wenigen mBq/l festgestellt. Das natürliche, durch die kosmische Strahlung erzeugte ^7Be lag zwischen 0.1 und 3 Bq/l .

1.3 Gewässer

In den Flüssen beträgt der **Tritiumgehalt** in der Regel ebenfalls wenige Bq/l. Ausnahmen bildeten die Aare bei Brugg und der Rhein unterhalb Basel, wo im Frühling 20 bzw. 8 Bq/l festgestellt wurde, was auf Abgaben Tritiumhaltiger Abwässer aus dem KKW Gösgen, allerdings im Rahmen der erlaubten Limiten, zurückzuführen ist (siehe Seite B.8.0.1). In den industrialisierten Regionen ist ein Einfluss lokaler Emittenten zu erkennen. Die

Tritiumimmissionen aus der Uhrenindustrie in der Region La Chaux-de-Fonds haben weiter abgenommen, dies einerseits weil die Verwendung von Tritium für Leuchtziffern bei Uhren deutlich zurückgegangen ist und andererseits weil Tritium-haltige Abfälle eingesammelt werden und damit weniger unkontrolliert in die regionale Kehrlichtverbrennungsanlage gelangen. So lag der Tritium-Gehalt 2003 im Doubs meist unter 10 Bq/l , in wenigen Fällen bis 15 Bq/l .

In Monatssammelproben aus den Flüssen Aare, Rhein, Rhone und Ticino lag die künstliche Radioaktivität 2003 ausser jener von Tritium unter 7 mBq/l . Oberhalb Kernanlagen ist als künstliches Radionuklid nur ^{137}Cs vom Fallout und von Tschernobyl festgestellt worden ⁵⁾, unterhalb auch Spuren von ^{58}Co , ^{60}Co , ^{65}Zn und ^{137}Cs bis 1.8, 3, 1.3 bzw. 0.4 mBq/l .

Sedimentproben aus den Flüssen unterhalb der Kernanlagen erlauben die flüssigen Abgaben der Kernkraftwerke (^{54}Mn : bis 28 Bq/kg , ^{65}Zn bis 9 Bq/kg , ^{60}Co : bis 130 Bq/kg , ^{58}Co : bis 18 Bq/kg und ^{137}Cs : bis 43 Bq/kg) und den Eintrag durch den Reaktorunfall Tschernobyl zu bilanzieren ⁶⁾.

Abwässer der **Kläranlagen** der grösseren Agglomerationen weisen vereinzelt Spuren von ^{131}I aus der Nuklearmedizin auf (bis 6 Bq/l), sowie Tritium bis gegen 1600 Bq/l (La Chaux-de-Fonds), letzteres aus industriellen Anwendungen oder von Tritium-Uhren oder - Tritium-haltigen Abfällen, die in den Kehrlicht gelangen. Bei der ARA La Chaux-de-Fonds hat der Tritiumabfluss in den letzten Jahren stetig abgenommen und betrug 2003 (wie im Vorjahr) noch 1.9 TBq , während er 1990 42 TBq betrug. 2003 wurden im einzigen Betrieb der Stadt La Chaux-de-Fonds noch $3.3 \text{ TBq } ^3\text{H}$ verarbeitet ⁷⁾.

Rauchgaswaschwässer aus **Kehrlichtverbrennungsanlagen** zeigten dagegen vereinzelt sehr hohe Tritium-Werte: Basel: bis $570'000 \text{ Bq/l}$, Biel: bis 800 Bq/l , und La-Chaux-de-Fonds: bis $750'000 \text{ Bq/l}$. Bei den vereinzelt Tritium-Spitzen aus der Kehrlichtverbrennungsanlage Basel konnte trotz intensiver Abklärungen in Zusammenarbeit mit dem Kantonalen Laboratorium der Verursacher nicht ausfindig gemacht werden. Diese Abgaben sind jedoch, in Anbetracht der grossen Verdünnung im Rhein radiologisch nicht relevant. Bei den Abgaben aus La-Chaux-de-Fonds war die Ursache die kontrollierte und vom BAG bewilligte Verbrennung Tritium-haltiger Abfälle im Verlauf des Jahres 2003.

⁵⁾ siehe: [Kap. 4.2 und 4.4]

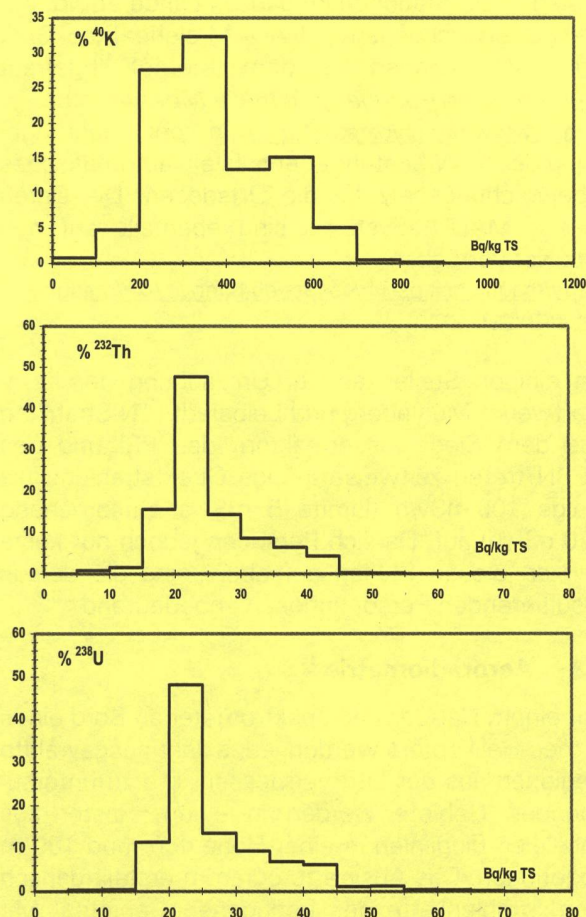
⁶⁾ siehe: [Kap. 4.2, 4.4 und 4.5]

⁷⁾ siehe: [Kap. 4.1, 4.2 und 9.1]; Tritiumverarbeitung in der Uhrenindustrie siehe Seite B.9.1.3

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

1.4 Erdboden ⁸⁾

Im Erdboden, einem guten Integrator für sämtliche Ablagerungen aus der Luft, variieren die natürlichen Zerfallsreihen von Uran (15-70 Bq/kg TS; Median 24 Bq/kg TS) und Thorium (10-50 Bq/kg TS; Median 23 Bq/kg TS) je nach geologischem Untergrund, beim ebenfalls natürlichen ⁴⁰K (100-1000 Bq/kg TS; Median 350 Bq/kg TS) spielt auch die Verwendung von Kalidünger eine Rolle.



Figur 1: Häufigkeitsverteilung der ⁴⁰K-, ²²⁸U- und der ²³²Th-Messwerte in Bq/kg TS im Erdboden aus 627 in-situ-Messungen der Jahre 1986 – 1990 (bestimmt aus den γ -Linien von ²¹⁴Bi resp. ²²⁸Ac).

Die künstlichen Radionuklide zeigen regionale Unterschiede, die mit den Ablagerungen aus den oberirdischen Kernwaffenversuchen und dem Reaktorunfall Tschernobyl zusammenhängen. Dabei ist der Tschernobyl-Anteil heterogener verteilt als jener des Bomben-Fallout, was mit den unterschiedlichen Niederschlagsmengen zur Zeit dieses Unfalls zusammenhängt. Stärker betroffen waren das Tessin und die Bündner Südtäler, in geringerem Ausmass auch der Jura und Teile der Nordostschweiz. In den Alpen und Südalpen sind die Werte von ¹³⁷Cs (bis 710 Bq/kg TS =

Trockensubstanz) und ⁹⁰Sr (bis 37 Bq/kg TS) immer noch höher als im Mittelland. Ein Einfluss der Emissionen der Kernanlagen konnte im Boden nicht festgestellt werden. Bei den künstlichen Alphastrahlern ergaben ²³⁹⁺²⁴⁰Pu 0.2 bis 4 und ²⁴¹Am 0.07 bis 1.4 Bq/kg TS wobei die Messwerte im Mittelland tiefer sind als jene von Jura und Alpen. Das Verhältnis von ²⁴¹Am/²³⁹⁺²⁴⁰Pu betrug 0.33.

1.5 Pflanzen und Lebensmittel ⁹⁾

In **Gras-** und Lebensmittelproben dominiert das natürliche ⁴⁰K. Künstliche Radionuklide wie ¹³⁷Cs oder ⁹⁰Sr vom Reaktorunfall Tschernobyl bzw. den Kernwaffen-Versuchen welche die Pflanzen über die Wurzeln aufnehmen, sind nur noch in Spuren vorhanden. Ein Einfluss der Schweizer Kernanlagen oder Forschungsbetriebe ist nicht feststellbar. Die regionale Verteilung der Aktivitäten entspricht jener im Erdboden mit bis 20 Bq/kg T.S. für ¹³⁷Cs im Tessin und bis 50 bzw. 14 Bq/kg T.S. für ⁹⁰Sr im Tessin bzw. in den Alpen. Bei der **Kuhmilch** lag der ¹³⁷Cs-Gehalt (ausser im Tessin mit einem Maximum von 25 Bq/l; Toleranzwert: 10 Bq/l) durchwegs unter der Nachweisgrenze von 1 bis 2 Bq/l. Der ⁹⁰Sr-Gehalt betrug im Mittelland und Jura zwischen 0.04 und 0.06 Bq/l, in den Alpen zwischen 0.13 und 0.44 und im Tessin zwischen 0.12 und 0.62 Bq/l. Elf **Getreideproben** ergaben für ¹³⁷Cs weniger als 0.6 und für ⁹⁰Sr zwischen 0.1 und 0.3 Bq/kg.

Bei den einheimischen **Pilzen** zeigen nach wie vor Röhrlinge und Zigeunerpilze geringfügig erhöhte Werte bis rund 270 Bq ¹³⁷Cs pro kg Frischgewicht mit abnehmender Tendenz. Es lagen keine Messwerte über dem Toleranzwert von 600 Bq/kg. Dies trifft auch zu für die importierten Pilze, deren ¹³⁷Cs-Werte bei maximal 500 Bq/kg lagen (Pfifferlinge). Für Pilzimporte aus Osteuropa wird nach wie vor ein Radioaktivitätszertifikat verlangt.

Importiertes und einheimisches **Wild** ergab noch Werte bis 123 Bq/kg ¹³⁷Cs (Gems) bzw. bis 293 Bq/kg (Wildschwein). Messungen an **"Hirschtrüffeln"** von acht Standorten in der ganzen Schweiz ergaben ¹³⁷Cs-Werte bis 20'000 Bq/kg und bestätigen die regionale Verteilung des Cs-Ausfalles nach dem Unfall Tschernobyl mit einem Maximum im Tessin siehe [Kap. 5.2]. Diese Pilze, die das Caesium extrem anreichern sind zwar für den Menschen ungeniessbar jedoch bei den Wildschweinen sehr beliebt und sind für die z.T. noch erhöhten Cs-Werte in diesen Tieren verantwortlich. Bei 10 Proben von **Haustieren** aus dem Tessin (Rinder, Ziegen) lag der ¹³⁷Cs-Gehalt bei 4 bis 112 Bq/kg.

⁸⁾ Erdboden siehe: [Kap. 4.3 und 7.2]

⁹⁾ Gras bzw. Lebensmittel siehe: [Kap. 4.3 bzw. 5.1];
Trinkwasser Graubünden: siehe: [Kap. 4.5]

1.6 Kohlenstoff-14 in Pflanzen ¹⁰⁾

¹⁴C wird bei der Assimilation von Kohlensäure von den Pflanzen aus der Luft während der Wachstumsphase aufgenommen. Gegenüber dem natürlichen, durch die kosmische Strahlung erzeugten ¹⁴C führten die Kernwaffenversuche in den 60er-Jahren zu einer Verdoppelung. Dieser Anteil beträgt heute noch etwa 74 % und wird an einer Referenzstation in der Nähe von Bern gemessen. Baumblätter aus der Umgebung der Kernreaktoren ergaben zusätzliche, maximale Erhöhungen von 164 % beim KKL, 50 % beim KKG, 35 % beim PSI, 29 % beim Verbrennungsofen Valorec in Basel, 128 % auf dem ehemaligen Sandoz-Gelände und 80 % in der Umgebung der Firma Roche. Der durch die kosmische Strahlung erzeugte natürliche ¹⁴C-Anteil in Pflanzen beträgt 227 Bq/kg C und führt zu 0.013 mSv pro Jahr. Eine zusätzliche ¹⁴C-Aktivität in Lebensmitteln von 100 % führt zu einer zusätzlichen jährlichen Dosis im micro-Sv Bereich.

1.7 Radionuklide im menschlichen Körper ¹¹⁾

Ganzkörpermessungen und ⁹⁰Sr-Bestimmungen an Milchzähnen und Wirbelknochen erfassen die Aufnahme von Radionukliden über die Nahrung. Ganzkörpermessungen an Personen aus Basel ergaben ¹³⁷Cs-Aktivitäten bis 29 Bq bei den Frauen und bis 58 Bq bei den Männern; jene aus Genf lagen alle unter 10 Bq. Von den 674 Personen die am PSI im Rahmen der Personenüberwachung gemessen wurden, lag der Maximalwert bei 500 Bq, wobei jedoch 98 Prozent unter der Erkennungsgrenze von 60 Bq lagen. Das natürliche ⁴⁰K beträgt bei den Frauen rund 3200 Bq und bei den Männern rund 4500 Bq. In menschlichen Wirbelknochen betrug der Medianwert des ⁹⁰Sr-Gehaltes 0.04 Bq/g Ca, jener von Milchzähnen 0.03 Bq/g Ca.

2. Dosen aus externen Strahlenquellen

2.1 Natürliche Strahlung

Die Hauptbeiträge zur externen Strahlenexposition sind die terrestrische und die kosmische Strahlung. Erstere kommt von den natürlichen Radionukliden in Erdboden und in Baustoffen, letztere hängt von der Höhe ü.M. ab, da sie durch die Lufthülle der Erde geschwächt wird ¹²⁾.

Die Dosisleistung im Freien liegt in der Schweiz im Mittel bei 80 nSv/h, und variiert zwischen 50 nSv/h und etwa 200 nSv/h. Im Hausinnern ist die Dosis infolge der natürlichen Radionuklide in Baustoffen etwa 10 Prozent höher als im Freien.

¹⁰⁾ ¹⁴C-Messungen siehe: [Kap. 7.1]

¹¹⁾ Radionuklide im Körper siehe: [Kap. 6.1 und 6.2]

¹²⁾ siehe: [Kap. 3.4]; Kosmische Strahlung siehe auch Jahresbericht 1999 [Kap. 10.3]:

http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_d.pdf

2.2 Künstliche Radioaktivität

Der radioaktive Ausfall nach dem Reaktorunfall Tschernobyl vom April 1986 und den oberirdischen Kernwaffenversuchen tragen - mit Ausnahme des Tessins, wo sie noch bis maximal 60 nSv/h ausmachen - heute nur noch wenige Prozente zur externen Dosisleistung bei ¹³⁾.

Die automatische Überwachung der Ortsdosen im Freien an 58 Stationen im ganzen Lande erfolgt mit dem Überwachungsnetz NADAM siehe: [Kap. 3.2]. Die Daten können auf dem Internet abgefragt werden (s. *Messungen / Aktuelle Messwerte*):

<https://www.naz.ch/baradio.html>. In der Nahumgebung der KKW besteht ebenfalls ein automatisches Überwachungsnetz für die Ortsdosen. Die Daten dieses MADUK-Systems sind ebenfalls auf den Internet verfügbar:

http://maduk.hsk.psi.ch/scripts/db4web_c.exe/maduk/messwerte/main.mth

An einigen Stellen an der Umzäunung der Kernkraftwerke Mühleberg und Leibstadt (¹⁶N-Strahlung aus dem Siedewasserreaktor), des PSI und des CERN treten zeitweise infolge Direktstrahlung bis einige 100 nSv/h (Limite 5 mSv/a entsprechend 570 nSv/h) auf. Da sich Personen jedoch nur kurze Zeit an diesen Stellen aufhalten, sind die daraus resultierenden Personendosen unbedeutend ¹⁴⁾.

2.3 Aeroradiometrie ¹⁵⁾

Mit einem NaI-Gamma-Spektrometer an Bord eines Armee-Helikopters werden jedes Jahr ausgewählte Regionen aus der Luft vermessen. Die zu untersuchenden Gebiete werden in einem Raster aus parallelen Fluglinien in einer Höhe von rund 100 m abgeflogen. Das Auswertprogramm erstellt danach eine Strahlenkarte des beflogenen Gebietes. Mit diesem Messgerät, dessen Einsatz von der NAZ koordiniert wird, kann nach einem Unfall rasch die Karte eines kontaminierten Gebietes erstellt werden; es kann auch zur Suche nach verlorenen Strahlenquellen eingesetzt werden.

Im Berichtsjahr wurden Messflüge in der Umgebung der Kernkraftwerke Gösgen und Mühleberg durchgeführt. Die Resultate zeigten keine erhöhte Radioaktivität im Vergleich zu früheren Jahren. Einzig die nach oben nicht abgeschirmte ¹⁶N-Strahlung aus dem Maschinenhaus des KKW Mühleberg war messbar. Diese, sowie das in Spuren feststellbare ⁶⁰Co führen jedoch nicht zu nennenswerten Personendosen. Bei gemeinsamen Messübungen mit einer österreichischen Partnerorganisation

¹³⁾ Dosismessungen siehe: [Kap. 3.1, 3.2 und 3.4]

¹⁴⁾ Messungen Umgebung der KKW siehe: [Kap. 8.3]

¹⁵⁾ Zur Aeroradiometrie siehe: [Kap. 3.3]; siehe auch <http://www.hsk.psi.ch/far/>

wurde in zwei Gebieten in der Nähe von Klagenfurt/A die Suche nach ausgelegten radioaktiven Strahlenquellen geübt.

3. Strahlendosen der Bevölkerung

3.1 Natürliche und kosmische Strahlung

Radon (^{222}Rn) und seine Folgeprodukte in Wohn- und Arbeitsräumen ergeben den grössten Beitrag zur Strahlendosis (etwa 40%). Dieses ist von seiner Entstehung her zwar natürlich, die erhöhten Konzentrationen im Hausinnern sind jedoch zivilisationsbedingt. Die in der Schweiz bis 2003 durchgeführten Erhebungen in rund 47'000 Häusern ergeben ein gewichtetes arithmetisches Mittel von 75 Bq/m³. Unter der Annahme einer Aufenthaltsdauer im Wohnbereich bzw. am Arbeitsplatz von 7000 bzw. 2000 Stunden pro Jahr und den Dosisfaktoren $2.44 \cdot 10^{-6}$ bzw. $3.17 \cdot 10^{-6}$ mSv pro Bq/m³ und Stunde¹⁶⁾ erhält man für die Schweizer Bevölkerung eine durchschnittliche Radondosis von rund 1.8 mSv pro Jahr. Bei 1 bis 2 Prozent der Bevölkerung liegt die Dosis über 10 mSv pro Jahr, bei 0.2 Prozent über 25 mSv pro Jahr. Gemäss konservativen Schätzungen dürfte Radon 5 bis 10 Prozent der Lungenkrebstodesfälle verursachen siehe: [Kap. 2].

Natürliche Radionuklide gelangen auch über die Nahrung in den Körper und führen durchschnittlich zu rund 0.35 mSv, wobei ^{40}K rund 0.2 mSv ausmacht. Der Rest kommt von den Nukliden der natürlichen Zerfallsreihen Uran und Thorium sowie von den kosmogenen Radionukliden Tritium, ^{14}C , ^7Be etc. siehe: [Kap. 5.1].

Natürliche Radionuklide im Boden tragen auch zur externen Strahlenexposition bei. Ihr Beitrag hängt stark vom lokalen Radionuklidgehalt des Bodens und den Lebensgewohnheiten ab. Die natürliche terrestrische Strahlendosis im Freien, liegt in den bewohnten Regionen der Schweiz zwischen 0.35 und etwa 0.8 mSv/Jahr. Hinzu kommt der Beitrag durch die kosmische Strahlung, der mit der Höhe über Meer zunimmt: z.B. Locarno 0.35, Zürich 0.4 und St. Moritz 0.75 mSv/Jahr. Im Hausinnern ist die Dosis etwa 10 Prozent höher als im Freien. Die gesamte Jahresdosis aus natürlichen Quellen beträgt rund 3 mSv siehe: [Kap. 3.4].

3.2 Dosen durch künstliche Radioaktivität

Bei den Dosen aus **externen Strahlenquellen** stammt der grösste Teil von medizinischen Anwendungen sowie aus der beruflichen Strahlenexposition in Kernkraftwerken, Industrien, Handel, öffentlichem Dienst, Forschung und Medizin und den sogenannten "Kleinquellen". Die letzteren sind

Konsumgüter und Gebrauchsgegenstände, die geringe Mengen an Radioaktivität enthalten. Der Anteil der künstlichen Radionuklide im Boden an der externen Dosis kann nur approximativ angegeben werden. Bei dauerndem Aufenthalt im Freien erhält man unter konservativen Annahmen zwischen 0.01 und 0.5 mSv pro Jahr. Dieser grosse Streubereich ist eine Folge der regionalen Unterschiede bei der ^{137}Cs -Ablagerung nach dem Reaktorunfall Tschernobyl. Die Schweizer Kernkraftwerke, das PSI und das CERN tragen dazu nicht wesentlich bei.

Tabelle 1:

Natürliche Strahlenquellen (mSv/Jahr)

Quelle	Mittel	Wertebereich
terrestrische Radionuklide	0.45 ¹⁷⁾	0.15 – 1.0
kosmische Strahlung	0.35	0.3 – 0.6
Radionuklide im Körper	0.35 ¹⁸⁾	0.2 – 0.5
Radon im Wohnbereich	1.8	0.3 – über 20 ¹⁹⁾
Summe	3	1 bis über 20

Tabelle 2:

Künstliche Strahlenquellen (mSv/Jahr)

Quelle		Mittel	Wertebereich
Medizin	Röntgendiagnostik ²⁰⁾	1	0 – 30
	Nuklearmedizin ²¹⁾	0.04	0 – 80
"Kleinquellen"	radioaktive Stoffe in Gebrauchsgegenständen und Konsumgütern ²²⁾	0.1	0 – ?
grossräumig verbreitete künstliche Radioaktivität	Tschernobyl	0.01	bis 0.5
	Kernwaffenfallout	< 0.01	
	^{85}Kr aus der Wiederaufarbeitung	0.02	
radioaktive Immissionen	Betriebe und Kernanlagen	≈ 0	bis 0.006
Berufliche Strahlenexposition	65'907 beruflich strahlenexponierte Personen ²³⁾	0.07	< 20 98.1. % < 1

¹⁷⁾ davon kosmische Strahlung auf 300 m 0.35 mSv/Jahr. Ein Flug Schweiz-Nordamerika ergibt zusätzlich 0.04 mSv; Fluggesellschaften und Vielflieger erhalten zusätzlich etwa 3 mSv/Jahr; siehe auch Jahresbericht 1999: Kap. 10.3: http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_d.pdf

¹⁸⁾ davon in micro-Sv pro Jahr: ^{40}K = 200; ^{87}Rb = 6; ^3H , ^7Be , ^{14}C und ^{22}Na zusammen rund 13; U, Th und Ra = 40; ^{210}Pb + ^{210}Bi + ^{210}Po = 90 micro-Sv/Jahr

¹⁹⁾ bei 1 bis 2 % der Bevölkerung über 10 mSv und bei 0.2 % über 25 mSv pro Jahr.

²⁰⁾ Erhebung IRA/BAG 1996-99; siehe Jahresbericht 1999: Kap. 10.1; http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_d.pdf

²¹⁾ Erhebung von 1989/90, J. Roth, Kantonsspital Basel-Stadt

²²⁾ z.B. Uhren mit Tritium-Leuchtziffern, natürliche Radionuklide in Fliesen, Th in Glühstrümpfen oder Zahnkeramik, Ionisations-Rauchmelder, ^{210}Po im Zigarettenrauch, etc.

²³⁾ in KKW, Medizin, Forschung, Industrie und öffentlichen Diensten. Quelle: Dosimetriebericht BAG 2003, siehe auch: <http://www.bag.admin.ch/strahlen/ionisant/dosimetrie/pdf/2003-df.pdf>

¹⁶⁾ vergleiche Jahresbericht 1993 Seite B.2.3

Die Dosen durch **interne Strahlenexposition** werden durch künstliche Radionuklide - hauptsächlich ^{137}Cs und ^{90}Sr - in der Nahrung verursacht. Ganzkörpermessungen an Schulklassen ergaben Dosen durch inkorporiertes ^{137}Cs von weniger als 1 micro-Sv pro Jahr.

Gesamthaft beträgt die Strahlendosis durch **künstliche Radioaktivität** - ohne Medizin und Kleinquellen - für die Mehrheit der Schweizer Bevölkerung 0.01 bis 0.05, in Einzelfällen bis 0.1 mSv pro Jahr. Für die Auswirkungen des **Unfalles Tschernobyl** siehe:

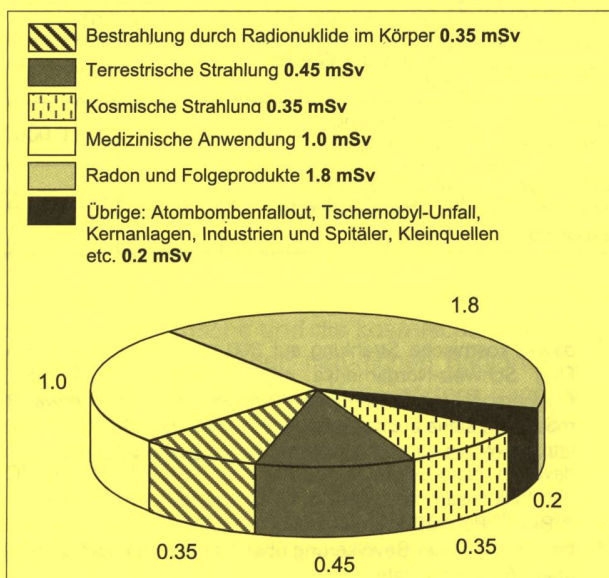
<http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/chno2003.pdf>

Tabelle 3:

Einige Beispiele (mSv/Jahr)

^{137}Cs in Milch	1 l/Tag mit 10 Bq/l (= TW)	0.05
^{137}Cs in Wild-Pilzen	200 g/Woche mit 600 Bq/kg (=TW)	0.09
^{226}Ra im Mineralwasser	1l/Tag mit 1 Bq/l (= GW)	0.08
^{14}C im Gemüse	200 g Gemüse pro Tag aus Nähe der RSVA Basel ²⁴⁾	0.002
^3H im Regenwasser als Trinkwasser verwendet	2.2 l/Tag aus Umgebung eines tritiumverarbeitenden Betriebes (1000 Bq/l)	0.01
^{137}Cs im Erdboden im Tessin	Arbeiten während eines Jahres in einem Feld mit der höchsten Cs-Belastung im Tessin	0.1
Direktstrahlung (Umgebung eines KKW)	1 Std/Tag am Zaun des KKW	0.1

(GW=Grenzwert bzw. TW=Toleranzwert nach FIV)



Figur 2:

Durchschnittliche Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung in mSv/Jahr (Summe: 4 mSv/Jahr):

Tabelle 4:

Präfixe und ihre Bedeutung

fBq	femto	10^{-15}
pBq	pico	10^{-12}
nBq	nano	10^{-9}
μBq	micro	10^{-6}
mBq	milli	10^{-3}

kBq	kilo	10^3
MBq	Mega	10^6
GBq	Giga	10^9
TBq	Tera	10^{12}
PBq	Peta	10^{15}

4. Definitionen, Einheiten und Vorschriften

Radioaktivität ist eine Eigenschaft instabiler Atomkerne, sich ohne äussere Einwirkung umzuwandeln (radioaktiver Zerfall) und dabei eine charakteristische (ionisierende) Strahlung in Form von Alpha- oder Beta-Teilchen sowie Gamma-Quanten auszusenden. Natürliche radioaktive Stoffe kommen in der Umwelt seit jeher vor; künstliche wurden bei Kernwaffenexplosionen freigesetzt, können aber auch aus Kernanlagen, sowie Betrieben und Spitälern, die Radionuklide verarbeiten, stammen.

Die **Radioaktivität** einer Substanz wird in Becquerel (Bq) angegeben. 1 Bq entspricht einem radioaktiven Zerfall pro Sekunde. Die Präfixe und ihre Bedeutung sind in der Tabelle auf dieser Seite angegeben. Früher wurde die Einheit Curie (Ci) verwendet, mit $1 \text{ nCi} = 37 \text{ Bq}$ bzw. $1 \text{ Bq} = 27 \text{ pCi}$.

Um das **Strahlenrisiko** der Bevölkerung zu bewerten, wird die **effektive Dosis (E)** in mSv oder μSv bestimmt. Diese berücksichtigt, dass die Organe des Menschen eine unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit haben und die verschiedenen Strahlenarten unterschiedlich biologisch wirksam sind. Die Bestimmung der effektiven Dosis geht von der in den einzelnen Organen absorbierten Strahlungsenergie (*Energiedosis*) aus. Diese wird mit einem Faktor gewichtet, der die Ionisierungsdichte der Strahlung berücksichtigt (*Strahlenwichtungsfaktoren w_R*). Für die effektive Dosis werden die Einzeldosen aller bestrahlten Organe, gewichtet mit ihrer Strahlenempfindlichkeit summiert (*Gewebewichtungsfaktoren w_T*). Dies liefert eine theoretische Ganzkörperdosis, die das gleiche Strahlenrisiko verursacht, wie die einzelnen Organdosen. Die einzelnen Zwischenstufen, Energiedosis D, Äquivalentdosis H, sowie die verwendeten Wichtungsfaktoren werden auf Seite C-1 erläutert.

Gemäss **Strahlenschutzverordnung (StSV)** dürfen die Dosen für die Bevölkerung durch zivilisationsbedingte Radioaktivität und Strahlung in der Umwelt - jedoch ohne Radon und medizinische Anwendungen - 1 mSv pro Jahr nicht übersteigen, jene für beruflich strahlenexponierte Personen 20 mSv pro Jahr. Für Luft und Wasser im öffentlich zugänglichen Bereich legt die Verordnung Immissionsgrenzwerte fest, deren Ausschöpfen bei Dauerbelastung über Trinkwasser und Atemluft zu je rund 0.2 mSv pro Jahr führt. Für die Direktstrahlung gilt ein Grenzwert von 5 mSv pro Jahr im öffentlich zugänglichen Bereich, bzw. 1 mSv pro Jahr in Wohn-, Aufenthalts- und Arbeitsräumen. Toleranz- und Grenzwerte für Radionuklide in Lebensmitteln werden in der Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe (FIV) publiziert. Für den Strahlenschutz relevant ist der Grenzwert, während der Toleranzwert ein reines Qualitätskriterium ist, das noch kein Gesundheitsrisiko darstellt. Radioaktive Stoffe dürfen nur kontrolliert an die Umwelt abgegeben werden, wobei von der Bewilligungsbehörde Abgabegrenzen festgelegt werden. Diese sind beispielsweise bei den Kernanlagen so gewählt, dass keine Person in der Nahumgebung eine zusätzliche Dosis von mehr als 0.2 mSv pro Jahr erhalten kann (Quellenbezogener Dosisrichtwert gemäss Art 7 der StSV). Für Radongas gilt ein Grenzwert für Wohn- und Aufenthaltsräume von 1000 Bq/m^3 . Bei Überschreiten dieser Grenzwerte sind die Gebäude zu sanieren. Bei Neu- oder Umbauten soll ein Richtwert von 400 Bq/m^3 nicht überschritten werden.

²⁴⁾ Regionale Sondermüll-Verbrennungsanlage Basel-Stadt

A

Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnement en Suisse pour 2003 : vue d'ensemble

H. Völkle

Section de surveillance de la radioactivité (SUER)
Office fédéral de la santé publique, Ch. du Musée 3, 1700 FRIBOURG
(renseignements : tél. 026 300 9161 e-mail : hansruedi.voelkle@bag.admin.ch)

Introduction ¹⁾

Ce chapitre présente une synthèse des résultats des mesures de la radioactivité de l'environnement en 2003

- 1) radioactivité de l'environnement;
- 2) exposition externe;
- 3) doses de rayonnement pour la population.

Afin de recenser avec suffisamment de précision les sources naturelles et artificielles de radioactivité, ainsi que les phénomènes régissant leur transfert et leur accumulation dans l'environnement, les programmes de mesures, les points de prélèvements et les méthodes d'analyse sont choisis et mis en oeuvre avec le plus grand soin. La surveillance de la radioactivité dépasse donc les simples contrôles de routine et comprend également des projets de recherche transdisciplinaires. Les grandeurs de référence pour l'évaluation des résultats sont les valeurs limites de doses et d'immission de l'Ordonnance suisse de 1994 sur la Radioprotection (ORaP) et, pour les denrées alimentaires, les valeurs limites et de tolérance de l'Ordonnance sur les substances étrangères et les composants (OSEC). L'évaluation des doses de rayonnement à la population repose sur les modèles et les facteurs de dose de l'ORaP, qui se basent dans ses grandes lignes sur les recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) et s'appliquent aux personnes dont le mode de vie et les habitudes alimentaires correspondent à la moyenne.

Pour apprécier le risque d'une irradiation non uniforme, la CIPR recommande, pour les différents organes humains irradiés, de tenir compte des facteurs de risque suivants:

- 1) mort due au cancer;
- 2) réduction de l'espérance de vie (mort prématurée) suite à une maladie;
- 3) réduction de la qualité de vie suite à un cancer;
- 4) affections génétiques.

Ces facteurs de risque ont été déduits principalement des études effectuées sur les survivants des bombes atomiques de Hiroshima et Nagasaki. On présume que les dommages dus au rayonnement augmentent proportionnellement à la dose du niveau le plus bas jusqu'à des doses élevées. Cette hypothèse n'est pas vérifiable pour les faibles doses de rayonnement. Elle se base largement sur le fait établi que même les petites doses endommagent les cellules et qu'il est donc raisonnable d'ajouter ces risques à ceux qui génèrent des cancers spontanés.

En Suisse, la radioactivité mesurée dans l'environnement ainsi que les doses d'irradiation à la population, attribuables à des sources artificielles de rayonnement, ont été jusqu'ici nettement inférieures aux limites légales. Le risque associé apparaît donc faible. Par contre, des valeurs élevées de radon (source naturelle de rayonnement) mesurées dans certaines habitations (chap. 2) sont probablement à l'origine de quelques pour-cent des cas mortels de cancer du poumon en Suisse.

1. Radioactivité dans l'environnement

1.1. Air ²⁾

Dans l'air, on ne rencontre tout au plus que des traces des radionucléides artificiels tels que ¹³⁷Cs (moins de 0.01 mBq/m³), ²³⁹Pu et ²⁴¹Am. Des traces de ²⁴Na et de ¹³¹I (0.0002 % resp. 0.00004 % des valeurs limites d'immission pour l'air selon ORaP) ont été mesurées dans les environs immédiats du CERN, provenant des accélérateurs. Ces dernières années, le ⁸⁵Kr, issu du retraitement du combustible nucléaire (en Europe: La Hague/F et Sellafield/GB), montre une tendance à la hausse avec une concentration moyenne de 1.4 Bq/m³ net des pointes à 1.8 Bq/m³. En ce qui concerne le

¹⁾ Les renvois à des chapitres de la partie B ou à des rapports annuels antérieurs figurent entre crochets, ceux concernant la partie A entre parenthèse. Unités, voir A.13

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

tritium (^3H), des concentrations maximales d'environ 20 Bq/m³ ont été mesurées dans l'humidité de l'air à proximité des entreprises qui l'utilisent, ce qui correspond à 1 % de la limite d'immission admise selon l'ORaP. En 2003, le système automatique de surveillance de la radioactivité dans l'air (RADAIR) avec ses 11 stations a relevé des valeurs de 1 - 8 et de 0.1 - 2 mBq/m³ pour les radionucléides ^7Be et ^{210}Pb respectivement.

La plus grande partie de la radioactivité dans l'air – à l'intérieur des bâtiments surtout – est à mettre sur le compte du gaz **radon**³⁾ qui pénètre dans les bâtiments principalement par le sol, en fonction de sa perméabilité au gaz. Par contre, les matériaux de construction et l'eau n'induisent pas de plus fortes concentrations de radon en Suisse. Par leur rayonnement alpha, les produits de filiation du radon peuvent provoquer le cancer du poumon. La banque de données suisse sur le radon contient, à ce jour, des mesures de 47'000 bâtiments (91'000 mesures dont 53'500 dans des locaux habités). La valeur directrice (400 Bq/m³) est dépassée dans 2'059 et la valeur-limite (1'000 Bq/m³) dans 611 habitations, sans compter les bâtiments déjà assainis. Les régions accusant une valeur moyenne de plus de 200 Bq/m³ ou enregistrant au moins un dépassement de la valeur-limite sont appelées « région radon ». La moyenne arithmétique dans les habitations suisses (corrigée par étage et pondérée en fonction de la population par région) est de 75 Bq/m³. On trouve des concentrations de radon plus élevées principalement dans les cantons des Grisons, du Tessin, de Neuchâtel et du Jura, comme aussi, ponctuellement, sur le Plateau. Les maisons d'habitation présentant des valeurs élevées de radon – il y en a quelques milliers en Suisse – sont assainies avec des mesures de technique de construction. De telles mesures ont déjà été réalisées dans certains bâtiments, à commencer par des écoles et des jardins d'enfants.

1.2. Précipitations⁴⁾

Dans les précipitations, c'est le **tritium** (^3H) qui domine, avec quelques Bq/l aujourd'hui, et jusqu'à 30 Bq/l dans le rayon d'influence d'entreprises industrielles ou d'installations nucléaires. Alors que la part naturelle de tritium, d'origine cosmique, est de quelques dixièmes de Bq/l, on constate des concentrations à concurrence de 1'600 Bq/l à proximité immédiate d'entreprises traitant du tritium ou d'usines d'incinération de déchets contenant du tritium. L'ORaP fixe à 12'000 Bq/l la limite d'immission du tritium dans les eaux d'accès pu-

blic. Pour l'eau potable, la valeur de tolérance selon l'OSEC est de 1'000 Bq/l.

D'autres **radionucléides artificiels**, comme le ^{137}Cs , ont donné pour chaque mesure mensuelle des traces de quelques mBq/l. Le ^7Be naturel généré par rayonnement cosmique atteint entre 0.1 et 3 Bq/l.

1.3. Systèmes aquatiques

La **teneur en tritium** dans les rivières s'élève également à quelques Bq/l, à l'exception de l'Aare près de Brugg et du Rhin en aval de Bâle, où une valeur de 20 et 8 Bq/l respectivement a été mesurée au printemps – ce qui ne constitue toutefois pas un dépassement des valeurs limites – en raison de rejets plus importants d'eau contenant du tritium par la centrale nucléaire de Gösgen (voir page B.8.0.1). Dans les régions industrielles, une faible influence de sources d'émission locales est perceptible. Les immissions de tritium de l'industrie horlogère dans la région de la Chaux-de-Fonds ont diminué ces dernières années, d'une part en raison du moindre emploi du tritium pour les cadrans lumineux de montre et d'autre part, parce que les déchets contenant du tritium sont désormais collectés séparément et parviennent moins souvent à l'usine d'incinération régionale. Dans le Doubs, la teneur en tritium était le plus souvent inférieure à 10 Bq/l ; dans de rares cas, des valeurs jusqu'à 15 Bq/l ont été mesurées.

Les échantillons d'eau prélevés dans l'Aare, le Rhin, le Rhône et le Ticino n'ont révélé en 2003, à l'exception du tritium, aucune radioactivité artificielle supérieure à 7 mBq/l. En amont des centrales nucléaires, on a relevé, comme seul radionucléide artificiel, du ^{137}Cs provenant des retombées des essais nucléaires (fallout) et de Tchernobyl⁵⁾; en aval, des traces de ^{58}Co : 1.8 mBq/l, ^{60}Co : 3 mBq/l, ^{137}Cs : 0.4 mBq/l et de ^{65}Zn : 1.3 mBq/l.

Des analyses de **sédiments** effectuées dans les rivières en aval des centrales nucléaires et dans le lac de Lugano ont permis de dresser le bilan des rejets liquides des centrales nucléaires (^{54}Mn : jusqu'à 28 Bq/kg; ^{65}Zn : jusqu'à 9 Bq/kg; ^{60}Co : jusqu'à 130 Bq/kg) ^{58}Co : jusqu'à 18 Bq/kg et ^{137}Cs : jusqu'à 43 Bq/kg) et de la contribution de l'accident du réacteur de Tchernobyl⁶⁾.

Les eaux de rejet des **stations d'épuration** des grandes agglomérations ont présenté dans certains cas des traces de ^{131}I , attribuables à la médecine nucléaire (< 6 Bq/l), ainsi que du tritium (jusqu'à 1600 Bq/l), provenant d'applications industriel-

³⁾ Radon [chap. 2]

⁴⁾ Pluie [chap. 4.1, 7.1 et 9.1]

⁵⁾ [chap. 4.2 et 4.4]

⁶⁾ [chap. 4.2, 4.4 et 4.5]

les ou de montres au tritium jetées dans les ordures ménagères. A la STEP de la Chaux-de-Fonds, les rejets de tritium ont constamment diminué ces dernières années; en 2003, ils s'élevaient encore à 1.9 TBq/année (en 1990: 42 TBq). En 2003, 3.3 TBq de ^3H ont été traités dans les entreprises de la ville ⁷⁾.

Par contre, des valeurs très élevées de tritium ont été mesurées par endroits dans les eaux de lavage des gaz de fumée issues de quelques **usines d'incinération des déchets** : jusqu'à 570'000 Bq/l à Bâle ; 800 Bq/l à Bienne et 750'000 Bq/l à la Chaux-de-Fonds. L'origine des pointes de tritium à Bâle n'a pu être éclaircie en dépit d'une enquête approfondie menée en collaboration avec le laboratoire cantonal. Cela dit, vu la forte dilution dans le Rhin, ces émissions sont insignifiantes du point de vue radiologique. A la Chaux-de-Fonds, les fortes émissions provenaient de l'incinération de déchets contenant du tritium, autorisée par l'OFSP, dans le courant de l'année 2003.

1.4. Sols ⁸⁾

Le sol est un excellent intégrateur de tous les dépôts de l'air. Les teneurs en radionucléides naturels des séries de l'uranium (15-70 Bq/kg matière sèche MS; valeur médiane 24 Bq/kg MS) et du thorium (10-50 Bq/kg MS; valeur médiane 23 Bq/kg MS) varient en fonction de la géologie alors que pour le ^{40}K (100-1000 Bq/kg MS; valeur médiane 350 Bq/kg MS), également d'origine naturelle, c'est l'utilisation d'engrais au potassium qui joue un rôle.

La répartition des radionucléides artificiels révèle également des différences régionales ; elles sont dues aux retombées des explosions nucléaires des années 60 et de Tchernobyl. La part de Tchernobyl est répartie de façon nettement plus hétérogène que celle du fallout, à cause de la variabilité des précipitations enregistrées pendant cette période. Les régions principalement touchées ont été le Tessin et les vallées du sud des Grisons, ainsi que, dans une moindre mesure, les reliefs jurassiens et certaines parties du nord-est de la Suisse. Les valeurs de ^{137}Cs (jusqu'à 710 Bq/kg MS) et de ^{90}Sr (jusqu'à 37 Bq/kg MS) demeurent plus importantes dans les Alpes et au sud des Alpes que sur le Plateau. On n'a constaté aucune influence des émissions des centrales nucléaires. En ce qui concerne les rayonnements alpha artificiels, on a mesuré 0.2 à 4 $^{239+240}\text{Pu}$ et 0.07 à 1.4 ^{241}Am Bq/kg MS, avec des valeurs plus faibles sur le Plateau

que dans le Jura et les Alpes. En moyenne, le rapport $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ était de 0.33.

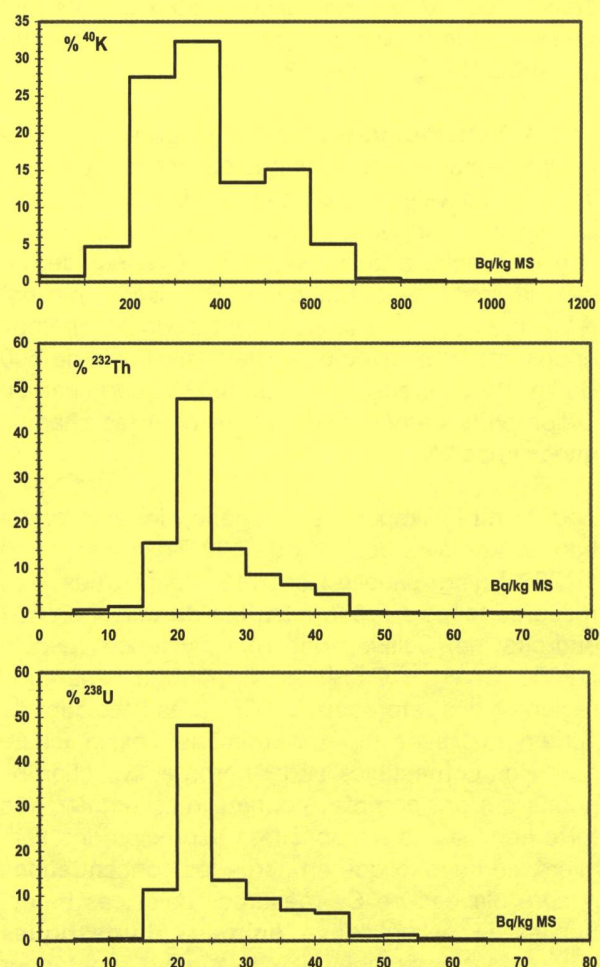


Figure 1
Répartition des valeurs de ^{40}K , ^{238}U et ^{232}Th dans le sol (627 mesures in situ entre 1986 et 1990; déterminées sur la base des lignes γ du ^{214}Bi de l' ^{228}Ac).

1.5. Végétaux et aliments ⁹⁾

Dans les échantillons d'**herbe** et d'aliments, c'est le ^{40}K naturel qui domine. Les radionucléides artificiels tels que le ^{137}Cs et le ^{90}Sr , provenant respectivement de l'accident de Tchernobyl et des essais nucléaires atmosphériques, et qui sont transférés dans les plantes par les racines, ne se trouvent plus que sous forme de traces. On ne constate aucune influence des installations nucléaires ou des centres de recherche suisses. La distribution régionale de l'activité des plantes reflète celle du sol, avec jusqu'à 20 Bq/kg MS pour le ^{137}Cs au Tessin et des valeurs de ^{90}Sr pouvant atteindre 14 et 50 Bq/kg MS dans les Alpes et au Tessin respectivement. Pour le **lait de vache**, la teneur en ^{137}Cs était partout inférieure à 1-2 Bq/l, sauf au Tessin avec un maximum de 25 Bq/l (valeur de tolérance : 10 Bq/l). Pour ce qui est du ^{90}Sr , des valeurs comprises entre 0.04 et 0.06 Bq/l ont été

⁷⁾ [chap. 4.1, 4.2 et 9.1]; voir p. B.9.1.3, utilisation du tritium dans l'industrie horlogère

⁸⁾ sol [chap. 4.3 et 7.2]

⁹⁾ herbe et denrées alimentaires [chap. 4.3 et 5.1] ; eau potable GR [chap. 4.5]

mesurées sur le Plateau et dans le Jura, entre 0.13 et 0.44 dans les Alpes et entre 0.12 et 0.62 Bq/l au Tessin. Les treize échantillons de **céréales** ont révélé moins de 0.6 Bq/kg pour le ^{137}Cs , et entre 0.1 et 0.3 Bq/kg pour le ^{90}Sr .

Pour **les champignons** indigènes, ce sont encore les bolets bails et les pholiotas qui accusent partiellement des valeurs plus élevées (jusqu'à 270 Bq par kg de champignons frais), mais avec une légère tendance à la baisse. Aucune valeur dépassant la limite de tolérance de 600 Bq/kg n'a été relevée. C'est le cas également pour les champignons importés, avec une valeur maximale de 500 Bq/kg ^{137}Cs (pieds de mouton). Un certificat de radioactivité demeure obligatoire pour les champignons importés.

Pour **le gibier** importé et indigène, des concentrations maximales de ^{137}Cs de 123 Bq/kg (chamois) et 293 Bq/kg (sanglier) ont été enregistrées. Les mesures faites sur des « **truffes du cerf** » en huit endroits de Suisse, ont mis évidence jusqu'à 20'000 Bq/kg ^{137}Cs et confirment la répartition régionale des retombées de Cs après l'accident de Tchernobyl, avec un maximum au Tessin [chap. 5.2]. Non comestibles pour l'homme, ces champignons qui ont comme propriété d'accumuler très fortement le césium sont très appréciés des sangliers, ce qui explique en partie les concentrations encore élevées de Cs mesurées dans ces bêtes. Sur les dix échantillons d'**animaux domestiques** du Tessin (bœufs, chèvres), on a relevé une teneur en ^{137}Cs entre 4 et 112 Bq/kg.

1.6. Carbone 14 dans les plantes ¹⁰⁾

Le ^{14}C est assimilé par les plantes en phase de croissance à partir du CO_2 dans l'air. Dans les années 60, les essais nucléaires ont été la cause d'une augmentation de 100% du ^{14}C par rapport au niveau naturel; aujourd'hui, cette part est encore de 74 % environ; elle est mesurée à la station de référence près de Berne. Les feuillages analysés à proximité des réacteurs accusent des augmentations maximales de 164 % à Leibstadt, 50 % à Gösgen, 35 % à l'IPS, 29 % à l'usine d'incinération Valorec à Bâle, 128 % sur l'ancien terrain industriel de SANDOZ et 80 % près de ROCHE. La part naturelle de ^{14}C dans les plantes, due au rayonnement cosmique, est de 227 Bq/kg C, produisant une dose de 0.013 mSv par année. Une activité supplémentaire de ^{14}C de 100 % induit une dose hypothétique maximale (effective) de l'ordre du micro-Sv par an.

¹⁰⁾ mesures ^{14}C [chap. 7.1]

1.7. Radioactivité dans le corps humain ¹¹⁾

Les mesures du corps entier ainsi que les analyses de ^{90}Sr dans les dents de lait et les vertèbres permettent d'évaluer la quantité de radionucléides incorporés avec la nourriture. Les mesures du corps entier d'habitants de Bâle ont révélé une activité maximale de ^{137}Cs de 29 Bq chez les femmes et de 58 Bq chez les hommes; ces valeurs étaient toutes inférieures à 10 Bq dans l'échantillon genevois. Pour les 674 personnes mesurées à l'IPS dans le cadre de la surveillance des personnes, la valeur maximale était de 500 Bq, mais avec 98 % se situant sous la limite de détection (60 Bq). Le ^{40}K naturel est demeuré constant à 3200 Bq chez les femmes et 4500 Bq chez les hommes. Dans les vertèbres et les dents de lait, la teneur en ^{90}Sr était de 0.04 et 0.03 Bq/g Ca respectivement.

2. Doses d'irradiation externe

2.1. Rayonnement naturel

L'exposition externe vient avant tout du rayonnement cosmique et terrestre. Les sources de rayonnements terrestres sont les radionucléides naturels présents dans le sol et dans les matériaux de construction. Le rayonnement cosmique dépend de l'altitude, étant donné qu'il est atténué par l'atmosphère ¹²⁾.

En Suisse, le débit de dose moyen en plein air est voisin de 80 nSv/h, avec des valeurs comprises entre 50 et 200 nSv/h. A l'intérieur des maisons, la dose se situe environ 10% au-dessus de celle en plein air à cause des radionucléides naturels contenus dans les matériaux de construction.

2.2. Radioactivité artificielle

La contribution rémanente de l'accident de Tchernobyl d'avril 1986 et des essais nucléaires des années 60 ne représente actuellement plus que quelques pour-cent de l'exposition externe globale, à l'exception du Tessin où elle atteint aujourd'hui encore 30 nSv/h ¹³⁾.

La surveillance automatique des doses en plein air est effectuée par le réseau NADAM via 58 stations dans tout le pays [chap. 3.2]. Les données peuvent être consultées sur l'Internet (www.naz.ch/baradio.html, sous *Messungen / Aktuelle Messwerte*). A proximité des centrales nucléaires, il existe également un réseau de surveillance (MADUK) pour les do-

¹¹⁾ radionucléides dans le corps humain [chap. 6.1 et 6.2]

¹²⁾ rayonnement cosmique [chap. 10.3 dans rapport 1999] http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_d.pdf

¹³⁾ mesures du débit de dose [chap. 3.1 et 3.2]

ses locales. Les données de ce système sont également disponibles sur l'Internet

(http://maduk.hsk.psi.ch/scripts/db4web_c.exe/maduk/messwerte/main.mth)

Des endroits limitrophes des centrales nucléaires de Mühleberg et Leibstadt (rayonnement ^{16}N du réacteur à eau bouillante), de l'IPS et du CERN montrent une influence du rayonnement direct de ces installations de quelques 100 nSv/h (valeur limite 5 mSv/an, soit 570 nSv/h). Compte tenu du séjour restreint de personnes dans ces endroits, les doses de rayonnements sont insignifiantes ¹⁴⁾.

2.3. Aéroradiométrie ¹⁵⁾

Des mesures sont effectuées chaque année, dans des régions sélectionnées, à bord d'un hélicoptère de l'armée à l'aide d'un spectromètre gamma NaI. Le secteur est quadrillé et surveillé à 100 m d'altitude environ. Un programme de traitement des données établit ensuite la carte du rayonnement du territoire étudié. L'instrument de mesure, dont l'utilisation est coordonnée par la Centrale nationale d'alarme (CENAL), permet d'établir rapidement une carte d'une région contaminée suite à un accident; il peut aussi servir à trouver des sources de rayonnement perdues.

En 2003, les secteurs mesurés ont été le voisinage des centrales nucléaires de Gösgen et Mühleberg. Les mesures n'ont pas établi une augmentation de la radioactivité comparée aux années précédentes. Seul a été mesuré un rayonnement ^{16}N , non blindé par le haut, émanant de la salle des machines de la centrale de Mühleberg. Mais ce rayonnement ainsi que les traces de ^{60}Co n'induisent que des doses de rayonnement insignifiantes pour les personnes.

Dans le cadre d'un exercice de mesure mené avec une organisation partenaire autrichienne, on a exercé la détection de sources de radioactivité dans deux régions proches de Klagenfurt/A.

3. Irradiation de la population

3.1. Radioactivité naturelle et rayonnement cosmique

La contribution majeure (environ 40 %) à la dose d'irradiation de la population provient du radon (^{222}Rn) et de ses descendants radioactifs dans les locaux d'habitation et de travail. Le radon est certes un gaz naturel de par son origine, mais ses fortes concentrations dans les bâtiments sont un « mal de civilisation ». Les enquêtes réalisées jusqu'en 2003 en Suisse dans environ 47'000 habitations indiquent une moyenne arithmétique corri-

gée de 75 Bq/m³. Le calcul de la dose se base sur un séjour moyen de 7'000 heures par an dans l'habitation et de 2'000 heures par an à la place de travail. Pour des facteurs de dose de $2.44 \cdot 10^{-6}$ et $3.17 \cdot 10^{-6}$ mSv respectivement par Bq/m³ et par heure ¹⁶⁾, on arrive à une dose de radon moyenne de 1.8 mSv par année pour l'ensemble de la population. Pour 1 à 2 % de la population, la dose est de 10 mSv par année, pour 0.2 %, de 25 mSv par année. Selon des estimations conservatrices, le radon pourrait être responsable de 5 à 10 % des cas mortels de cancer des poumons [chap. 2].

Les radionucléides naturels parviennent aussi dans notre corps avec la nourriture et occasionnent des doses annuelles moyennes de l'ordre de 0.35 mSv dont 0.2 sont à mettre sur le compte du ^{40}K . Le reste provient des nucléides des séries d'uranium et de thorium ainsi que des radionucléides d'origine cosmique tritium, ^{14}C , ^7Be , etc. [chap. 5.1].

Des radionucléides naturels présents dans le sol contribuent également aux doses de rayonnements externes. Cette contribution dépend fortement des teneurs locales du sol en radionucléides et du mode de vie. Le rayonnement naturel en plein air se situe, dans les régions habitées de Suisse, entre 0.35 et env. 0.8 mSv/an. A quoi s'ajoute le rayonnement cosmique qui augmente en fonction de l'altitude (p. ex. 0.35 mSv/an à Locarno, 0.4 à Zurich et 0.75 à St-Moritz). A l'intérieur, la dose est supérieure d'environ 10% à celle en plein air. Au total, la population suisse est soumise annuellement à près de 3 mSv d'origine naturelle [chap. 3.4].

3.2. Doses induites par la civilisation

La part prépondérante des **rayonnements externes** provient d'applications médicales et de l'exposition professionnelle aux rayons dans les centrales nucléaires, l'industrie, le commerce, les services publics, la recherche et la médecine, ainsi que des sources dites faibles (biens de consommation et objets courants contenant de faibles doses de radioactivité). La contribution de la radioactivité artificielle à l'irradiation externe ne peut être estimée que de façon approximative. En cas de séjour permanent en plein air, la dose serait de 0.01 et 0.5 mSv par an. Cette grande dispersion est la conséquence des différences régionales quant au dépôt de ^{137}Cs consécutif à l'accident de Tchernobyl. Les centrales nucléaires suisses, l'IPS et le CERN n'y contribuent pas de façon significative.

¹⁴⁾ centrales nucléaires [chap. 8.3]

¹⁵⁾ aéroradiométrie [chap. 3.3]

¹⁶⁾ Rapport 1993, p. B.2.3

Tableau 1

Sources de rayonnement naturel (mSv/an)

Source	Moyenne	Domaine
Radionucléides terrestres	0.45 ¹⁷⁾	0.15 - 1.0
Rayonnement cosmique	0.35	0.3 - 0.6
Radionucléides dans le corps	0.35 ¹⁸⁾	0.2 - 0.5
Habitations (radon)	1.8	0.3 - plus de 20 ¹⁹⁾
Somme	3	1 à plus de 20

Tableau 2

Sources de rayonnement artificiel (mSv/an)

Source		Moyenne	Domaine
Médecine	Diagnostic par rayons X ²⁰⁾	1	0 - 30
	Médecine nucléaire ²¹⁾	0.04	0 - 80
""Sources faibles""	Objets et biens de consommation contenant des substances radioactives ²²⁾	0.1	0 - ?
Radioactivité artificielle à large échelle	Tchernobyl	0.01	jusqu'à 0.5
	Retombées d'essais nucléaires	< 0.01	
	⁸⁵ Kr de retraitement	0.02	
Immissions radioactives	Entreprises et centrales nucléaires	≈ 0	jusqu'à 0.006
Exposition professionnelle	65'907 personnes professionnellement exposées ²³⁾	0.07	< 20 ^{*)} (98% < 1)

*) une valeur entre 20 et 50

¹⁷⁾ Dont rayonnement cosmique: 300 m 0.35 mSv/an. Un vol Suisse-Amérique du Nord, dose supplémentaire de 0.04 mSv; pour le personnel volant et les personnes voyageant fréquemment en avion, dose supplémentaire moyenne de 3 mSv/an [1999; 10.3].

¹⁸⁾ http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_d.pdf
Dont en micro-Sv par an: ⁴⁰K = 200; ⁸⁷Rb = 6; ³H; ⁷Be; ¹⁴C et ²²Na = ensemble 13. U, Th et Ra = 40; ²¹⁰Pb + ²¹⁰Bi + ²¹⁰Po = 90 micro-Sv/an.

¹⁹⁾ Plus de 10 mSv/an et plus de 25 mSv/an pour 1 à 2 % et 0.2% respectivement de la population.

²⁰⁾ Sondage 1996/99 de l'IRA/OFSP [1999; 10.1]
<http://www.bag.admin.ch/strahlen/ionisant/dosimetrie/pdf/2003-df.pdf>

²¹⁾ Sondage de 1989/90, J. Roth, Hôp. Cant. BS

²²⁾ Par ex. montres avec aiguilles luminescentes à base de tritium, radionucléides naturels dans carrelage, Th dans manchons à incandescence ou céramique dentaire, avertisseurs de fumée à ionisation, ²¹⁰Po dans fumée de cigarettes, etc.

²³⁾ Centrales nucléaires, médecine, recherche, industrie et administrations publiques. Source: rapport dosimétrie de l'OFSP 2003, voir aussi
<http://www.bag.admin.ch/strahlen/ionisant/dosimetrie/pdf/2003-df.pdf>

Les radionucléides artificiels incorporés avec la nourriture - ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr surtout - occasionnent une **irradiation interne**. Des mesures du corps entier de collégiens ont mis en évidence des doses de ¹³⁷Cs inférieures à 1 micro-Sv par année.

De manière générale, la dose de **radioactivité artificielle** - médecine et sources faibles exclues - de la majorité de la population est de 0.01 à 0.05 et, exceptionnellement jusqu'à 0.1 mSv par année.

Pour les effets de l'**accident de Tchernobyl**, voir:

<http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/chno2003.pdf>

Tableau 3

Quelques exemples (mSv/an)

¹³⁷ Cs dans le lait	1 l/jour avec 10 Bq/l (=VT)	0.05
¹³⁷ Cs dans les champignons	200 g/semaine avec 600 Bq/kg (VT)	0.09
²²⁶ Ra dans l'eau minérale	1 l/jour avec 1 Bq/l (= VL)	0.08
¹⁴ C dans les légumes	200 g/jour des environs de la station d'incinération de Bâle (SVA) ²⁴⁾	0.002
³ H dans l'eau de pluie (utilisée comme eau potable)	2.2 l/jour à 1000 Bq/l (des environs d'une entreprise traitant du tritium)	0.01
¹³⁷ Cs dans le sol au Tessin	Travail pendant une année dans un champ à la plus forte concentration de Cs	0.1
Rayonnement direct à proximité d'une centrale nucléaire	1 h/jour à la clôture de la centrale	0.1

VT = valeur de tolérance (OSEC)

VL = valeur limite (OSEC)

²⁴⁾ Usine d'incinération de déchets spéciaux, Bâle-Ville

4. Définitions, unités et prescriptions

La radioactivité est une propriété des atomes instables de modifier leur noyau (désintégration radioactive) lors de leur transition vers un état de plus grande stabilité en émettant un rayonnement (ionisant) caractéristique sous la forme de particules alpha ou bêta ainsi que de photons gamma. La radioactivité naturelle fait depuis toujours partie de notre environnement. La radioactivité artificielle est libérée lors des explosions d'armes nucléaires, mais peut aussi provenir des installations nucléaires ainsi que des industries et des hôpitaux qui utilisent des radionucléides.

La radioactivité d'une substance s'exprime en Becquerel (Bq). 1 Bq correspond à une désintégration par seconde. Pour les préfixes et leur signification, voir tableau ci-dessus. Dans le passé, l'unité Curie (Ci) était couramment utilisée (1 nCi = 37 Bq resp. 1 Bq = 27 pCi).

Pour apprécier **le risque lié aux rayonnements** envers la population, on détermine la **dose efficace** en mSv ou en µSv. Cette grandeur tient compte de la sensibilité spécifique des organes humains et de la nocivité particulière des différents types de rayonnements. La dose efficace se détermine comme suit : en premier lieu, on calcule la dose absorbée, i.e. l'énergie absorbée par l'organe cible. A l'aide de facteurs de pondération, les doses aux différents organes sont converties en doses au corps entier impliquant le même risque. La somme de ces doses équivalentes au corps entier représente la dose efficace. Ces différentes étapes ainsi que les facteurs de pondération correspondants sont précisés à la page C-2.

Conformément à **l'ordonnance sur la radioprotection (ORaP)**, les doses à la population liées à la radioactivité de l'environnement et à la civilisation - à l'exclusion toutefois du radon et des applications médicales - ne doivent pas dépasser 1 mSv par an et celles aux personnes exposées professionnellement 20 mSv par an. Pour l'air et l'eau du domaine public, l'ordonnance fixe des limites d'impact, dont l'épuisement pour une charge permanente de l'eau potable et de l'air entraînerait chacun 0.2 mSv par an. Le rayonnement direct ne doit pas donner lieu en dehors de l'enceinte de l'entreprise à des doses ambiantes excédant, par année, 1 mSv dans les locaux d'habitation, de séjour et de travail et 5 mSv dans tout autre endroit public. Des valeurs limites et de tolérance pour les radionucléides dans les denrées alimentaires sont publiées dans l'ordonnance sur les substances étrangères et les composants (OSEC). Du point de vue de la radioprotection, la valeur limite est essentielle, tandis que la valeur de tolérance traduit simplement un critère de qualité, qui ne signifie cependant aucun risque pour la santé. L'émission de substances radioactives se fait de manière contrôlée dans l'environnement, selon les limites de rejets fixées par les autorités qui délivrent l'autorisation. A titre d'exemple, les limites de rejets pour les installations nucléaires sont fixées de sorte qu'aucun riverain ne puisse recevoir une dose additionnelle supérieure à 0.2 mSv par an. Pour le gaz radon, une valeur limite de 1000 Bq par m³ s'applique aux locaux d'habitation et aux séjours. En cas de dépassement de cette valeur limite, les bâtiments doivent être assainis. Pour les constructions nouvelles ou celles en transformation, une valeur directrice de 400 Bq/m³ ne doit pas être dépassée.

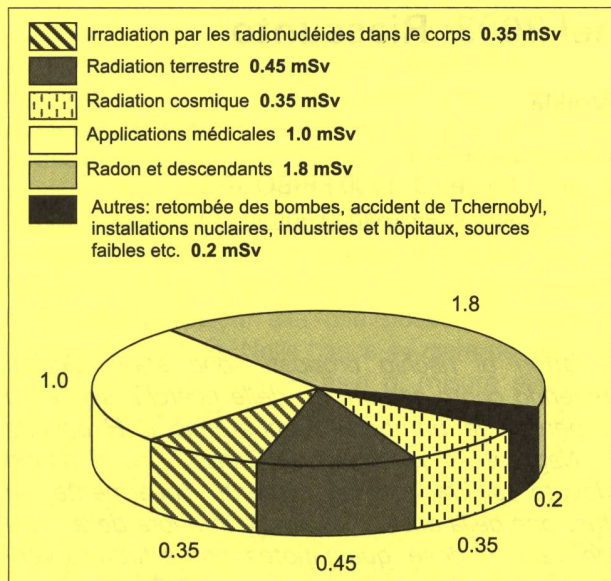


Figure 2
Contributions moyennes à l'exposition au rayonnement de la population suisse (dose globale: 4 mSv/an)

Préfixes et leurs significations

fBq	femto	10 ⁻¹⁵
pBq	pico	10 ⁻¹²
nBq	nano	10 ⁻⁹
µBq	micro	10 ⁻⁶
mBq	milli	10 ⁻³

kBq	kilo	10 ³
MBq	Mega	10 ⁶
GBq	Giga	10 ⁹
TBq	Tera	10 ¹²
PBq	Peta	10 ¹⁵

A

Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera nel 2003: Riassunto

H. Völkle

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

Riassunto ¹⁾

Questo capitolo presenta un riassunto degli esiti della sorveglianza della radioattività ambientale nel 2003:

- 1) radioattività ambientale*
- 2) radiazione esterna*
- 3) dosi d'irradiazione.*

L'impostazione del programma di misura e la scelta dei punti di prelievo e dei procedimenti d'analisi sono stati effettuati avendo cura di ottenere dati sufficientemente ridondanti per poter rilevare tutte le fonti naturali e artificiali di radioattività e tenere conto dei principali modi di trasporto e di arricchimento nell'ambiente. La sorveglianza va quindi oltre il semplice monitoraggio ed include anche progetti interdisciplinari. Il quadro di riferimento per la valutazione dei risultati è costituito dai limiti di dose e d'immissione fissati nell'Ordinanza federale sulla radioprotezione (OraP) del 1994, nonché dai valori limite e di tolleranza dell'Ordinanza sulle sostanze estranee e sui componenti nelle derrate alimentari (OEC).

Il calcolo delle dosi d'irradiazione della popolazione si basa sui fattori di dose indicati nell'OraP. Tali fattori si rifanno alle raccomandazioni della Commissione internazionale di radioprotezione (ICRP) e sono riferiti a persone con abitudini alimentari e di vita corrispondenti alla media.

Se l'irradiazione non è ripartita uniformemente sull'intero organismo, la ICRP raccomanda di applicare fattori di rischio, riferiti ai diversi organi, che tengono in considerazione:

- 1) i casi di decesso per cancro,*
- 2) la riduzione, dovuta a malattia, della speranza di vita (morte prematura),*
- 3) il deterioramento della qualità di vita a causa del cancro e*
- 4) le affezioni dovute a malformazioni genetiche.*

I fattori di rischio proposti sono stati calcolati tenendo conto soprattutto delle ricerche svolte su superstiti dei bombardamenti atomici di Hiroshima e Nagasaki e partendo dall'ipotesi che il danno dovuto all'irradiazione aumenti linearmente in funzione della dose. Al margine inferiore della scala dei valori di dose, quest'ipotesi non è tuttavia verificabile e si fonda in ampia misura sul fatto riconosciuto che anche dosi modeste danneggiano le cellule e possono perciò causare malattie. È dunque ragionevole sommare tali danni a quelli che insorgono comunque spontaneamente e sono all'origine dei casi di cancro spontaneo.

Finora, nel nostro Paese, le misure relative alla radioattività ambientale e alle dosi d'irradiazione della popolazione da fonti radioattive artificiali sono sempre risultate assai inferiori ai limiti legali e il rischio d'irradiazione che ne deriva è di poca entità. Diversa è la situazione per quanto concerne il radon, fonte radioattiva naturale, alla cui concentrazione eccessiva in locali abitati (v. cap. 2) si devono probabilmente alcuni casi su cento delle morti per cancro ai polmoni in Svizzera.

1. Radioattività ambientale

1.1 Aria ²⁾

Nell'aria non sono più accertabili che tracce (e a volte neppure queste) di radionuclidi artificiali come il ¹³⁷Cs (meno di 0.01 mBq/m³), il ²³⁹Pu e l'²⁴¹Am. Tracce di ²⁴Na e di ¹³¹I (0.0002% risp. 0.00004% del valore limite) erano riscontrabili, ad esempio, per alcune settimane nei pressi del CERN; si tratta di radionuclidi provenienti dagli acceleratori dell'istituto. La radioattività derivante dalla rigenerazione di combustibile nucleare (impianti di rigenerazione si trovano, in Europa, a la Hague/F e a Sellafield/UK) ha causato aumenti della concentrazione di ⁸⁵Kr fino a 1.8 Bq/m³ su un livello di base di 1.4 Bq/m³. Nell'umidità dell'aria circostante le aziende di lavorazione del tritio si riscontrano fino a circa 20 Bq/m³ di tale radionuclide. Questa concentrazione corrisponde all'1% circa del valore limite d'immissione secondo l'OraP. RADAIR, la rete automatica composta da 11 stazioni di sorveglianza della radioattività nell'aria, ha funzionato senza intoppi di rilievo anche nel 2003. Per il radionuclide naturale

¹⁾ I rinvii a capitoli della parte B o di rapporti annuali precedenti sono indicati tra parentesi quadre, i rinvii alla parte A tra parentesi tonde. Le **unità di misura** sono spiegate alla pagina A.20.

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

^7Be sono state misurate concentrazioni comprese tra 1 e 8 mBq/m³, per il ^{210}Pb tra 0.1 e 2 mBq/m³.

La componente principale della radioattività nell'aria – particolarmente all'interno delle case – è costituita dal gas nobile **radon** ³⁾ che penetra negli edifici prevalentemente dal terreno di fondazione in quantità dipendente dalla permeabilità di quest'ultimo. I materiali di costruzione e l'acqua non sono invece all'origine, in Svizzera, di concentrazioni elevate di radon. I discendenti radioattivi del radon emettono radiazioni alfa che possono causare il cancro polmonare. Nella banca svizzera dei dati sul radon sono registrati gli esiti di misure svolte in circa 47'000 case (91'000 misure in tutto, di cui 53'500 in locali abitati). In 2059 locali abitati, la concentrazione di radon supera il valore operativo di 400 Bq/m³, in 611 il valore limite di 1000 Bq/m³ (gli edifici già risanati non sono inclusi in queste cifre). Le regioni dove la concentrazione media è superiore a 200 Bq/m³ o dov'è stato misurato almeno un valore superiore al limite sono dette "aree a concentrazione di radon". La cartina della Svizzera con indicazione della concentrazione di radon nelle diverse regioni è ormai quasi completa. La media aritmetica della concentrazione di radon nei locali abitati della Svizzera – normalizzata per il piano e ponderata secondo la densità della popolazione nella regione – è di 75 Bq/m³. Concentrazioni elevate si ritrovano soprattutto nei Cantoni Grigioni, Ticino, Neuchâtel e Giura, ma sono stati accertati singoli casi anche nell'Altopiano. Alcune migliaia di case presentano valori elevati di radon e vengono risanate con provvedimenti di tecnica edilizia. Questi provvedimenti sono già stati attuati in una parte degli edifici; la precedenza è stata accordata a scuole e asili.

1.2 Precipitazioni ⁴⁾

La concentrazione del radionuclide predominante nelle precipitazioni, il **tritio** (^3H), si è ormai ridotta a pochi Bq/l, tranne che nelle aree influenzate da aziende industriali o da impianti nucleari, dove si riscontrano ancora valori fino a 30 Bq/l. Il tritio naturale, proveniente dalla radiazione cosmica, vi contribuisce con pochi decimi di Bq/l. Nelle immediate vicinanze di aziende di lavorazione del tritio o di impianti d'incenerimento si sono misurati valori fino a circa 1600 Bq/l. Conformemente all'ORaP, il limite d'immissione del tritio nelle acque pubblicamente accessibili è di 12'000 Bq; il valore di tolleranza per le acque potabili secondo l'OEC è di 1000 Bq/l.

Per quanto riguarda gli altri **radionuclidi artificiali**, sono state accertate, in alcuni casi tracce di ^{137}Cs di pochi mBq/l. La concentrazione del ^7Be , prove-

niente dalla radiazione cosmica naturale, è compresa tra 0.1 e 3 Bq/l.

1.3 Acque

L'acqua fiumana presenta anch'essa **un contenuto di tritio** di pochi Bq/l. Fanno eccezione l'Aar presso Brugg e il Reno a valle di Basilea, dove in primavera sono state rilevate concentrazioni di 20, rispettivamente 8 Bq/l, dovute all'emanazione di acque di scolo contenenti tritio dalla centrale nucleare di Gösgen. Tali emanazioni non superano tuttavia i limiti consentiti (vedi pagina B.8.0.1). Nelle regioni industrializzate, si osserva un influsso di emittenti locali. Le immissioni di tritio provenienti dall'industria orologiera nella regione di La Chaux-de-Fonds sono ulteriormente calate. Da un lato, infatti, la quantità di tritio impiegata per la produzione di orologi con cifre luminescenti si è nettamente ridotta; d'altro lato, le scorie contenenti tritio vengono raccolte e pervengono quindi più raramente incontrollate all'impianto regionale d'incenerimento dei rifiuti. Nel 2003, il contenuto di tritio nelle acque del Doubs è risultato generalmente inferiore a 10 Bq/l, con rare oscillazioni fino a 15 Bq/l.

Se si esclude il tritio, la radioattività artificiale riscontrata nel 2003 nei campioni mensili prelevati dalle acque dell'Aar, del Reno, del Rodano e del Ticino era inferiore a 7 mBq/l. A monte degli impianti nucleari, l'unico radionuclide artificiale accertato è stato il ^{137}Cs proveniente dalle ricadute degli esperimenti con armi nucleari e dall'incidente di Cernobil ⁵⁾, mentre a valle si sono riscontrate tracce di ^{58}Co fino a 1.8 mBq/l, ^{60}Co fino a 3 mBq/l, ^{65}Zn fino a 1.3 mBq/l e ^{137}Cs fino a 0.4 mBq/l.

Campioni prelevati nei **sedimenti fiumani** a valle degli impianti nucleari consentono di allestire un bilancio delle emanazioni liquide delle centrali nucleari (^{54}Mn fino a 28 Bq/kg, ^{65}Zn fino a 9 Bq/kg, ^{60}Co fino a 130 Bq/kg, ^{58}Co fino a 18 Bq/kg e ^{137}Cs fino a 43 Bq/kg) e dell'apporto dell'incidente nel reattore di Cernobil ⁶⁾.

In alcuni casi, nelle acque di scolo degli **impianti di depurazione** delle grandi agglomerazioni si ritrovano tracce (fino a 6 Bq/l) dello ^{131}I usato per la medicina nucleare e concentrazioni di tritio fino a 1600 Bq/l (La Chaux-de-Fonds). Queste ultime provengono da applicazioni industriali o da orologi e altri oggetti contenenti tritio inclusi nei rifiuti domestici. Nel corso degli ultimi anni, il deflusso di tritio dall'impianto di depurazione delle acque di LaChaux-de-Fonds è costantemente diminuito, portandosi da 42 TBq nel 1999 a 1,9 TBq nel 2002

³⁾ Radon v. [cap. 2]

⁴⁾ Pioggia v. [cap. 4.1, 7.1. e 9.1.]

⁵⁾ v. [cap. 4.2 e 4.4]

⁶⁾ v. [cap. 4.2, 4.4 e 4.5]

e 2003. Nel 2003, 3.3 TBq di tritio sono stati lavorati nell'unica azienda della città di La Chaux-de-Fonds ⁷⁾.

Le concentrazioni di tritio nelle acque provenienti dal gorgogliatore di lavaggio del gas combusto negli **impianti d'incenerimento dei rifiuti** sono invece risultate in parte assai elevate: fino a 570'000 Bq/l a Basilea, fino a 800 Bq/l a Bienne e fino a 750'000 Bq/l a La-Chaux-de-Fonds. Neppure le intense ricerche svolte in cooperazione con il laboratorio cantonale di Basilea hanno consentito di individuare l'origine delle occasionali punte di massima concentrazione di tritio nell'inceneritore di Basilea. Considerata la forte diluizione delle acque nel Reno, queste emanazioni non sono tuttavia rilevanti dal punto di vista radiologico. Le emanazioni constatate a La-Chaux-de-Fonds provengono dall'incenerimento di scorie contenenti tritio nel corso del 2003; si tratta di un processo controllato, svolto con il consenso dell'UFSP.

1.4 Suolo ⁸⁾

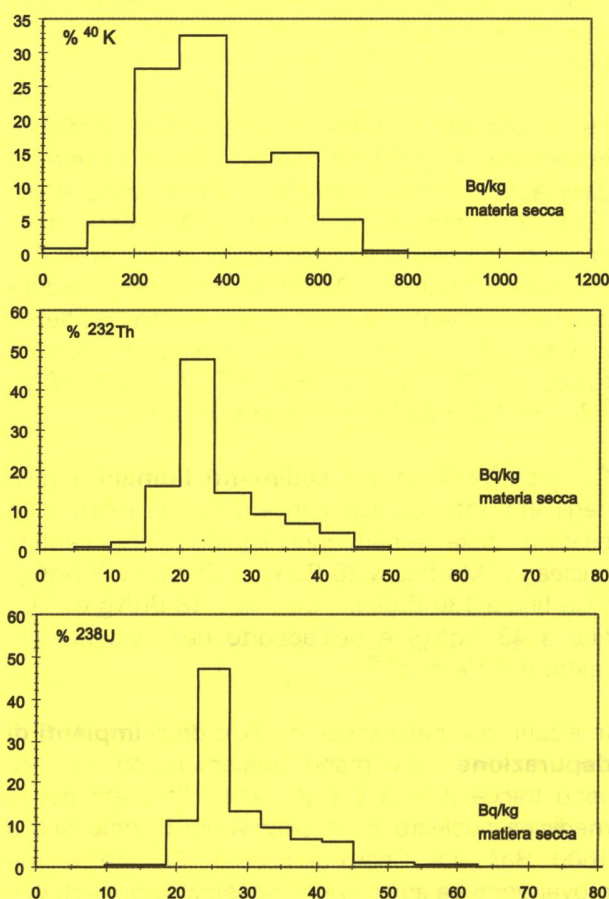


Figura 1

Distribuzione di frequenza delle concentrazioni di ^{40}K , ^{238}U e ^{232}Th nel suolo, in Bq/kg di materia secca, rilevate in 627 misure sul posto nel corso di tre anni tra il 1986 e il 1990 (calcolato delle linee γ del ^{214}Bi e ^{228}Ac).

⁷⁾ v. [cap. 4.1, 4.2 e 9.1]; utilizzazione del tritio nell'industria orologeria v. p. B.9.1.3.

⁸⁾ Suolo v. [cap. 4.3 e 7.2]

Nel suolo, un buon integratore di tutti i sedimenti dell'aria, la concentrazione dei radionuclidi naturali delle catene di decadimento dell'urano (15 a 70 Bq/kg di materia secca, valore mediano 24 Bq/kg) e del torio (10 a 50 Bq/kg di materia secca, valore mediano 23 Bq/kg) varia a seconda della struttura geologica del sottosuolo; quella del ^{40}K (100 a 1000 Bq/kg di materia secca, valore mediano 350 Bq/kg), anch'esso naturale, dipende inoltre dall'impiego di concimi potassici.

La concentrazione di radionuclidi artificiali è soggetta a differenze regionali dovute all'ineguale sedimentazione della radioattività proveniente dalle esplosioni in superficie di armi nucleari e dall'incidente nel reattore di Cernobil. Per effetto del diverso volume delle precipitazioni dopo l'incidente, la ripartizione della radioattività proveniente da Cernobil è assai più eterogenea di quella delle ricadute delle bombe atomiche. Ne sono stati particolarmente colpiti il Ticino e le vallate al Sud dei Grigioni, nonché, in misura minore, il Giura e parti della Svizzera nord-orientale. Nella regione alpina e a sud delle Alpi, la concentrazione del ^{137}Cs (fino a 710 Bq/kg di materia secca) e dello ^{90}Sr (fino a 37 Bq/kg di materia secca) è tuttora superiore ai valori riscontrati nell'Altopiano. Nel suolo non si sono riscontrati influssi delle emissioni di centrali nucleari. Per quanto riguarda gli emettitori alfa, si sono misurati da 0.2 a 4 Bq/kg di materia secca di $^{239+240}\text{Pu}$ e da 0.07 a 1.4 Bq/kg di ^{241}Am , con valori inferiori nell'Altopiano rispetto al Giura e alle Alpi. Il rapporto $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ è pari a 0.33.

1.5 Piante e derrate alimentari ⁹⁾

Nei campioni di **erba** e di derrate alimentari prelevati predomina il ^{40}K , di origine naturale. Radionuclidi artificiali come il ^{137}Cs (proveniente dall'incidente nel reattore di Cernobil) e lo ^{90}Sr (causato dagli esperimenti in superficie con armi nucleari) che le piante assorbono attraverso le radici, sono accertabili soltanto in tracce. Non è stato riscontrato alcun influsso delle centrali nucleari o degli impianti di ricerca svizzeri. La ripartizione regionale della radioattività corrisponde a quella nel suolo, con massimi di 20 Bq/kg di materia secca per quanto riguarda il ^{137}Cs in Ticino, nonché di 50 Bq/kg di materia secca per lo ^{90}Sr in Ticino e 14 Bq/kg nelle Alpi. Il contenuto di ^{137}Cs nel **latte di vacca** è risultato sempre inferiore al minimo accertabile di 1 a 2 Bq/l, tranne che in Ticino, dove si è registrato un massimo di 25 Bq/l (valore di tolleranza 10 Bq/l). Nell'Altopiano e nel Giura, il contenuto di ^{90}Sr era compreso tra 0.04 e 0.06 Bq/l, nelle Alpi tra 0.13 e 0.44 Bq/l e tra 0.12 e 0.62 Bq/l in Ticino. In 11 campioni di **cereali** si sono misurati

⁹⁾ Erba e derrate alimentari v. [cap. 4.3 e 5.1]; acqua potabile nei Grigioni v. [cap. 4.5]

valori inferiori a 0.6 Bq/kg per il ^{137}Cs e tra 0.1 e 0.3 Bq/kg per lo ^{90}Sr .

Tra i **funghi** di provenienza svizzera, boleti e agarici rugosi presentano tuttora valori leggermente elevati – fino a 270 Bq/kg di funghi freschi – con tendenza tuttavia decrescente. Non sono state misurate concentrazioni superiori al valore di tolleranza di 600 Bq/kg. Questo vale anche per i funghi importati, nei quali la concentrazione ^{137}Cs ha raggiunto al massimo 500 Bq/kg (gallinacci). Per l'importazione di funghi è tuttora richiesto un certificato di non-radioattività.

La **selvaggina** domestica e importata presenta ancora concentrazioni di ^{137}Cs fino a 123 Bq/kg per il camoscio e 293 Bq/kg per il cinghiale. Dalle misure svolte in 8 punti ripartiti su tutta la Svizzera per determinare la concentrazione del ^{137}Cs nel **"tartufo dei cervi"** (*elaphomyces*) sono risultati valori fino a 20 000 Bq/kg con un massimo in Ticino che riconferma la ripartizione regionale delle ricadute di Cernobil (v. [cap. 5.2.]). I tartufi dei cervi, funghi che presentano una predisposizione estrema all'accumulazione del cesio, sono incommestibili per gli uomini, ma prelibati per i cinghiali e costituiscono una delle cause delle elevate concentrazioni di Cs misurate nella carne di questi animali. Il contenuto di Cs misurato in Ticino su 10 campioni di **animali domestici** (bovini, capre) era compreso tra 4 e 112 Bq/kg.

1.6 Carbonio-14 nelle piante ¹⁰⁾

Le piante assorbono ^{14}C dall'aria quando ne assimilano l'anidride carbonica durante la fase di crescita. Negli anni sessanta, gli esperimenti svolti con armi nucleari hanno causato un raddoppiamento della concentrazione di ^{14}C rispetto al suo livello naturale, derivante dalla radiazione cosmica. Fino ad oggi, tale quota, misurata in una stazione di riferimento nei pressi di Berna, si è ridotta al 74 per mille. Le foglie prelevate da alberi nelle vicinanze di reattori nucleari presentavano inoltre concentrazioni supplementari massime del 164 per mille presso la centrale nucleare di Leibstadt, del 50 per mille presso quella di Gösgen, del 35 per mille presso l'PSI, del 29 per mille presso l'inceneritore Valorec a Basilea, del 128 per mille sul terreno appartenente in passato alla Sandoz e dell'80 per mille nei pressi della Roche. Il contenuto naturale, derivante dalla radiazione cosmica, di ^{14}C nelle piante è di 227 Bq/kg C e causa una dose di 0.013 mSv/anno. Un raddoppiamento della radioattività dovuta al ^{14}C nei prodotti alimentari causa un incremento annuale della dose d'irradiazione dell'ordine dei micro Sv.

¹⁰⁾ Misure del ^{14}C v. [cap. 7.1]

1.7 Radionuclidi nell'organismo umano ¹¹⁾

Misure dell'intero organismo e analisi del contenuto di ^{90}Sr nei denti di latte e nelle vertebre consentono di determinare la radioattività assorbita con l'alimentazione. La radioattività del ^{137}Cs registrata con misure del corpo intero a Basilea ammonta a 29 Bq al massimo per le donne e 58 Bq per gli uomini; a Ginevra, tutti i valori erano inferiori a 10 Bq. Il valore massimo misurato in occasione dei controlli a cui sono state sottoposte 674 persone presso l'PSI è stato di 500 Bq. Il 98 per cento delle persone controllate presentava tuttavia valori inferiori ai 60 Bq che costituiscono il limite dell'accettabile. La concentrazione del ^{40}K , di origine naturale ammonta a circa 3200 Bq nell'organismo delle donne e a 4500 Bq in quello degli uomini. Nelle vertebre umane è stato misurato un contenuto di ^{90}Sr pari a 0.04 Bq/g Ca (valore mediano), nei denti di latte di 0.03 Bq/g Ca.

2. Dosi d'irradiazione esterna

2.1 Radiazione naturale

L'esposizione a radiazioni esterne deriva principalmente dalla radiazione terrestre e da quella cosmica. La prima proviene dai radionuclidi naturali contenuti nel suolo e nei materiali di costruzione, la seconda dipende dall'altitudine dato che l'involucro atmosferico della Terra ne attenua l'impatto ¹²⁾.

In media, l'intensità di dose all'aperto in Svizzera è di 80 nSv/h, con valori compresi tra 50 e circa 200 nSv/h. Per effetto dei radionuclidi naturali contenuti nel materiale di costruzione, la radiazione all'interno delle case supera quella all'aperto del 10 per cento circa.

2.2 Radioattività artificiale

Le ricadute radioattive dell'incidente nel reattore di Cernobil nell'aprile del 1986 e degli esperimenti in superficie con armi nucleari contribuiscono soltanto ancora con una piccola percentuale all'intensità di dose esterna ¹³⁾. Il Ticino costituisce un'eccezione: qui il contributo di tali componenti può tuttora raggiungere valori fino a 60 nSv/h.

La sorveglianza automatica delle dosi ambiente all'aperto in 58 stazioni ripartite in tutto il Paese avviene attraverso la rete NADAM (v. [cap. 3.2]). I risultati sono reperibili su Internet, in tedesco all'indirizzo <https://www.naz.ch/baradio.html> (*Messungen / Aktuelle Messwerte*) e in francese all'indirizzo <https://www.naz.ch/fra/baradio.html> (*mesures, valeurs actuelles*). In prossimità delle centrali nucleari

¹¹⁾ Radionuclidi nell'organismo v. [cap. 6.1 e 6.2]

¹²⁾ v. [cap. 3.4]; per la radiazione cosmica v. inoltre Rapporto annuale 1999 [cap. 10.3]:

http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_d.pdf

¹³⁾ Misure della dose v. [cap. 3.1, 3.2 e 3.4]

è invece in funzione la rete automatica di sorveglianza delle dosi ambiente MADUK, i cui esiti sono pubblicati (in tedesco) su Internet all'indirizzo: http://maduk.hsk.psi.ch/scripts/db4web_c.exe/maduk/messwerte/main.mth

Per effetto delle radiazioni dirette, i valori in alcuni punti presso i recinti delle centrali nucleari di Mühleberg e Leibstadt (radiazione di ^{16}N dal reattore ad acqua bollente), dell'PSI e del CERN possono talvolta salire fino ad alcune centinaia di nSv/h (valore limite: 5 mSv/anno dunque 570 nSv/h). Poiché nessuno si trattiene tuttavia a lungo in questi luoghi, le dosi individuali che ne derivano sono irrilevanti ¹⁴⁾.

2.3 Aeroradiometria ¹⁵⁾

Ogni anno, alcune regioni scelte sono oggetto di misure operate dall'aria per mezzo di uno spettrometro gamma al NaI trasportato a bordo di un elicottero dell'esercito (aeroradiometria). L'elicottero sorvola le regioni in questione ad un'altezza di circa 100 metri dal suolo, seguendo una griglia di linee parallele. Un programma d'analisi dei risultati allestisce quindi una carta radiometrica della regione sorvolata. In caso d'incidente, questo strumento di misura, il cui impiego è coordinato dalla CENAL, permette di allestire rapidamente la cartina della regione contaminata. È inoltre possibile impiegarlo per ricercare fonti radioattive che sono andate perse.

Nell'anno in rassegna sono stati effettuati voli di misurazione nei dintorni delle centrali nucleari di Gösgen e di Mühleberg. Non ne sono risultate concentrazioni della radioattività più elevate che negli anni precedenti. L'unica radiazione misurabile è stata quella dell' ^{16}N proveniente dalla sala macchine della CN di Mühleberg, non isolata verso l'alto. Né questa radiazione, né le tracce accertabili di ^{60}Co causano tuttavia dosi individuali degne di nota. Esercitazioni svolte in comune con le organizzazioni austriache corrispondenti in due regioni nei pressi di Klagenfurt/A, hanno consentito di praticare la ricerca di fonti radioattive.

3. Dosi d'irradiazione della popolazione

3.1 Radioattività naturale e radiazione cosmica

Il radon (^{222}Rn) e i prodotti del suo decadimento nei locali d'abitazione e di lavoro causano il contributo più importante alla dose d'irradiazione (40% circa). In sé, si tratta di radionuclidi di origine naturale. Le concentrazioni elevate all'interno degli edifici sono tuttavia dovute all'attività umana. In media aritme-

tica, la concentrazione ponderata risultante dalle misure svolte entro il 2003 in circa 47'000 case si aggira sui 75 Bq/m³. Presupponendo una permanenza di 7000 ore all'anno nei locali d'abitazione e di 2000 ore sul posto di lavoro e applicando i fattori di dose corrispondenti di $2.44 \cdot 10^{-6}$ e $3.17 \cdot 10^{-6}$ mSv all'ora per Bq/m³ ¹⁶⁾, si ottiene per la popolazione svizzera una dose media d'irradiazione dovuta al radon di 1.8 mSv/anno. Un numero di persone compreso tra l'1 e il 2 per cento della popolazione subisce una dose annua superiore a 10 mSv, lo 0.2 per cento una dose annua superiore a 25 mSv. Secondo stime conservative, il radon sarebbe all'origine del 5 a 10 per cento dei casi di decesso per cancro ai polmoni (v. [cap. 2]).

Radionuclidi naturali penetrano inoltre nell'organismo umano attraverso l'alimentazione, causandovi in media una dose annuale di circa 0.35 mSv, di cui circa 0.2 mSv sono dovuti al ^{40}K . Il resto proviene dai radionuclidi delle catene di decadimento naturali dell'urano e del torio, nonché da quelli di origine cosmica: tritio, ^{14}C , ^7Be , ecc. (v. [cap. 5.1]).

Alle radiazioni esterne si aggiunge il contributo dei radionuclidi che si trovano nel suolo. Il loro apporto dipende fortemente dal contenuto locale di radionuclidi nel suolo e dalle abitudini di vita. Nelle regioni abitate della Svizzera, la dose d'irradiazione naturale di origine terrestre all'aperto è compresa tra 0.35 e circa 0.8 mSv/anno. Ad essa si aggiunge il contributo della radiazione cosmica, che cresce con l'altitudine sul livello del mare: 0.35 mSv/anno a Locarno, 0.4 a Zurigo e 0.75 a St. Moritz. La dose d'irradiazione in casa è del 10 per cento circa superiore a quella all'aperto. La dose annuale complessiva derivante da fonti naturali ammonta a circa 3 mSv (v. [cap. 3.4]).

3.2. Dosi d'irradiazione da fonti artificiali

Il maggior contributo antropogeno alla dose d'irradiazione da **fonti radioattive esterne** deriva dalle applicazioni mediche, nonché dall'esposizione a radiazioni per motivi professionali nelle centrali nucleari, nell'industria, nel commercio, nei servizi pubblici, nella ricerca e nella medicina e dalle cosiddette "fonti minori". Queste ultime sono oggetti d'uso e beni di consumo contenenti sostanze radioattive in piccole quantità. Il contributo dei radionuclidi artificiali nel suolo non può essere indicato che approssimativamente. Conformemente a ipotesi conservative, si tratta, in caso di permanenza duratura all'aperto, di una dose compresa tra 0.01 e 0.5 mSv/anno. L'ampio margine di variazione è una conseguenza delle differenze regionali della sedimentazione del ^{137}Cs dopo l'incidente nel reat-

¹⁴⁾ Misure nei dintorni delle CN v. [cap. 8.3]

¹⁵⁾ Aeroradiometria v. [cap. 3.3]; <http://www.hsk.psi.ch/far/>

¹⁶⁾ cfr. Rapporto annuale 1993, pag. B.2.3.

tore di Cernobil. I contributi delle centrali nucleari svizzere, dell'PSI e del CERN non sono di rilievo.

Tabella 1

Fonti radioattive naturali (mSv/anno)

Fonte	Media	Margine di variazione
radionuclidi terrestri	0.45 ¹⁷⁾	0.15 – 1.0
radiazione cosmica	0.35	0.3 - 0.6
radionuclidi nell'organismo umano	0.35 ¹⁸⁾	0.2 – 0.5
radon nei locali abitati	1.8	da 0,3 a oltre 20 ¹⁹⁾
Totale	3	da 1 a oltre 20

Tabella 2

Fonti radioattive artificiali (mSv/anno)

Fonte		Media	Margine di variazione
Medicina	radiodiagnostica ²⁰⁾	1	0 – 30
	medicina nucleare ²¹⁾	0.04	0 – 80
"Fonti minori"	oggetti d'uso e beni di consumo contenenti sostanze radioattive ²²⁾	0.1	0 - ?
Radioattività artificiale diffusa su vasta scala	Cernobil	0.01	fino a 0,5
	ricadute delle armi nucleari	< 0.01	
	⁸⁶ Kr proveniente dalla rigenerazione	0.02	
Immissioni radioattive	impianti e centrali nucleari	≈ 0	fino a 0,006
Esposizione a radiazioni per motivi professionali	65 907 persone professionalmente esposte ²³⁾	0.07	< 20

¹⁷⁾ di cui 0,35 mSv/anno dovuti alla radiazione cosmica a 300 m di altitudine. Un volo dalla Svizzera all'America del Nord causa una dose addizionale di 0,04 mSv. Il personale di volo e le persone che volano spesso subiscono una dose addizionale di 3 mSv/anno; v. Rapporto annuale 1999 cap. 10.3.:

http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_d.pdf

¹⁸⁾ di cui (in micro-Sv/anno): ⁴⁰K = 200; ⁸⁷Rb = 6; ³H, ⁷Be, ¹⁴C und ²²Na insieme circa 13; U, Th e Ra = 40; ²¹⁰Pb + ²¹⁰Bi + ²¹⁰Po = 90

¹⁹⁾ oltre 10 mSv/anno per l'1 a 2 % della popolazione e oltre 25 mSv/anno per lo 0,2%.

²⁰⁾ Rilevazioni IRA/UFSP 1996-99; v. Rapporto annuale 1999, cap. 10.1:

http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_d.pdf

²¹⁾ Dati rilevati nel 1989/90, J. Roth, Ospedale cantonale di Basilea Città.

²²⁾ Ad esempio: orologi con cifre luminescenti al tritio, radionuclidi naturali nelle piastrelle, Th in reticelle e ceramica dentaria, avvisatori di fumo a ionizzazione, ²¹⁰Po nel fumo delle sigarette, ecc.

²³⁾ nelle centrali nucleari, la ricerca, l'industria ed i servizi pubblici. Fonte: Rapporto sulla dosimetria dell'UFSP 2003; v inoltre

<http://www.bag.admin.ch/strahlen/ionisant/dosimetrie/pdf/2003-df.pdf>

La dose derivante dall'**esposizione a radiazioni interne** è causata principalmente da radionuclidi artificiali – soprattutto ¹³⁷Cs e ⁹⁰Sr – assorbiti con l'alimentazione. Secondo le misure dell'intero organismo svolte nelle scuole, la dose dovuta al ¹³⁷Cs incorporato è inferiore a 1 µSv/anno.

Complessivamente, la dose d'irradiazione dovuta alla **radioattività artificiale** (senza la medicina e le fonti minori) oscilla, per la maggioranza della popolazione svizzera, tra 0,01 e 0,05 mSv/anno, con punte massime di 0,1 mSv/anno. Sugli effetti dell'**incidente di Cernobil** cfr.:

http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_d.pdf

(in tedesco) o

http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_f.pdf

(in francese).

Tabella 3

Esempi (in mSv/anno):

¹³⁷ Cs nel latte	1 l/giorno contenente 10 Bq/l (= valore di tolleranza)*	0.05
¹³⁷ Cs nei funghi selvatici	200 g/settimana contenenti 600 Bq/kg (= valore di tolleranza)*	0.09
²²⁶ Ra nell'acqua minerale	1 l/giorno contenente 1 Bq/l (= valore limite)*	0.08
¹⁴ C negli ortaggi	200 g /giorno di ortaggi coltivati nelle vicinanze dell'impianto regionale d'incenerimento dei rifiuti speciali di Basilea	0.002
³ H nell'acqua piovana impiegata come acqua potabile	2,2 l/giorno prelevati nei dintorni di un'azienda di lavorazione del tritio	0.01
¹³⁷ Cs nel suolo in Ticino	1 anno di lavoro in un campo con la massima concentrazione di Cs in Ticino	0.1
Irradiazione di retta (dintorni di una centrale nucleare)	1 h/giorno presso il recinto della centrale nucleare	0.1

* secondo l'OEC

4. Definizioni, unità di misura e norme legali

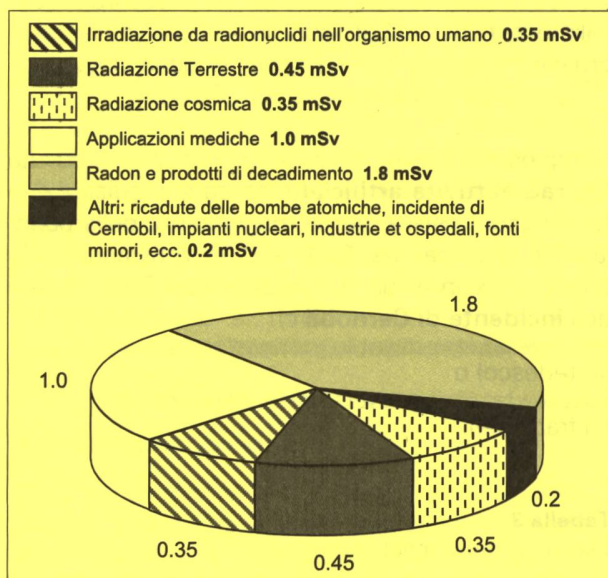


Figura 2
Esposizione a radiazioni della popolazione svizzera in media, in mSv/anno (totale: 4 mSv/anno)

Prefissi delle unità di misura

fBq	femto	10^{-15}
pBq	pico	10^{-12}
nBq	nano	10^{-9}
μ Bq	micro	10^{-6}
mBq	milli	10^{-3}

kBq	chilo	10^3
MBq	mega	10^6
GBq	giga	10^9
TBq	tera	10^{12}
PBq	peta	10^{15}

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

La **radioattività** di una sostanza si misura in Becquerel (Bq). Un Bq corrisponde ad una disintegrazione radioattiva al secondo. I prefissi e il loro significato sono indicati nella tabella precedente. Una volta, l'unità in uso era il Curie (Ci); $1 \text{ nCi} = 37 \text{ Bq}$ o, rispettivamente, $1 \text{ Bq} = 27 \text{ pCi}$.

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

Conformemente all'**Ordinanza sulla radioprotezione (ORaP)**, le dosi d'irradiazione della popolazione in seguito alla radioattività legata alla civilizzazione e alle radiazioni presenti nell'ambiente - esclusi il radon e le applicazioni mediche - non devono superare 1 mSv all'anno. Per le persone professionalmente esposte a radiazioni è fissato un limite di 20 mSv all'anno. L'Ordinanza pone inoltre limiti all'immissione di sostanze radioattive nell'aria e nelle acque pubblicamente accessibili. Questi limiti sono fissati in modo tale che una persona che bevesse sempre acqua o respirasse aria appena conformi alle norme subirebbe, per ognuno di questi mezzi, un'irradiazione di 0,2 mSv all'anno. Per l'irradiazione diretta, il valore limite è di 5 mSv all'anno nelle aree pubblicamente accessibili e di 1 mSv all'anno nei locali di abitazione, di soggiorno e di lavoro. Valori limite e di tolleranza per i radionuclidi nelle derrate alimentari sono pubblicati nell'Ordinanza sulle sostanze estranee e sui componenti nelle derrate alimentari (OEC). Quello che conta per la radioprotezione è il valore limite, mentre il valore di tolleranza costituisce unicamente un criterio di qualità e il suo superamento non comporta alcun rischio per la salute. L'evacuazione di sostanze radioattive nell'ambiente deve, in ogni caso, essere controllata. L'autorità cui compete il rilascio delle licenze fissa i limiti d'immissione. Per gli impianti nucleari, questi sono ad esempio scelti in modo tale che, anche nelle immediate vicinanze, nessuno subisca una dose addizionale superiore a 0,2 mSv all'anno (valore operativo di dose riferito alla sorgente secondo l'art. 7 ORaP). Il limite di concentrazione del radon nei locali d'abitazione e di soggiorno è fissato a 1000 Bq/m^3 . Edifici che presentano valori superiori a questo limite devono essere risanati. Gli edifici nuovi e quelli riattati non dovrebbero superare un limite operativo di 400 Bq/m^3 .

3.1 Radioattività naturale e radiazione cosmica

Il radon (^{222}Rn) è prodotto dal suo decadimento nella catena di decadimento dell'uranio. Il contributo del radon alla dose totale di radiazione (40% circa) è il più elevato tra le fonti di radiazione naturale. Le radiazioni cosmiche provengono dall'esterno e agiscono su tutta la popolazione. Le dosi di radiazione cosmica sono più elevate in alta montagna e in aereo.

A

Environmental Radioactivity and Radiation Doses in Switzerland in 2003: Summary

H. Völkle

Environmental Radioactivity Section (SUER)

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

(For further information: Tel. +41 (0)26 300 9161; e-mail: hansruedi.voelkle@bag.admin.ch)

Summary ¹⁾

This Part of the Report (Part A) summarises the results obtained from monitoring radioactivity in the environment in 2003:

- 1) Radioactivity in the environment,
- 2) External radiation,
- 3) Radiation doses.

In deciding on the programme of measurements, the sampling stations and the analytical techniques, due consideration is given to adequate redundancy in order to satisfy the objective of including all sources of natural and artificial radiation and of considering the most important transport and enrichment processes in the environment. What is involved is thus more than a straightforward monitoring programme, since it includes interdisciplinary research projects too. The reference parameters for assessing the results are the dose and ambient air-concentration limits as laid down in the Swiss Federal Radiological Protection Ordinance (StSV, Strahlenschutzverordnung) of 1994 and the tolerance and limit values for food laid down in the Swiss Federal Ordinance on Food Contents and Contaminants ("FIV", Fremd- und Inhaltsstoffverordnung).

The calculation of the population's radiation doses is based on the models and dose factors contained in the Radiological Protection Ordinance, which are based, in turn, on the recommendations of the International Commission for Radiological Protection (ICRP) and apply for people who may be considered as average members of the population in terms of their lifestyle and nutritional habits.

The ICRP recommends a way of catering for the risk resulting from radiation that is not distributed evenly over the whole body: radiation-risk factors are established for the various irradiated human organs. These take into account:

- 1) death through cancer,
- 2) reduction in life expectancy (premature death) as a consequence of a disease,
- 3) reduction in the quality of life as the consequence of cancer,
- 4) sufferings with genetic causes.

These risk factors have been derived primarily from investigations carried out on the survivors of the atomic bombs dropped on Hiroshima and Nagasaki. The working assumption is that radiation damage increases linearly from the lowest dose range up to high dose levels. There is no available means of verifying this assumption for the low end of the dose range. It is largely based on the recognised fact that even small doses can cause cell damage that may lead to illnesses. It makes sense to add these to the spontaneous damage that exists anyway, triggering spontaneous occurrences of cancer.

In Switzerland, both the values for radioactivity in the environment and the population's radiation doses from artificial radiation sources have to date always been way below the statutory limits, and the corresponding radiation risk is thus low. The situation is different as far as radon, a radiation source occurring naturally, is concerned, and its higher values in residential buildings (see chapter 2) are probably responsible for a few percent of the lung-cancer deaths in Switzerland.

1. Radioactivity in the environment

1.1 Atmosphere ²⁾

Artificial radionuclides in the atmosphere, such as ¹³⁷Cs (less than 0.01 mBq/m³), ²³⁹Pu and ²⁴¹Am, are only detectable at trace levels (if at all). At CERN, for instance, traces of ²⁴Na and ¹³¹I (0.0002% and 0.00004% of the limits for the air according to the StSV) from its accelerators were detected during a number of weeks. ⁸⁵Kr from the reprocessing of nuclear fuel (in the European facilities of La Hague in France and Sellafield in the United Kingdom) resulted in increases of up to 1.8 Bq/m³ on top of a basic background level of 1.4 Bq/m³. Tritium (³H)

¹⁾ **References** to chapters in Part B of the present Report or to earlier annual reports are contained in square brackets; references to Part A (this part) are in round brackets. **Units** are listed on page A.27.

²⁾ For atmosphere, see: [sections 4.1 and 7.1]; for Pu and Am: [section 7.2]

reaches values of up to approximately 20 Bq/m³ in atmospheric moisture in the near vicinity of plant processing this nuclide (which is approximately 1% of the limit value for ambient concentrations laid down in the Swiss Federal Radiological Protection Ordinance). RADAIR, the automatic monitoring network for radioactivity in the atmosphere, which is comprised of eleven stations, functioned once again throughout 2003 without any major downtime. The naturally occurring radionuclides ⁷Be and ²¹⁰Pb showed values of 1–8 and 0.1–2 mBq/m³ respectively.

In the air (especially inside buildings) the principal component of radioactivity comes from the natural inert gas **radon**³⁾. Most of this penetrates the buildings from the subsoil, depending on how permeable it is. On the contrary, neither building materials nor water lead to increased radon concentrations in Switzerland. Radon's radioactive decay nuclides may trigger lung cancer through their alpha radiation. The Swiss radon database now contains measurements from some 47 000 residential buildings (with a total of 91 000 measurements, 53 500 of them in rooms regularly occupied). In 2059 regularly occupied rooms the measurements exceeded the guideline value (400 Bq/m³) and in 611 of them they exceeded the limit value (1000 Bq/m³). The term "radon-affected areas" is applied to all regions with a mean value greater than 200 Bq/m³ or a single measurement in excess of the limit value. Switzerland now has a nearly complete radon map of the whole of its territory. Once corrections have been made to account for different floors in buildings and regional population concentrations, the resulting arithmetical mean for Switzerland as a whole is 75 Bq/m³. Higher radon concentrations occur especially in the cantons of Graubünden (Grisons), Ticino (Tessin), Neuchâtel (Neuenburg) and Jura, with isolated occurrences in the Swiss Mittelland too. Dwellings with elevated radon values (a few thousand taking Switzerland as a whole) have remedial engineering work performed on them. Such work has already been carried out on a number of other buildings too, and schools and kindergartens have been treated as priorities.

1.2 Precipitation⁴⁾

In precipitation, it is **tritium** (³H) that predominates and today it still has a few Bq/l, reaching a maximum of 30 Bq/l in areas affected by industrial operations and nuclear facilities. Its natural component, produced by cosmic radiation, is a few tenths of a Bq/l. In the immediate vicinity of plant processing tritium or incinerating waste, values of

just short of 1600 Bq/l were recorded. For water to which the public has access, the ambient concentration limit laid down in the Swiss Federal Radiological Protection Ordinance is 12 000 Bq/l. The tolerance value for drinking water laid down in the Swiss Federal Ordinance on Food Contents and Contaminants ("*FIV*", *Fremd- und Inhaltsstoffverordnung*) is 1000 Bq/l.

Amongst the other **artificial radionuclides**, isolated traces of ¹³⁷Cs were determined with values of a few mBq/l. Naturally-occurring ⁷Be, which is produced by cosmic radiation, stood at between 0.1 and 3 Bq/l.

1.3 Aquatic systems

The **tritium content** of rivers is also generally only a few Bq/l. There were two exceptions affecting the River Aare near Brugg and the River Rhine downstream of Basel, where values of 20 and 8 Bq/l respectively were determined in the spring. These were due to discharges of waste water containing tritium from the nuclear power station in Gösgen, but were still within its permitted limits (see page B.8.0.1). In the industrialised regions, there is a detectable effect from local emitters. Tritium pollution from the clock and watch industry in and around La Chaux-de-Fonds has continued to decline. One reason for this is that much less tritium is now used for fluorescent clock numerals, and another is that waste containing tritium is now collected, and less of it thus makes its uncontrolled way into the regional waste-incineration facilities. In 2003 the tritium concentration in the River was generally below 10 Bq/l, rising in a few cases to 15 Bq/l.

In aggregate monthly samples taken from the rivers Aare, Rhine, Rhone and Ticino, the level of artificial radioactivity in 2003 (excluding tritium) was less than 7 mBq/l. Upstream of the nuclear installations, the only artificial radionuclide to be detected was ¹³⁷Cs from fallout and Chernobyl⁵⁾, whereas downstream of them there were also traces of ⁵⁸Co, ⁶⁰Co and ¹³⁷Cs up to 1.8, 3, 1.3 and 0.4 mBq/l respectively.

Sediment samples taken from the rivers downstream of the nuclear installations make it possible to draw up a balance of the liquid discharges from the nuclear-power stations (⁵⁴Mn: up to 28 Bq/kg, ⁶⁵Zn up to 9 Bq/kg, ⁶⁰Co: up to 130 Bq/kg, ⁵⁸Co: up to 18 Bq/kg and ¹³⁷Cs: up to 43 Bq/kg) as well as the contribution due to the Chernobyl reactor accident⁶⁾.

³⁾ For radon, see: [section 2]

⁴⁾ For precipitation, see: [sections 4.1, 7.1 and 9.1.]

⁵⁾ See: [sections 4.2 and 4.4]

⁶⁾ See: [sections 4.2, 4.4 and 4.5]

Effluents from the **sewage works** serving the larger conurbations show isolated traces of ^{131}I from nuclear medicine (of up to 6 Bq/l) and also tritium values of up to just under 1600 Bq/l (La Chaux-de-Fonds); this latter is derived from industrial applications, tritium clocks and watches and miscellaneous waste containing tritium disposed of as general waste. At the waste-incineration facility in La Chaux-de-Fonds the amount of tritium discharged has declined steadily in recent years, but remained at 1.9 TBq in 2003 (the same as 2002), whereas back in 1990 it was still as high as 42 TBq. In 2003 3.3 TBq of ^3H were processed by the last facility using tritium in the town of La Chaux-de-Fonds ⁷⁾.

On the other hand, there were a few isolated instances of very high tritium values in the waste water from flue-gas scrubbers in **waste-incineration facilities**: Basel: up to 570 000 Bq/l, Bienne (Biel): up to 800 Bq/l, and La-Chaux-de-Fonds: up to 750 000 Bq/l. It was not possible to establish the polluter responsible for the occasional peak emissions in Basel, despite intensive investigations with the cooperation of the Cantonal Laboratory. However, such figures are not radiologically significant, given the extensive dilution that occurs in the River Rhine. The emissions from La-Chaux-de-Fonds in 2003 were caused by the controlled incineration of waste containing tritium, for which the FOPH had granted authorization.

1.4 Soil ⁸⁾

In the soil, which is a good integrator for all air-borne deposits, the natural decay series of uranium (15-70 Bq/kg dry matter; median 24 Bq/kg dry matter) and thorium (10-50 Bq/kg dry matter; median 23 Bq/kg dry matter) vary according to the geological substrate. In the case of ^{40}K (100-1000 Bq/kg dry matter; median 350 Bq/kg dry matter), which is also a naturally-occurring isotope, the application of potassium fertilisers also plays a part.

The artificial radionuclides display regional differences, linked to the fallout from the atmospheric nuclear-weapons tests and the Chernobyl reactor accident. It is noticeable that the Chernobyl component is less evenly distributed than the fallout component, which is explained by the differing amounts of precipitation at the time of that accident. The more strongly affected districts were Canton Ticino and the southern valleys of Canton Graubünden and, to a lesser extent, Canton Jura and parts of northeast Switzerland. The values of ^{137}Cs (up to 460 Bq/kg of dry matter) and ^{90}Sr (up to

37 Bq/kg of dry matter) are still higher in the Central and Southern Alps than in the Swiss Mittelland. No evidence was found of the soil being affected by the nuclear installations. Amongst the artificial alpha sources, $^{239+240}\text{Pu}$ caused between 0.02 and 4 Bq/kg dry matter and ^{241}Am between 0.07 and 1.4 Bq/kg dry matter, with the values measured in the Swiss Mittelland being lower than those in the Jura and Alps. The $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ ratio was 0.33.

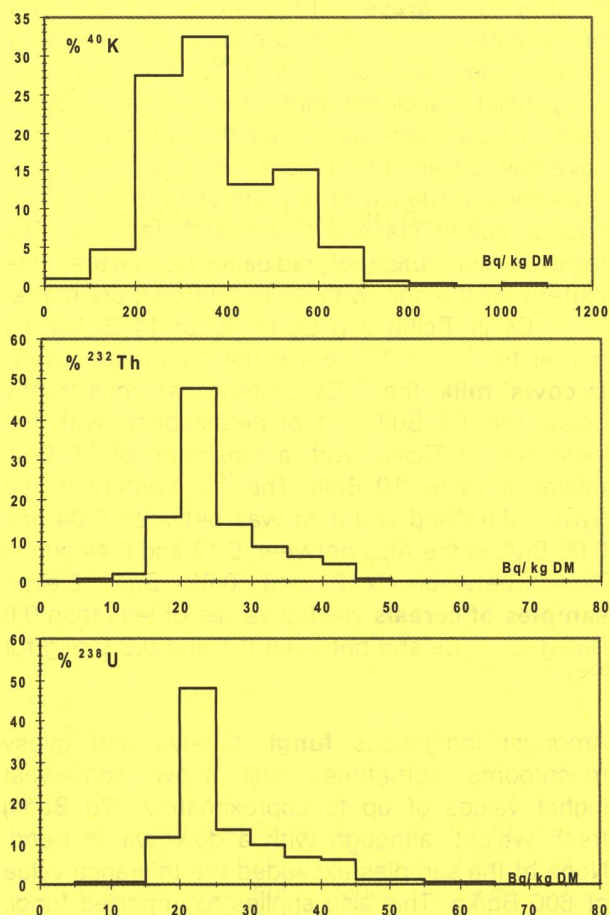


Figure 1

Frequency distribution of the ^{40}K , ^{238}U and ^{232}Th measurements in Bq/kg dry matter (DM) in the soil from 627 *in-situ* measurements performed over the years 1986-1990 (using the γ lines of ^{214}Bi and of ^{228}Ac).

The artificial radionuclides display regional differences, linked to the fallout from the atmospheric nuclear-weapons tests and the Chernobyl reactor accident. It is noticeable that the Chernobyl component is less evenly distributed than the fallout component, which is explained by the differing amounts of precipitation at the time of that accident. The more strongly affected districts were Canton Ticino and the southern valleys of Canton Graubünden and, to a lesser extent, Canton Jura and parts of northeast Switzerland. The values of ^{137}Cs (up to 710 Bq/kg of dry matter) and ^{90}Sr (up to 37 Bq/kg of dry matter) are still higher in the

⁷⁾ See: [sections 4.1, 4.2 and 9.1]; see page B.9.1.3, tritium in the watch industry

⁸⁾ For soil, see: [sections 4.3 and 7.2]

Central and Southern Alps than in the Swiss Mittelland. No evidence was found of the soil being affected by the nuclear installations. Amongst the artificial alpha sources, $^{239+240}\text{Pu}$ caused between 0.02 and 4 Bq/kg dry matter and ^{241}Am between 0.07 and 1.4 Bq/kg dry matter, with the values measured in the Swiss Mittelland being lower than those in the Jura and Alps. The $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ ratio was 0.33.

1.5 Plants and food⁹⁾

In samples of **grass** and foodstuffs, it is the naturally-occurring ^{40}K that predominates. Artificial radionuclides, such as ^{137}Cs or ^{90}Sr from the Chernobyl reactor accident and/or the nuclear-weapons tests, which plants assimilate through their roots, have now declined to trace levels only. There is no discernible evidence of any effect from the Swiss nuclear power stations or research facilities. The regional distribution of radioactivity matches the pattern for the soil, with up to 20 Bq/kg dry matter for ^{137}Cs in Ticino and up to 50 or 14 Bq/kg dry matter for ^{90}Sr in Ticino and the Alps respectively. In **cows' milk**, the ^{137}Cs content was consistently below the 1-2 Bq/l limit of detectability (with the exception of Ticino, with a maximum of 25 Bq/l; tolerance value: 10 Bq/l). The ^{90}Sr content in the Swiss Mittelland and Jura was between 0.04 and 0.06 Bq/l, in the Alps between 0.13 and 0.44 and in Ticino between 0.12 and 0.62 Bq/l. Eleven **samples of cereals** yielded values of less than 0.6 Bq/kg for ^{137}Cs and between 0.1 and 0.3 Bq/kg for ^{90}Sr .

Amongst indigenous **fungi**, boletes and gypsy mushrooms sometimes still show somewhat higher values of up to approximately 270 Bq/kg fresh weight, although with a downwards trend. None of the samples exceeded the tolerance value of 600 Bq/kg. This also applies to imported fungi, whose ^{137}Cs values reached a maximum of 500 Bq/kg (yellow chanterelle). Switzerland continues to require radioactivity certificates for imported fungi.

The measurements made on imported and domestic **venison** still produced ^{137}Cs values of up to 123 Bq/kg (chamois) and 239 Bq/kg (wild boar). Measurements made on **Elaphomyces granulatus** (the so-called "deer truffle") in eight locations all over Switzerland resulted in ^{137}Cs values of up to 20 000 Bq/kg and confirm the regional distribution of the caesium fallout following the Chernobyl reactor accident [section 5.2]. This species of truffle, which has an extreme propensity to accumulate caesium, is admittedly inedible for humans, but wild boars

are extremely fond of it, and it is responsible for the partially still elevated caesium values in these animals. In ten samples taken from **domesticated animals** in Ticino (cattle, goats), the ^{137}Cs level was in the range of 4 to 112 Bq/kg.

1.6 Carbon-14 in plants¹⁰⁾

^{14}C is taken up by plants when they assimilate carbon dioxide from the atmosphere during their growth phase. In the 1960s, the nuclear-weapons tests led to a doubling of ^{14}C compared with naturally occurring isotope produced by cosmic radiation. Today, its share is still around 74‰ and is measured at a reference station just outside of Berne. Foliage from trees in the vicinity of the CERN reactor showed additional maximum increases of 164‰ at Leibstadt nuclear power station, 50‰ at Gösgen nuclear power station, 35‰ at the Paul Scherrer Institute (PSI), 29‰ at the Valorec incinerator in Basel, 128‰ on land formerly occupied by Sandoz and 80‰ near to the Roche company. The natural ^{14}C component in plants, which is caused by cosmic radiation, amounts to 227 Bq/kg C and leads to 0.013 mSv per annum. An additional ^{14}C activity of 100‰ in food leads to an additional annual dose of roughly one micro-sievert.

1.7 Radionuclides in the human body¹¹⁾

Whole-body measurements and ^{90}Sr determinations in milk teeth and vertebrae are used to establish the actual uptake of radionuclides with food. Whole-body measurements on people in Basel showed ^{137}Cs activity of up to 29 Bq in women and up to 58 Bq in men. All the measurements made in Geneva were below 10 Bq. Amongst the 674 individuals at the PSI who were measured as part of the personnel monitoring programme, the maximum value was around 500 Bq, whilst 98% of them were below the detection limit of 60 Bq. The naturally occurring ^{40}K amounts to around 3200 Bq in the women and 4500 Bq in the men. In human vertebrae, the median value for ^{90}Sr content was 0.04 Bq/g Ca, and in milk teeth it was 0.03 Bq/g Ca.

2. External radiation doses

2.1 Natural radiation

The principal contributions to the external radiation dose come from terrestrial and cosmic radiation. The first of these arises from natural radionuclides in the soil and in building materials; the second depends on altitude above sea-level, since it is

⁹⁾ For grass and food respectively, see: [sections 4.3 or 5.1];
For Graubünden drinking water, see: [section 4.5]

¹⁰⁾ For ^{14}C measurements, see: [section 7.1]

¹¹⁾ For radionuclides in the human body, see: [sections 6.1 and 6.2]

attenuated through the atmospheric layer that shrouds the Earth ¹²⁾.

The mean outdoor dose rate in Switzerland is around 80 nSv/h and varies within a range of 50 and approximately 200 nSv/h. The indoor dose is around 10% higher than the outdoor one on account of the natural radionuclides in building materials.

2.2 Artificial radioactivity

Today, the radioactive fallout from the Chernobyl reactor accident of April 1986 and the atmospheric nuclear-weapons tests accounts for only a few percent of the external dose rate, with the only exception being Canton Ticino, where this contribution still amounts to up to 30 nSv/h ¹³⁾.

The automatic monitoring of outdoor doses is performed at 58 stations throughout the country via a monitoring network known as NADAM [Section 3.2]. The data is made publicly available on the Internet (see *Monitoring / Measured values*): <https://www.naz.ch/baradio.html>.

In the near vicinity of the nuclear power stations there is also an automatic monitoring network for local doses. The data from this system (called MADUK) is also made public in the Internet:

http://maduk.hsk.psi.ch/scripts/db4web_c.exe/maduk/messwerte/main.mth

There are a few places right next to the perimeter fences around the nuclear power stations in Mühleberg and Leibstadt (¹⁶N radiation from the boiling-water reactor), the PSI and CERN where values of up to a few hundred nSv/h occur at times as a result of direct radiation (Limit 5 mSv/year corresponding to 570 nSv/h). Since people spend so little time in such locations, the resultant individual doses are insignificant ¹⁴⁾.

2.3 Aerial radiometry ¹⁵⁾

Every year, a NaI gamma spectrometer mounted onboard a Swiss army helicopter is used to measure selected regions from the air. The areas under investigation are flown over at an altitude of approximately 100 m in a grid pattern of parallel trajectories. The evaluation program then generates a radiation map of the territory flown over. Using this device, whose deployment is coordinated by the National Emergency Operations

Centre (NEOC), it is possible to produce a map of contaminated territory quickly after an accident; it can also be used to look for any radiation sources that have been lost.

The areas surveyed from the air in 2003 were the neighbourhoods of the nuclear power stations in Gösgen and Mühleberg. The results showed no increase in radioactivity compared with earlier years. The only detectable radiation was ¹⁶N from the turbine room of the Mühleberg nuclear power station, which is not screened upwards. Neither this nor the ⁶⁰Co, which is detectable at trace levels, lead to significant individual doses. A joint measuring exercise with an Austrian partner organization near Klagenfurt involved searching for two deposited radioactive sources of radiation.

3. Population's radiation doses

3.1 Natural and cosmic radiation

The biggest single radiation-dose contribution (around 40%) comes from radon (²²²Rn) and its decay products in residential and work premises. In terms of its origin, this radiation is natural, but the increased concentrations to which people are subjected indoors are caused by civilisation. Surveys carried out in around 47 000 residential buildings in Switzerland up until the year 2003 resulted in a weighted arithmetical mean of 75 Bq/m³. Working on the assumptions that a person spends 7000 hours at home every year and 2000 hours at his or her place of work and that the dose factors are $2.44 \cdot 10^{-6}$ and $3.17 \cdot 10^{-6}$ mSv per Bq/m³ per hour for these two places respectively ¹⁶⁾, then the resulting mean radon dose for the Swiss population is 1.8 mSv/a. For about 1–2% of the population the dose stands at over 10 mSv/a and for 0.2% of it at over 25 mSv/a. According to conservative estimates, radon is likely to be responsible for 5–10% of Switzerland's lung-cancer deaths [Chapter 2].

Naturally occurring radionuclides also make their way into the body in food and lead to mean annual doses of around 0.35 mSv, with ⁴⁰K accounting for about 0.2 mSv. The rest comes from the nuclides of the natural decay series of uranium and thorium as well as from the cosmogenic radionuclides, tritium, ¹⁴C, ⁷Be, etc. [Section 5.1].

Naturally occurring radionuclides in the soil also contribute to the external radiation dose. Their actual contribution depends very much on the local radionuclide content of the soil and people's living habits. The natural terrestrial radiation dose outdoors in populated regions of Switzerland lies in

¹²⁾ See: [section 3.4];
for cosmic radiation, see also the 1999 annual report
[section 10.3]:

http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_d.pdf

¹³⁾ For dose measurements, see: [sections 3.1, 3.2 and 3.4]

¹⁴⁾ For measurements in the vicinities of the nuclear facilities,
see: [section 8.3]

¹⁵⁾ For aerial radiometry, see: [section 3.3]

¹⁶⁾ Cf. 1993 Annual Report, page B.2.3

the range of 0.35 to approximately 0.8 mSv/a. Added to this is the contribution from cosmic radiation, which increases with altitude above sea-level. Examples are: Locarno = 0.35, Zurich = 0.4 and St. Moritz = 0.75 mSv/a. Inside dwellings, the dose is roughly 10% higher than outdoors. The total annual dose from natural sources is around 3 mSv. [Section 3.4].

3.2. Doses due to artificial radioactivity

The contribution to the **external radiation dose** comes mainly from medical applications and exposure to radiation at the place of work in nuclear power stations, industries, trades and crafts, public services, research and medicine and also from so-called "minor sources". This latter category includes consumer and utilitarian goods that contain minute amounts of radioactivity. It is not possible to give more than an approximate indication of the contribution that artificial radionuclides in the soil make to the external dose. Working on the basis of conservative assumptions, a person spending the whole time outdoors receives between 0.01 and 0.5 mSv/a. This large scatter band is a consequence of the regional differences in the ^{137}Cs deposits following the Chernobyl reactor accident. The Swiss nuclear power stations, the PSI and CERN do not make any significant contribution.

The **internal radiation doses** come mainly from artificial radionuclides (principally from ^{137}Cs and ^{90}Sr) in food. Whole-body measurements made on school classes showed doses of incorporated ^{137}Cs of less than 1 microsievert per annum.

For the majority of people living in Switzerland, the annual radiation dose caused by **artificial radioactivity** (but excluding medicine and minor sources) lies within the range of 0.01 to 0.05 mSv; in individual cases, it is up to 0.1 mSv p.a.

Information about the effects of the **Chernobyl accident** is published at:

<http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/chno2003.pdf>

Table 1

Natural radiation sources (mSv/a)

Source	Mean	Value range
Terrestrial radionuclides	0.45 ¹⁷⁾	0.15 – 1.0
Cosmic radiation	0.35	0.3 - 0.6
Radionuclides in the human body	0.35 ¹⁸⁾	0.2 – 0.5
Radon in the home	1.8	0.3 – > 20 ¹⁹⁾
Total	3	1 - > 20

Table 2

Artificial radiation sources (mSv/a)

Source		Mean	Value range
Medicine	X-ray diagnosis ²⁰⁾	1	0 – 30
	Nuclear medicine ²¹⁾	0.04	0 – 80
"Minor sources"	Radioactive substances in utilitarian objects and consumer goods ²²⁾	0.1	0 - ?
Artificial radioactivity spread over vast areas	Chernobyl	0.01	Up to 0.5
	Nuclear-weapons fallout	< 0.01	
	^{85}Kr from reprocessing	0.02	
Radioactive ambient concentrations	Industrial operations and nuclear installations	≈ 0	Up to 0.006
Exposure to radiation at the workplace	65 907 individuals exposed to radiation on account of their occupation ²³⁾	0.07	< 20 98. % < 1

¹⁷⁾ Including 0.35 mSv p.a. due to cosmic radiation at an altitude of 300 m. A single flight between Switzerland and North America results in an additional 0.04 mSv; on average, airline crews and frequent fliers are subject to approximately 3 mSv/a. on top of this; cf. 1999 Annual Report [section 10.3]: http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_d.pdf

¹⁸⁾ Including the following in mSv/a: ^{40}K = 200; ^{87}Rb = 6; ^3H , ^7Be , ^{14}C and ^{22}Na together approx. 13; U, Th and Ra = 40; ^{210}Pb + ^{210}Bi + ^{210}Po = 90

¹⁹⁾ In excess of 10 mSv/a for 1 to 2 % of the population and in excess of 25 mSv/a for 0.2% of the population.

²⁰⁾ IRA/FOPH survey 1996-99; cf. 1999 Annual Report [section 10.1]:

http://www.bag.admin.ch/strahlen/actualite/pdf/env1999_d.pdf 1989/90 survey by J. Roth, cantonal hospital, Basel-Stadt

²²⁾ Examples include clocks/watches with tritium fluorescent digits, natural radionuclides in tiles, thorium in fluorescent tights or dental ceramics, ionising smoke detectors, ^{210}Po in cigarette smoke, etc.

²³⁾ In nuclear power stations, medicine, research, industry and public services. Source: FOPH Dosimetry Report for 2003. See also:

<http://www.bag.admin.ch/strahlen/ionisant/dosimetrie/pdf/2003-df.pdf>

Table 3
Selected examples (mSv/a)

^{137}Cs in milk	1 l/day with 10 Bq/l (= TV)	0.05
^{137}Cs in wild fungi	200 g/week with 600 Bq/kg (=TV)	0.09
^{226}Ra in mineral water	1 l/day with 1 Bq/l (= LV)	0.08
^{14}C in vegetables	200 g vegetables per day from the neighbourhood of the hazardous-waste incineration plant in Basel ²⁴⁾	0.002
^3H in rainwater used as drinking water	2.2 l/day from the neighbourhood of a tritium-processing plant (1000 Bq/l)	0.01
^{137}Cs in the soil in Ticino	Work during a whole year in a field with the maximum caesium burden in Ticino	0.1
Direct radiation (vicinity of a nuclear power station)	1 hour/day at the perimeter fence of a nuclear power station	0.1

(LV = Limit value; TV = Tolerance value, as laid down in "FIV", the Swiss Federal Ordinance on Food Contents and Contaminants)

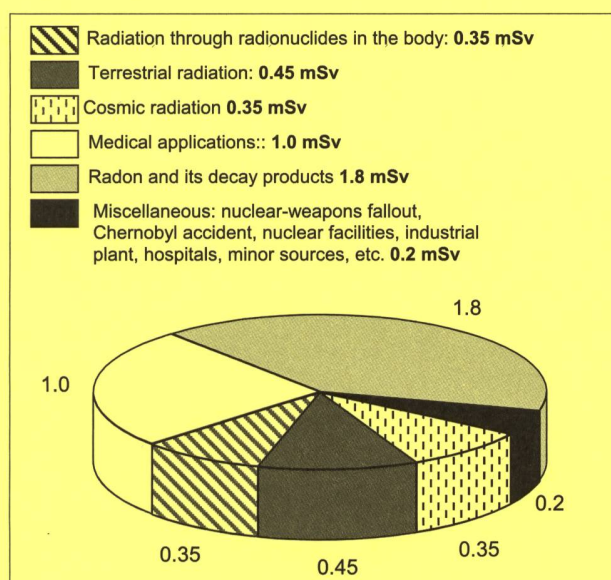


Figure 2
Mean radiation exposure of the Swiss population in mSv/a (Total: 4 mSv/a)

Prefixes and their meaning

fBq	femto	10^{-15}	kBq	kilo	10^3
pBq	pico	10^{-12}	MBq	Mega	10^6
nBq	nano	10^{-9}	GBq	Giga	10^9
μBq	micro	10^{-6}	TBq	Tera	10^{12}
mBq	milli	10^{-3}	PBq	Peta	10^{15}

4. Definitions, units and regulations

Radioactivity is a property of instable atomic nuclei to change (undergoing radioactive decay) without external influences, and, in the process, to emit a characteristic (ionising) radiation in the form of alpha or beta particles as well as gamma quanta. Natural radioactive substances have always been present in the environment; artificial ones are released in nuclear-weapons explosions, but may also originate from nuclear power stations or factories or hospitals that process radionuclides.

The unit used for indicating the **radioactivity** of a substance is the Becquerel (Bq). One Becquerel corresponds to a single radioactive decay per second. The various prefixes that are used and their meanings are indicated in the table above. In the past, a unit called the "Curie" (Ci) used to be used; $1 \text{ nCi} = 37 \text{ Bq}$ and $1 \text{ Bq} = 27 \text{ pCi}$.

In order to be able to assess the population's **radiation risk**, the **effective dose (E)** is determined in millisieverts (mSv) or microsieverts (μSv). This takes into consideration the fact that the various organs of the human body have different radiation sensitivities and that the various types of radiation have different biological effects. Determination of the effective dose starts with the radiation energy absorbed in the individual organs (*energy dose*). This is then weighted with a factor which considers the ionising density of the radiation (*radiation weighting factors, w_R*). In order to arrive at the effective dose, the individual doses of all irradiated organs are added together and weighted in accordance with their radiation sensitivity (*tissue weighting factors, w_T*). This provides us with a theoretical whole-body dose, which causes the same radiation risk as the individual organ doses. Each of the intermediate steps (energy dose, D, equivalent dose, H), as well as the weighting factors used, are explained on page C-1.

The Swiss **Federal Radiological Protection Ordinance** ("*StrSV*", *Strahlenschutzverordnung*), states that the doses for the population resulting from radioactivity caused by civilisation and radiation in the environment should not exceed 1 mSv per annum - a figure which does not include radon and medical applications. For people exposed to radiation as a result of their occupation, it lays down a maximum figure of 20 mSv per annum. It also establishes limit values for ambient concentrations in the atmosphere and water in places accessible to the public. If such limits are used to the full in terms of a continuous load in drinking water and the air breathed, they result in an additional approximately 0.2 mSv per annum each. For direct radiation, a limit of 5 mSv per annum applies to ambient doses in places accessible to the public, and 1 mSv per annum applies in the home, at the place of work and in other buildings where people congregate. Tolerance and limit values for radionuclides in food are published in the Swiss Ordinance on Food Contents and Contaminants ("*FIV*", *Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe*). What is of relevance from the radiological-protection point of view is the limit value, whereas the tolerance value represents a purely qualitative criterion and does not, of itself, represent a health risk. Radioactive substances may only be released into the environment in a controlled manner, and the licensing authority lays down discharge limits. For the nuclear power stations, for instance, these are chosen in such a way that no person in the immediate vicinity can be subject to an additional dose in excess of 0.2 mSv per annum (source-related dose as laid down in Article 7 of the Ordinance). For radon gas, the maximum value applicable to residential accommodation and other buildings in which people congregate is 1000 Bq/m^3 . If these maxima are exceeded, then remedial work must be performed on the buildings concerned. For new or converted buildings, the guideline value of 400 Bq/m^3 should not be exceeded.

²⁴⁾ Regional hazardous-waste incineration plant Basel-Stadt