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: Externe Strahlung

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: 14.12.2025

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

3. Externe Strahlung

3.1. Mesures in situ et exposition externe

S. Estier, A. Gurtner
Section de surveillance de la radioactivité, SUER, Office fédéral de la santé publique
Ch. du Musée 3, 1700 FRIBOURG

M. Schibli
Division principale de la sécurité des installations nucléaires, DSN, 5232 VILLIGEN-HSK

F. Byrde
Laboratoire AC, 3700 SPIEZ

T. Buchillier
Institut de Radiophysique Appliquée, Grand-Pré 1, 1007 LAUSANNE

3.1.1 Introduction

Le suivi permanent de l'exposition ambiante repose en Suisse sur les réseaux NADAM (échelle nationale) et MADUK (voisinage des installations nucléaires). L'objectif de ces réseaux en alerte 24h sur 24 est de signaler des augmentations anormales de l'exposition ambiante. Ces mesures comme celles des dosimètres à thermoluminescence recensent l'exposition ambiante globale sans permettre d'en distinguer les composantes individuelles. La spectrométrie gamma directe (in situ) est par contre une méthode appropriée à l'estimation rapide de la contribution individuelle des radionucléides gamma d'origine naturelle et artificielle à l'exposition du public. Les mesures de spectrométrie gamma effectuées en laboratoire sur des échantillons s'orientent avant tout sur la mise en évidence de traces de radionucléides. Les résultats ont un caractère très ponctuel et ne renseignent pas sur l'exposition ambiante. Pour combler cette lacune, les laboratoires mobiles de l'OFSP (SUeR-Fribourg), de la DSN (Villigen), du Laboratoire de Spiez et de l'IRA (Lausanne) misent sur la spectrométrie gamma in situ. Son exploitation informe de manière sensible et réaliste sur les concentrations moyennes des radionucléides gamma ainsi que sur l'exposition ambiante qui en résulte. Les examens in situ portent en priorité sur le voisinage des installations nucléaires (KKB, KKG, KKL, KKM, PSI, CERN) et sur le suivi de la contamination rémanente en ^{137}Cs issu des essais nucléaires et de Tchernobyl. Même si cette contamination reste plus importante au Tessin et localement dans le massif alpin par rapport au Plateau Suisse, les résultats in situ 2003 n'ont signalé aucune valeur susceptible de représenter un risque pour la santé du public.

3.1.2 Méthodologie in situ

L'exploitation de la spectrométrie gamma in situ en Suisse se base sur les recommandations ICRU [1]. Lors d'une mesure sur le terrain, un spectre gamma est enregistré et l'exposition ambiante globale est mesurée simultanément sur le site à l'aide d'une chambre à ionisation. L'exposition ambiante naturelle s'obtient par sommation de la part ionisante cosmique calculée à l'altitude du site [2] et des composantes locales du rayonnement terrestre (^{40}K, séries ^{238}U et ^{232}Th), calculées à partir des spectres gamma pour une distribution homogène de ces radionucléides primordiaux dans le sol. En soustrayant l'exposition ambiante d'origine naturelle ainsi calculée de l'exposition ambiante globale mesurée par chambre d'ionisation, il est possible d'évaluer la contribution des radionucléides artificiels au débit d'exposition ambiante. L'atout de cette démarche est de permettre d'estimer d'éventuelles contributions artificielles hors du domaine d'énergie de la mesure gamma (par exemple rayonnement direct) et de ne nécessiter ni échantillonnage, ni hypothèse sur la distribution des radionucléides artificiels dans le sol.

3.1.3 Résultats in situ 2003

Les contributions individuelles au débit d'exposition ambiante, reconstituées par spectrométrie gamma in situ, sont représentées sur la figure 1 pour les sites suisses examinés par l'OFSP en 2003. Cette reconstitution se base sur les hypothèses suivantes : distribution homogène de tous les radionucléides (y compris le ^{137}Cs artificiel) dans le sol et 1nGy/h = 1 nSv/h. La valeur de la mesure globale avec chambre d'ionisation est indiquée avec son incertitude et permet d'apprécier la fiabilité de la reconstitution.

[1] *ICRU-Report 53 "Gamma-Ray Spectrometry in the Environment" 1994, ISBN 0-913394-52-1.*
[2] *Radioprotection, vol. 22 n° 3, pages 231-239, 1987*

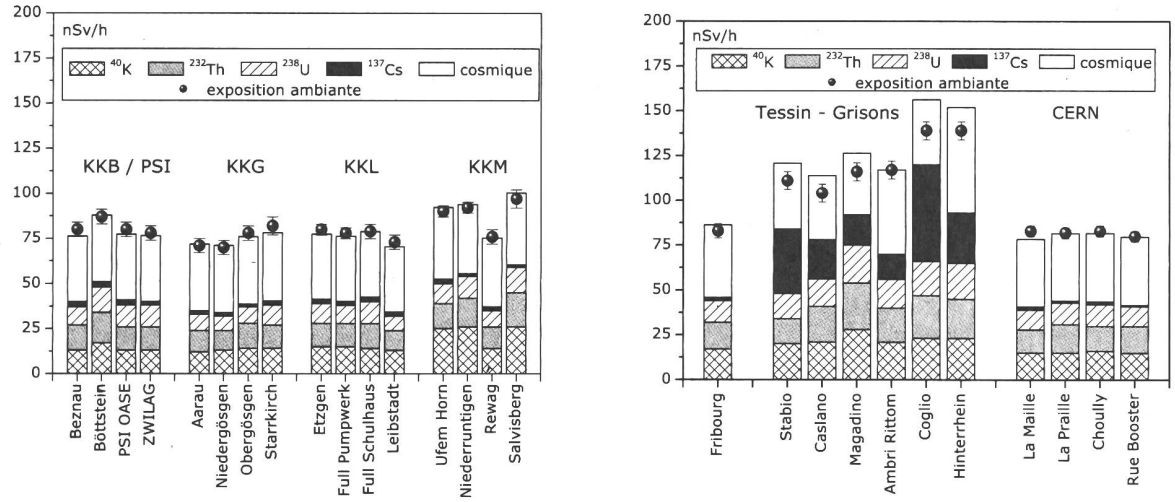


Figure 1
Contributions individuelles au débit d'exposition ambiante, pour une distribution homogène, dans les sites examinés par spectrométrie gamma in situ en 2003.

Pour tous les sites, à l'exception de ceux du Tessin (Stabio, Caslano, Magadino et Coglio) et des Grisons (Hinterrhein) la différence entre reconstruction et mesure est inférieure à l'incertitude expérimentale. En revanche, pour ces 5 sites, et en particulier à Coglio, on constate une surestimation de la reconstitution, calculée sur la base des spectres gamma, par rapport à la valeur mesurée à l'aide de la chambre à ionisation. Comme nous le verrons de manière détaillée dans le paragraphe 3.1.4, cette différence est due à la distribution homogène admise pour le ^{137}Cs, résultant des retombées de Tchernobyl.

3.1.4 Campagne d'intercomparaison au Tessin

L'OFSP a pris l'initiative d'organiser cette année une intercomparaison de spectrométrie gamma in situ au niveau suisse. L'objectif était de confronter les résultats des équipes mobiles de l'IRA Lausanne, du laboratoire de Spiez et de Fribourg sur le site de Coglio, Valle Maggia (TI), où une anomalie avait été constatée pour les concentrations de ^{137}Cs lors d'un contrôle effectué par le laboratoire de Fribourg (cf Fig.1). C'était aussi l'occasion de tester le bon fonctionnement de nouveaux équipements acquis par les différentes équipes d'intervention, qui n'avaient pas pu prendre part à une intercomparaison internationale en 2003. Les mesures ont été effectuées sur cinq sites différents : les 4 premières à Coglio et la 5eme à Gordola.

Chaque participant a suivi la procédure ICRU 53 pour le calcul des contributions au débit de dose des radionucléides identifiés dans le spectre in situ en admettant une distribution homogène de ces radionucléides dans le sol. La somme de ces contributions et de celle du débit de dose dû au rayonnement cosmique calculé à partir de l'altitude du site a ensuite été comparée à la valeur globale du débit de dose mesurée simultanément à l'aide d'une chambre d'ionisation. Les résultats des mesures des 3 laboratoires sont représentés sur la figure 2.

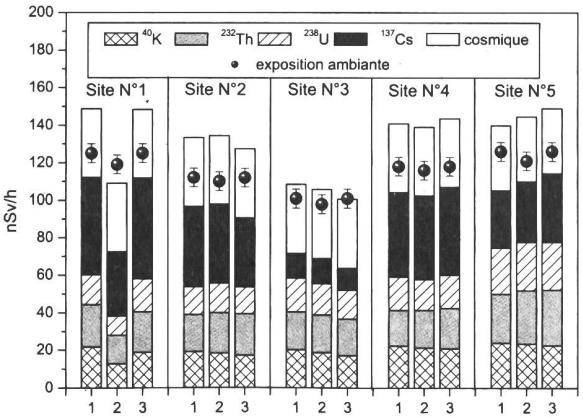


Figure 2
Résultats obtenus par les 3 laboratoires (nommés 1, 2, 3) lors de l'intercomparaison in situ 2003 organisée au Tessin.

Globalement, les résultats délivrés par les 3 laboratoires sont cohérents. Toutefois, les valeurs mesurées sur le site N°1 par un des laboratoires diffèrent de manière significative de celles obtenues par les deux autres. Cet écart n'a pu être expliqué, mais la différence n'étant pas systématique, un problème d'étalonnage des instruments est exclu.

En observant ces résultats, il apparaît que, pour tous les sites de mesure, à l'exception du site 3, les reconstructions, calculées à partir du spectre gamma in situ, conduisent à des valeurs de débit de dose supérieures à celles mesurées à l'aide de la chambre à ionisation. Cette différence est due à la distribution homogène admise pour le ^{137}Cs. En effet, les mesures de profils de sol, effectuées en laboratoire ont montré que l'essentiel du ^{137}Cs était contenu dans les 10 premiers centimètres de profondeur (cf figure 3). En tenant compte de la distribution réelle de cet isotope dans le sol, il apparaît alors que la reconstruction est en parfait accord avec la valeur du débit de dose mesurée (voir figure 4).

Notons qu'à la différence des sites 1, 2, 4 et 5 où le ^{137}Cs était principalement situé en surface, la distribution du ^{137}Cs dans le sol du site n°3 était effectivement homogène (sol cultivé). Ceci explique la bonne adéquation entre la reconstruction et la valeur mesurée du débit de dose obtenue initialement pour ce site (cf Fig.2).

En conclusion, cet exercice a montré la capacité des laboratoires participants à identifier rapidement (24h) les différentes contributions à l'exposition externe dans les 5 emplacements examinés. Il a également permis de constater que, dans cette région, plus fortement touchée par les retombées de l'accident de Tchernobyl, et même après 17 ans, le ^{137}Cs est encore largement situé en surface (pour les sols non-retournés). Il ressort finalement que la principale source d'incertitude pour ce type de mesure provient du choix de l'hypothèse pour la distribution des radionucléides artificiels dans le sol. L'approche par soustraction des composantes naturelles à la mesure globale du débit de dose, décrite au paragraphe 3.1.2, permettrait donc une estimation plus réaliste de la contribution due au césium lorsque la distribution de cet isotope n'est pas connue.

3.1.5 Conclusions

Les mesures de spectrométrie gamma in situ réalisées par l'OFSP en 2003 ont permis de caractériser les sites d'examen du point de vue de leur composition en radionucléides gamma et des contributions individuelles au débit d'exposition qui en résultent pour le public. Le champ d'application de ces mesures a visé à répondre à des objectifs d'ordre réglementaire (voisinage des installations nucléaires suisses) et d'ordre radioécologique (suivi des contaminations ^{137}Cs des retombées et de Tchernobyl). Les résultats ont permis de distinguer les composantes naturelles et artificielles de la radioactivité gamma et de s'assurer de la pertinence de l'information acquise par confrontation du débit d'exposition calculé à partir de l'analyse spectrométrique à celui mesuré avec une chambre d'ionisation. L'exercice d'intercomparaison in situ organisé au Tessin a montré que les hypothèses sur la distribution des radionucléides artificiels dans le sol constituaient la principale source d'incertitude pour ce type de mesure.

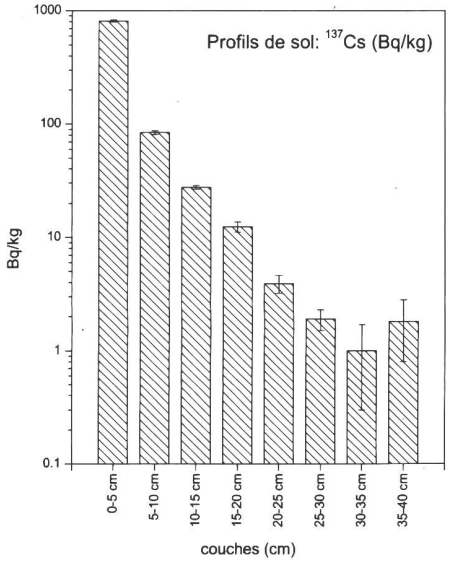


Figure 3
Concentration du ^{137}Cs en fonction de la profondeur, mesurée en laboratoire dans un échantillon de sol prélevé sur le site de mesure N°1 (Coglio).

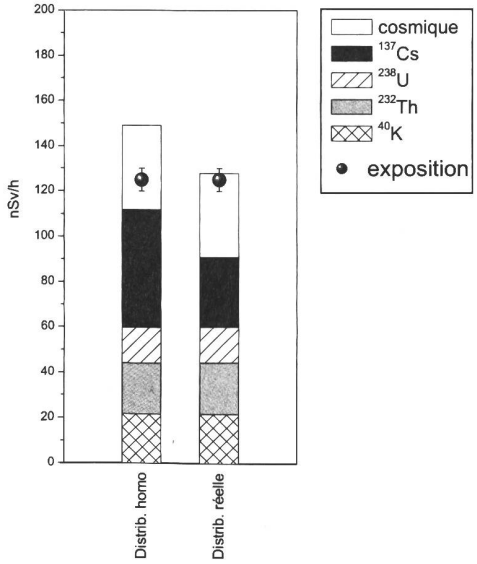


Figure 4
Contributions individuelles au débit d'exposition ambiante au point de mesure N°1, calculée sous l'hypothèse d'une distribution homogène du ^{137}Cs (gauche) dans le sol et en tenant compte de sa distribution réelle (droite).

3.2. Die automatische Überwachung der Ortsdosen mit NADAM

Y. Loertscher

Nationale Alarmzentrale (NAZ, Bundesamt für Bevölkerungsschutz, Postfach, 8044 Zürich

3.2.1 Übersicht

Das Netz für die automatische Dosisleistungsmessung und -alarmierung (NADAM) dient der grossräumigen und permanenten Überwachung der externen Strahlung. Wie für die vorherigen Jahre konnte im 2003 eine nahezu lückenlose Überwachung gewährleistet werden. In der Berichtsperiode wurden bis auf einzelne technische Störungen bei der Messung oder der Datenübertragung keine besonderen Vorfälle registriert. Insbesondere wurden keine Werte gemessen, die auf eine erhöhte Strahlenbelastung der Bevölkerung schliessen liessen.

3.2.2 Erfahrungs- und Mittelwerte

Die Erfahrungswerte wurden anhand der Messwerte 2003 überprüft. Eine Darstellung der Jahresmittelwerte sowie der extremen Wochenwerte für die einzelnen Stationen ist in den Fig. 2 und 3 abgebildet. Auch dieses Jahr ergeben sich für einige Stationen leichte Änderungen. Für die Sonden, derer Messwert 2003 eine leichte Abweichung vom bisherigen Erfahrungsbereich aufweist, wurde wie üblich eine entsprechende Anpassung vorgenommen.

Tabelle 1
Erfahrungswerte der Ortsdosisleistung für einige NADAM-Stationen

Station	Erfahrungswerte*) 2002 [nSv/h]	Erfahrungswerte *) 2003 [nSv/h]	Neue Erfahrungsbereiche*) [nSv/h]	Ursache der Änderung des Erfahrungswerts
Buchs-Suhr	98	91	70-110	Alterung der Sonde
Luzern	112	102	80-120	Alterung der Sonde
Neuchâtel	92	86	70-110	Sondenwechseln im Januar 03
Stabio	159	144	120-180	Veralterung der Sonde
St.-Gallen	114	101	80-120	Sondenwechseln im Februar 03

*) nach Subtraktion des Eigennulleffekts

3.2.3 Qualitätssicherung

Im Jahre 1995 wurde das Qualitätssicherungsprogramm für die NADAM-Sonden gestartet. In einer ersten Phase wurden die wesentlichen physikalischen Eigenschaften der NADAM-Sonden (Apparativer Nulleffekt, Kalibrierung, Linearität, Richtungs-, Energie- und Temperaturabhängigkeit) im Sinne einer Typenprüfung untersucht. Ein Teil dieser Messungen war bereits bei der Installation des Netzes durch die SUeR durchgeführt worden.

Das Programm wird nun durch eine jährliche Kontrolle ausgewählter Sonden im Sinne einer Qualitätsprüfung weitergeführt. Dabei werden jährlich an ca. 10 Sonden Eigennulleffekt, Kalibrierung und Linearität überprüft.

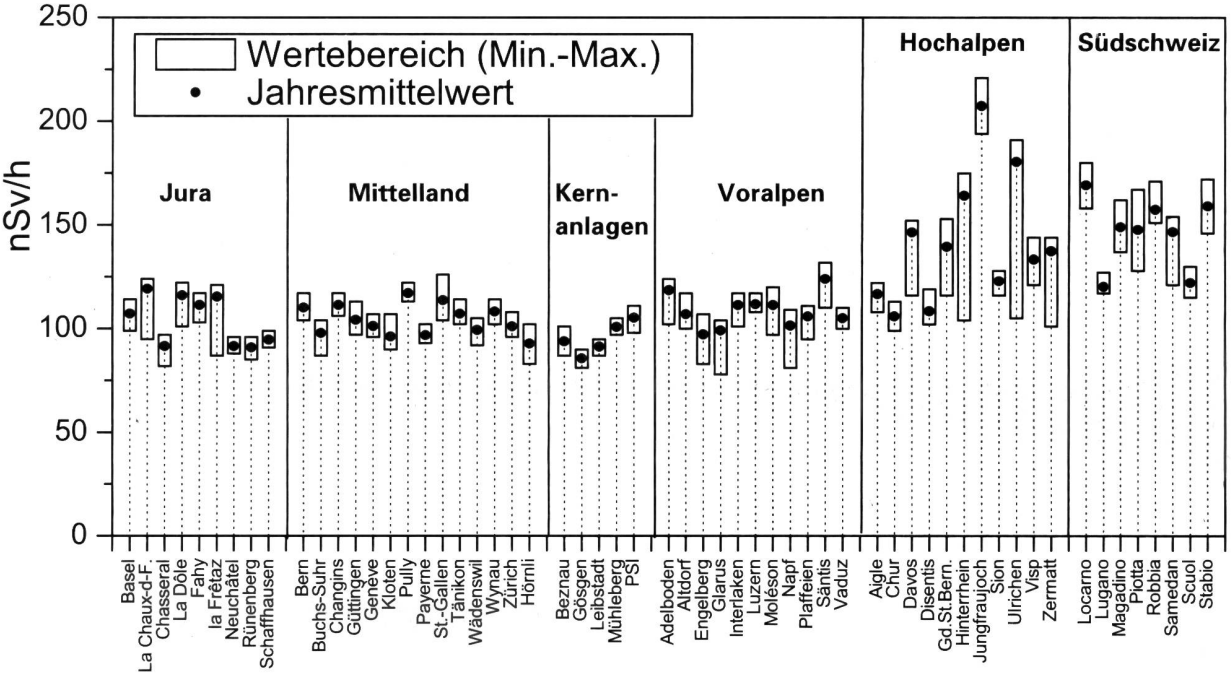
Die Typenprüfung hat das aus früheren Messungen bekannte Verhalten in den meisten Punkten bestätigt und lässt somit den Schluss zu, dass die NADAM-Sonden ihre Aufgaben im Rahmen der Überwachung zufriedenstellend erfüllen.

In 2003 wurden die durchgeführte Alarmüberprüfung jeder Sonde bei der Routine-Kontrolle weitergeführt. Alle funktionieren einwandfrei.

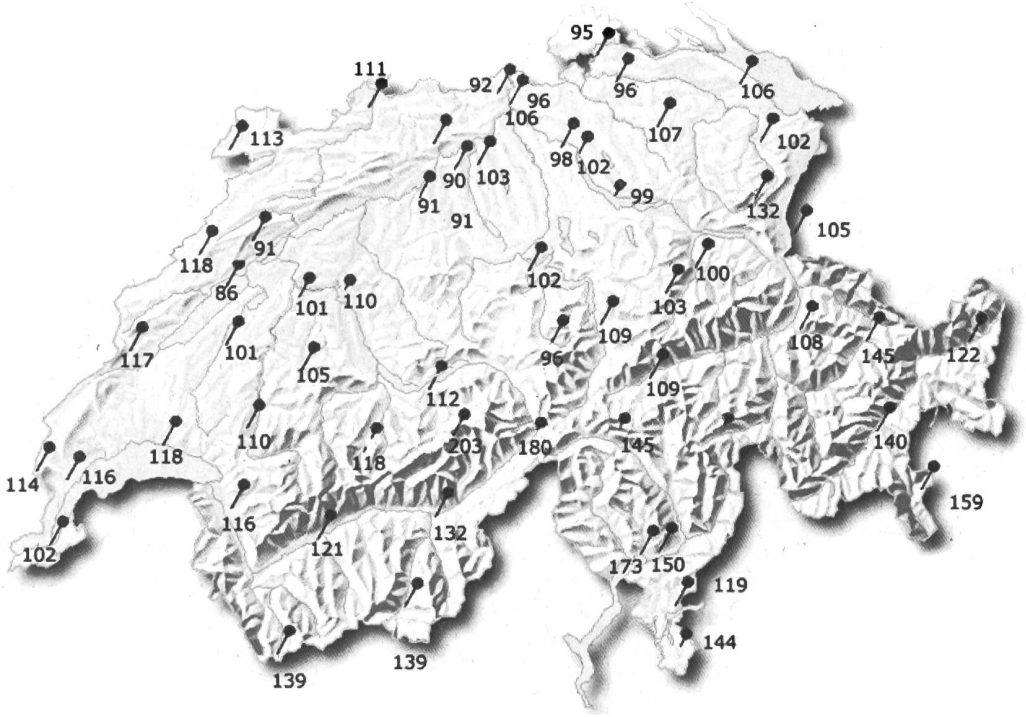
3.2.4 Erneuerung der NADAM-Sonden

Die Feldtests mit den zwei neuen NADAM-Sonden wurden in 2003 weitergeführt. Dabei konnte eine Fehlkonstruktion bei der Anode des Detektors entdeckt werden die zu einer künstlichen Erhöhung der Ortsdosisleistung bei Windsgeschwindigkeit über 13 m/s geführt hat. Dieser Fehler wurde vom Sondenproduzent vor der Lieferung der ersten 30 Sonden korrigiert.

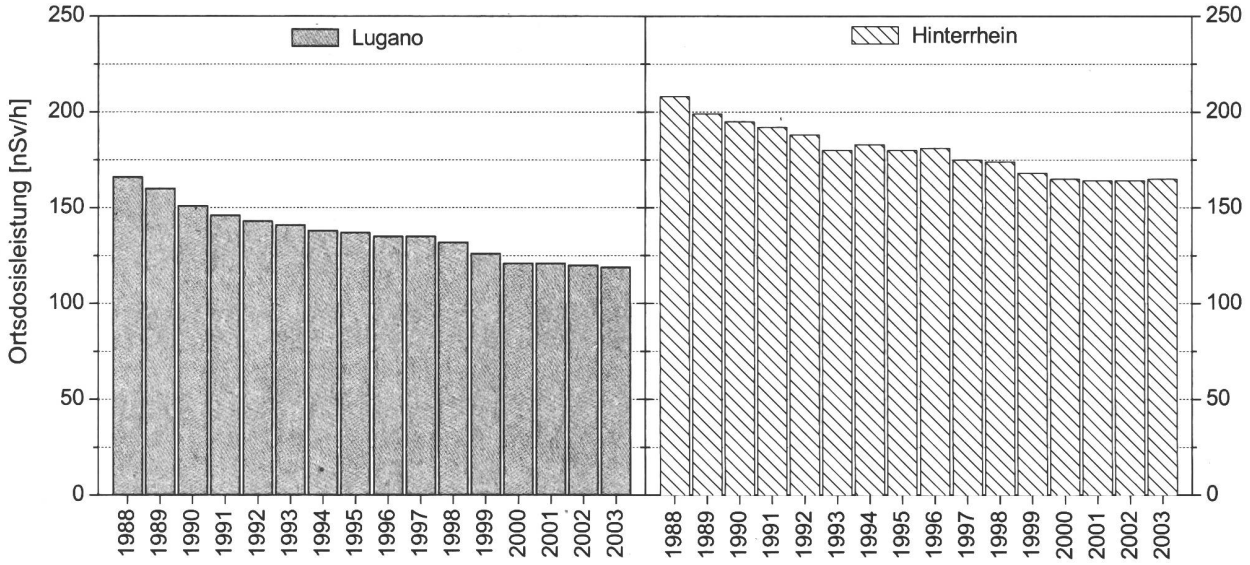
Der Austausch der NADAM-Sonden kann somit also gleichzeitig mit der Erneuerung der Meteo-Schweiz-Stationen, erfolgen.



Figur 1
Jahresmittelwerte 2003 der NADAM-Sonden, aufgeteilt nach Regionen (nach Subtraktion des Eigennulleffekts).



Figur 2
Karte der Jahresmittelwerte 2003 der NADAM-Sonden (unter Berücksichtigung des Eigennulleffekts). Die Ortsdosisleistung variiert je nach Standort zwischen 90 und 210 nSv/h. Dies ist vor allem durch Unterschiede in der natürlichen Strahlung bedingt. Einerseits hängt sie von Art und Zusammensetzung des Bodens ab, andererseits nimmt die Intensität der kosmischen Strahlung mit der Höhe zu.



Figur 3
Verlauf der Erfahrungswerte der Stationen Lugano und Hinterrhein für die Periode 1988 - 2003 (unter Berücksichtigung des Eigennulleffekts). Stationen in Gebieten, die von radioaktiven Niederschlägen nach dem Unfall in Tschernobyl stark betroffen waren, zeigen eine kontinuierliche Abnahme der Ortsdosisleistung. Diese Abnahme entspricht der Reduktion des künstlichen Anteils der Strahlung (bedingt durch den radioaktiven Zerfall und das Eindringen der langlebigen Radionuklide in tiefere Bodenschichten). Der künstliche Beitrag durch den Tschernobylausfall mit den NADAM-Sonden praktisch nicht mehr nachweisbar.

3.3. Aeroradiometrische Messungen

B. Bucher [1], G. Schwarz [2], L. Rybach [3], Chr. Bärlocher [3]

[1] Paul Scherrer Institut (PSI), 5232 Villigen-PSI
[2] Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), 5232 VILLIGEN-HSK
[3] Institut für Geophysik, ETH Hönggerberg, 8093 Zürich

3.3.1 Zusammenfassung

Bei den aeroradiometrischen Messflügen vom 23. - 26. Juni 2003 lag der Schwerpunkt bei einer gemeinsamen Messübung mit der österreichischen Partnerorganisation der Nationalen Alarmzentrale (NAZ). Dabei wurde in zwei Messgebieten in der Nähe von Klagenfurt/A die Suche nach ausgelegten radioaktiven Quellen verschiedenster Aktivitäten geübt. Bis auf die schwächste Quelle (120 MBq ^{60}Co) konnten alle während des Fluges lokalisiert und identifiziert werden. In der Schweiz wurden die turnusgemässen Messungen im Auftrag der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) in der Umgebung der Kernkraftwerke Gösgen und Mühleberg durchgeführt. Die Resultate im Gebiet der Kernanlagen zeigten keine erhöhte Radioaktivität im Vergleich zu früheren Jahren.

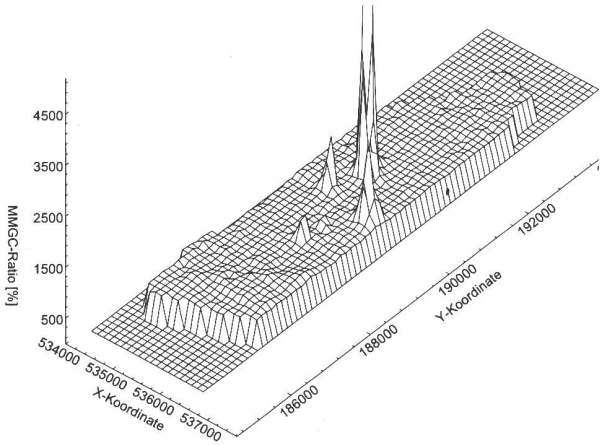
3.3.2 Einleitung

Aeroradiometrische Messungen in der Schweiz begannen 1986. Methodik und Software für Kalibrierung, Datenerfassung, Datenverarbeitung und Kartendarstellung wurden am Institut für Geophysik der ETH Zürich entwickelt (Schwarz 1991). In der Zeit von 1989 bis 1993 wurde die Umgebung (jeweils rund 50 km^2) der schweizerischen Kernanlagen jährlich aeroradiometrisch vermessen. Im Jahre 1994 ging man zu einem Zweijahresrhythmus über, wobei abwechslungsweise zwei bzw. drei Gebiete mit Kernanlagen vermessen werden. 1992 und 1995 wurden ebenfalls am Institut für Geophysik der ETH Zürich zwei neue Messgeräte gebaut (16.8 und 4.0 l Detektoren). Seit den Messflügen 2001 kommt eine neu entwickelte online Datenauswertungs- und Kartierungssoftware zum Einsatz (Bucher 2001).

Im Jahre 1994 wurde die Aeroradiometrie in die Einsatzorganisation Radioaktivität des Bundes integriert. Als mögliche Einsatzfälle stehen Transport- und Industrieunfälle mit radioaktivem Material, KKW-Störfälle und Abstürze von Satelliten mit Nuklearreaktoren im Vordergrund. Der Einsatz erfolgt unter der Regie der Nationalen Alarmzentrale (NAZ). Unterhalt und Bereitstellung des Messsystems erfolgen seit Mai 2001 gemeinsam durch das Paul Scherrer Institut (PSI) und das Institut für Geophysik der ETHZ und werden im Jahre 2004 komplett vom PSI übernommen.

3.3.3 Flugaufnahmen 2003

Der Schwerpunkt der aeroradiometrischen Messflüge vom 23. - 26. Juni 2003 lag bei einer gemeinsamen Messübung mit den Strahlenspürern des österreichischen Bundesinnenministeriums. Diese Stelle ist die österreichische Partnerorganisation der NAZ. Während der Übung wurden in zwei Messgebieten in der Nähe von Klagenfurt/A jeweils vier ^{60}Co und zwei ^{137}Cs Quellen mit Aktivitäten zwischen 120 MBq und 50 GBq ausgelegt. Bis auf die schwächste konnten alle Quellen während des Fluges mit Hilfe des nach Schwarz et al. (1991) modifizierten MMGC [1]-Ratio lokalisiert (siehe



Figur 1:
Dreidimensionale Darstellung des MMGC-Ratio im Messgebiet Altenhofen in Österreich.

Figur 1) und anhand der Spektren identifiziert werden. Der MMGC-Ratio entspricht dem Verhältnis der Zählrate im tiefenergetischen Bereich des Spektrums (400-1'400 keV) zur Zählrate im hochenergetischen Bereich des Spektrums (1'400-3'000 keV). Da Spaltprodukte im Gegensatz zu natürlichen Radionukliden hauptsächlich im tiefenergetischen Bereich Gammastrahlung aussenden, weisen hohe Werte auf

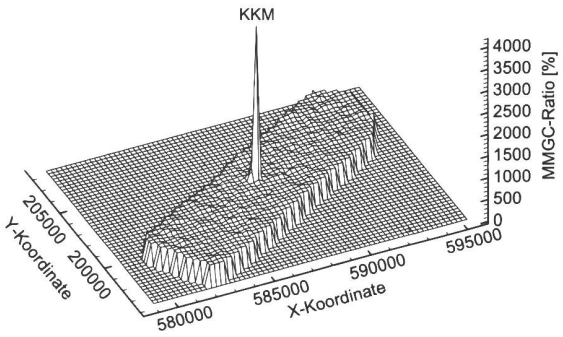
.....

[1] Man Made Gross Count-Ratio

durch Menschen verursachte Strahlung hin. Neben der eigentlichen Messübung konnten auch Erfahrungen mit dem österreichischen Messteam ausgetauscht werden, welches im Gegensatz zu unserem Spektrometer einen grossvolumigen Geiger-Müller-Zähler einsetzt. Dabei zeigte sich deutlich der Vorteil des Spektrometers, da dieser mit dem Spektrum viel mehr Informationen liefert als der Geiger-Müller-Zähler. Dieser Vorteil kommt vor allem bei schwachen Quellen oder Schwankungen im natürlichen Untergrund zum Tragen, da mit der Spektrumsinformation zwischen natürlicher und durch den Menschen verursachter Radioaktivität unterschieden werden kann.

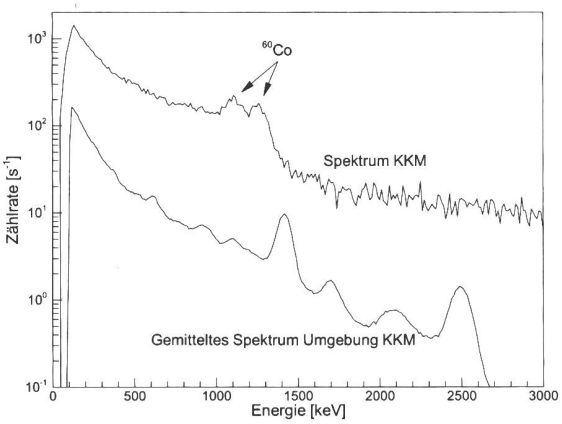
In der Schweiz wurden am Montag 23. Juni und am Donnerstag 26. Juni die Umgebung der Kernkraftwerke Gösgen und Mühleberg vermessen. Die Messflüge standen unter der Leitung von Y. Lörtscher (NAZ).

Im Auftrag der HSK wurden die Messgebiete um die Kernkraftwerke Gösgen (KKG) und Mühleberg (KKM) bereits mehrmals vermessen. Das KKM, das während der aeroradiometrischen Messungen im Betrieb war, konnte anhand der ^{16}N-Strahlung (Halbwertszeit $t_{1/2}$=7.3 s) sehr gut detektiert werden. Diese Strahlung wird bei Siedewasserreaktoren durch das Aktivierungsprodukt ^{16}N erzeugt, welches im Betrieb durch die Frischdampfleitung ins Maschinenhaus gelangt. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise wenig abgeschirmt ist, kann die hochenergetische Gammastrahlung des ^{16}N in der Flughöhe gut detektiert werden. In Fig. 2 ist die nach Schwarz et al. (1991) modifizierte MMGC-Ratio im Gebiet des Kernkraftwerkes Mühleberg dargestellt. Deutlich ist das Kernkraftwerk Mühleberg zu erkennen.



Figur 2
Dreidimensionale Darstellung des MMGC-Ratio im Messgebiet KKM.

Beim näheren Betrachten der Spektren in der unmittelbaren Umgebung des Reaktorgebäudes bzw. des Maschinenhauses konnten auch deutlich die Gammalinien von ^{60}Co erkannt werden (siehe Figur 3). Das entsprechende Spektrum enthält zudem so viel gestreute Strahlung der hochenergetischen Gammalinien von ^{16}N, dass keine anderen Peaks von natürlichen Radionukliden in dem Spektrum zu erkennen sind, wie dies üblicherweise der Fall ist (siehe gemitteltes Spektrum in der Umgebung des KKM in Figur 3).



Figur 3
Gemittelte Spektren aus der unmittelbaren Umgebung des Kraftwerkes und aus der weiteren Umgebung.

Im Gegensatz zum KKM konnte das KKG aeroradiometrisch nicht detektiert werden, da es sich um einen Druckwasserreaktor handelt und deshalb das Aktivierungsprodukt ^{16}N nicht aus dem sehr gut abgeschirmten Reaktorgebäude gelangt. Wie bereits vor zwei Jahren konnten die Bestrahlungsquellen der Studer Kabelwerke AG in Däniken/SO in den Messungen nicht mehr erkannt werden, da in den letzten Jahren zusätzliche Abschirmungen angebracht wurden.

3.3.4 Perspektiven

Aufgrund der in die Jahre gekommenen Rechner der Messsysteme wurden im Jahre 2003 die Vorbereitungen für die Erneuerung der beiden Messsysteme abgeschlossen und mit den Umbauarbeiten begonnen. Mit der Erneuerung der Messsysteme wird auch die online Auswertungssoftware integriert und den Piloten ein Navigationstool zur Verfügung gestellt. Zudem ist die Software für die Datenakquisition neu zu schreiben. Bis zu den Messflügen 2004 werden die Arbeiten abgeschlossen sein.

Im Jahre 2004 sind neben den routinemässigen Flügen in der Umgebung der Kernkraftwerke Leibstadt und Beznau sowie der Forschungsanstalt Paul Scherrer Institut weitere Profile durch die Schweiz, im Gebiet des ehemaligen Versuchsreaktors Lucens sowie weitere Flüge in radiologisch interessanten Gebieten der Schweiz geplant.

3.3.5 Literatur

- Bucher, B., 2001: Methodische Weiterentwicklungen in der Aeroradiometrie. Dissertation Nr. 13973, ETH Zürich.
- Schwarz, G. F., 1991: Methodische Entwicklungen zur Aerogamma-spektrometrie. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geophysik Nr.23, Schweizerische Geophysikalische Kommission.
- Schwarz, G. F., Klingelé, E. E., Rybach, L., 1991: Aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen. Bericht für das Jahr 1991 zuhanden der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK). Interner Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich.

3.4. Die terrestrische und kosmische Komponente der natürlichen Strahlendosis in der Schweiz

H. Völkle, S. Estier, Ch. Murith, M. Jungck
J.-L. Andrey, P. Beuret, M. Boucher, G. Ferreri, M. Gobet, A. Gurtner
Sektion Überwachung der Radioaktivität, Ch. du Musèe 3, 1700 FRIBOURG

Zusammenfassung

Die durchschnittliche effektive Dosis durch die terrestrischen Radionuklide der ^{238}Uran- und ^{232}Thorium-Zerfallsreihen und von ^{40}Kalium (jedoch ohne die Radionuklide im Körper) und durch die kosmische Strahlung, gewichtet mit der Bevölkerungsverteilung, beträgt in der Schweiz rund 0.8 mSv pro Jahr. Hiervon entfallen auf die terrestrischen Radionuklide rund 0.45 mSv pro Jahr und auf die kosmische Strahlung inklusive Neutronenkomponente rund 0.35 mSv pro Jahr.

Bei den drei Alpenkantonen Graubünden, Tessin und Wallis sind Durchschnitts- und Maximalwerte im Freien für die terrestrische und kosmische Komponente zusammen etwa doppelt so hoch wie bei den übrigen Kantonen. Bei den drei genannten Kantonen und beim Kanton Uri macht die Standardabweichung dieser Messwerte 20 % bis 30 % aus, während sie bei den übrigen Kantonen zwischen 8 % und 16 %, im Mittel 11 %, beträgt. Im Hausinnern liegt die Dosisleistung im Durchschnitt 10 bis 20 % höher als im Freien.

Ausgangslage und Veranlassung

In den Jahresberichten des BAG zur Umweltradioaktivität wird seit Jahren ein Schweizer Durchschnittswert von 0.45 mSv pro Jahr für den Dosisbeitrag durch die terrestrische Radioaktivität und 0.34 mSv pro Jahr durch die kosmische Komponente angegeben. Im Bericht 1991 [1] wurde auf der Seite A.12 zudem eine Häufigkeitsverteilung für den terrestrischen und den kosmischen Betrag publiziert. Diese Daten basierten auf Messungen aus früheren Jahren, sodass heute eine Überprüfung dieser Angaben unter Zuhilfenahme neuerer Daten angezeigt erscheint. Dies betrifft sowohl den Durchschnittswert für die Schweizer Bevölkerung als auch die Häufigkeitsverteilung sowie die Grundlagen für die Umrechnung in die effektive Dosis E.

Vorhandene bzw. verwendete Daten

Die Verwendbarkeit der folgenden Datensätze wurde für diese Fragestellung überprüft:

1) Ed. Halm, W. Herbst und A. Mastrocola: "Messung des natürlichen Strahlenpegels in der Schweiz", [2].
2) Die Daten der NADAM-Sonden, bei denen an 58 Stationen die ODL alle 10 Minuten erfasst wird. Regelmässig veröffentlicht in den BAG-Jahresberichten.
3) H.-U. Johner: "Die natürliche Strahlung in der Schweiz" [3] und "Natürliche Strahlung in der Schweiz" [4].
4) In-situ-Datenbank (Ch. Murith et al.) [5]
5) berechnete Luft-Kerma durch die ionisierende Komponente der kosmischen Strahlung unter Verwendung von BFS-Daten [7].

Von diesen Datensätzen wurden die ersten zwei ausgeschlossen, da sie die natürliche Dosiskomponente offensichtlich überschätzen. Bei den Daten von Halm, Herbst und Mastrocola dürfte dies sowohl messtechnisch, infolge der verwendeten Messgeräte, sowie durch die Auswahl der Messpunkte begründet sein, da die letzteren eher nach geologischen Kriterien ausgewählt wurden. Die NADAM-Sonden wurden für einen sehr grossen Messbereich ausgelegt, der bis bis 0.05 Sv/h geht, sodass die natürliche Strahlendosis im untersten Teil des Messbereiches liegt, wo die Messunsicherheit grösser ist und die Eigenaktivität des Gerätes zu einer Überschätzung der Dosis führt.

Für die Bestimmung der **terrestrischen Komponente** wurden daher die Ergebnisse der in-situ-Messungen verwendet [5]. Messgrösse ist die berechnete Luft-Kerma in nGy/h oder mGy/Jahr in 1 m Höhe über Naturboden.

Die Beträge der **kosmischen Komponente** wurden aufgrund der Bevölkerungsverteilung bezüglich Höhe ü.M. unter Verwendung eines Datensatz des BFS berechnet [7].

Die **Variationsbreite der Daten**, bzw. die Verhältnisse im Freien zu im Haus wurden aus den Datensätzen [3] und [4] ermittelt. Diese Messungen wurden mit einer Hochdruckionisationskammer Reuter & Stokes durchgeführt, wobei die Messgrösse die Ionendosis in der Einheit µR/h (micro-Röntgen) ist. Für die Umrechnung von Ionendosis

in Luft-Kerma wurde ein gerundeter Wert von 100 R pro 1 Gy verwendet.

In-situ-Messungen 1986 - 2000 [5]

In den Jahren 1986 bis 2000 wurden 629 in-situ-Messungen in der ganzen Schweiz durchgeführt. Dabei wird das Gamma-Spektrum auf Naturboden gemessen und daraus der Gehalt an natürlichen Radionukliden der ^{238}U-Ra- und ^{232}Th-Reihen bzw. des ^{40}K des Bodens berechnet. Hieraus kann die Luft-Kerma in 1 m über dem Boden berechnet werden, unter der Annahme, dass die natürlichen Radionuklide homogen im Boden verteilt sind. Es werden folgende Dosisfaktoren verwendet:

Nuklide	Umrechnungsfaktor [nGy/h pro Bq/kg]
^{238}U + Folgeprodukte	0.402
^{232}Th + Folgeprodukte	0.604
^{40}K	0.0417

Diese Faktoren beruhen auf der Arbeit von [8] und sind auch im UNSCEAR-2000-Bericht veröffentlicht [6]. Die kosmische Komponente wurde mittels der Formel berechnet: $K \approx 32 \times e^{0.38 \times H}$ [nGy/h]; H ist die Höhe in km (ohne Neutronenkomponente).

Aus den in-situ-Daten wurden kantonale Mittelwerte bestimmt und, durch Gewichtung mit der Bevölkerung der Kantone, ein Schweizer Mittelwert für die terrestrische Komponente von 0.35 mGy pro Jahr berechnet. Die Häufigkeitsverteilung ist in Figur 1 und Tabelle 1 dargestellt.

Dosismessungen von [3] und [4]

Die im Freien und im Hausinnern mit der R&St-Ionisationskammer durchgeführten Messungen [3] und [4] sind nach Kantonen geordnet in Fig. 2 und 3 dargestellt. Es ist jeweils Mittelwert, Standardabweichung und Wertebereich für die Summe aus terrestrischer und kosmischer (ohne Neutronen) Komponente, der Ionendosis eingezeichnet. Für die Umrechnung wurde ein Faktor 100 R pro Gy verwendet. Betrachtet man die Wertebereiche, so zeigen die Alpenkantone Graubünden, Tessin und Wallis die höchsten Werte gefolgt von Uri. Diese Messungen lassen folgende Schlüsse zu:

1) In den Alpenkantonen Graubünden, Tessin, Wallis und Uri gehen die höchsten Einzelwerte bis zum Doppelten des kantonalen Mittelwertes, gefolgt von den Kantonen Bern und Neuenburg mit knapp über 40 Prozent. Das kantonale Mittel liegt über 100 nGy/h;

2) In den Kantonen Graubünden, Tessin und Wallis beträgt die Standardabweichung 20 bis 30 Prozent, bei den übrigen 8 bis 16 Prozent, im Mittel 11 Prozent;

3) Bei den Messwerten im Hausinnern sind diejenigen von Graubünden, Tessin und Wallis die höchsten; sie liegen rund 50 % über denjenigen der übrigen Kantone;

4) Die Dosiswerte im Hausinnern sind im Durchschnitt etwa 10 bis 20 Prozent höher als im Freien;

5) Es besteht eine einigermassen gute Korrelation (Korrelationskoeffizient von 0.82) zwischen den Messwerten im Freien vor dem Haus bzw. denjenigen im Hausinnern.

Berechnung der ionisierenden Komponente der kosmischen Strahlung

Unter Benutzung der statistischen Daten des BFS für Höhe über Meer und Anzahl Einwohner je Gemeinde für 2002 [7] konnte die Häufigkeitsverteilung der ionisierenden Komponente der Luft-Kerma durch die kosmische Strahlung berechnet werden. Diese ist in Fig. 6 und 7 dargestellt. Es ergibt sich ein mit der Bevölkerungsverteilung gewichtetes Mittel von 0.34 mGy pro Jahr. Für die Berechnung der ionisierenden Komponente der kosmischen Strahlung wurden folgende Formel verwendet:

$$K \approx 32 \times e^{0.38 \times H} \text{ [nGy/h]}$$
$$K \approx 0.28 \times \exp^{0.38 \times H} \text{ [mGy/a]}$$
$$H = \text{Höhe in km}$$

Umrechnung in die effektive Dosis und Berücksichtigung des Aufenthaltes im Haus

Für die Umrechung von Luft-Kerma, gemessen im Freien auf Naturboden in die effektive Dosis, gemäss der Definition der ICRP als gewichtete Summe der Äquivalentdosen H_T der einzelnen Organe und Gewebe des Körpers, gewichtet mit den Gewebewichtungsfaktoren w_T, müssen folgende Korrekturen angebracht werden.

1) Umrechnung von Luft-Kerma im Freien in Luft-Kerma im Hausinnern. Die Radionuklide in den Baustoffen bewirken eine Erhöhung der Dosis; die kosmische Strahlung wird durch die Gebäudehülle etwas geschwächt. Dazu wird folgende Formel verwendet: $K_{indoor} = f_{terr} \times K_{terr} + f_{cos} \times K_{cosm}$. UNSCEAR 2000 [6] benutzt $f_{terr} = 1.4$ (der Wertebereich beträgt 0.6 bis 2.0; letzteres für Schweden und Holland) bzw. $f_{cosm} = 0.8$; diese gelten als Durchschnittswerte für die ganze Welt. Unter der Annahme, dass die Häuser in der Schweiz etwas massiver gebaut sind als im Weltdurchschnitt, wurde angenommen, dass der Beitrag der Radionuklide in den Mauern 20 % höher ist als im Weltmittel und dass die

Schwächung der kosmischen Strahlung ebenfalls um 20 % grösser ist als im Weltmittel. Diese Hypothese ist allerdings mit den vorhandenen Daten nicht verifizierbar. Folgende Werte wurden verwendet: f_{terr} = 1.7 bzw. f_{cosm} = 0.65*). Für die Schweizer ergibt sich damit ein Verhältnis indoor/outdoor von 1.16 für die Summe aus terrestrischer und kosmischer Komponente. Die Messungen von [3] und [4] ergeben im Mittel rund 1.1 - 1.2. Die Korrelation der einzelnen Wertepaare im Freien neben dem Haus zum Messwert im Haus ist bei [3] und [4] recht gut, mit einem Korrelationskoeffizient von 0.82.

2) Es muss eine Annahme getroffen werden, wieviel Zeit sich der Durchschnittsschweizer im Freien bzw. im Hausinnern aufhält. UNSCEAR-2000 [6] benutzt für die ganze Welt 20% resp. 80 %. Für Schweizer Verhältnisse trifft wohl eher 10% bzw. 90% zu, weshalb diese Werte verwendet wurden.

3) Die Luft-Kerma muss in effektive Dosis umgerechnet werden. Hierzu wurden die Ergebnisse von [9] verwendet. In dieser Arbeit wird die Umrechnung von Ionendosis in effektive Dosis (E/I in Sv pro 100 R) für ein Phantom für verschiedene Bestrahlungen in Funktion der Energie berechnet. Es wurde ein Durchschnittswert für den Energiebereich der Gamma-Linien der natürlichen Radionuklide zwischen 180 keV und 2.7 MeV für zwei Fälle: einerseits paralleles Strahlenbündel mit rotierendem Phantom und anderseits isotrope Bestrahlung, angenommen. Der Umrechnungsfaktor beträgt dann 0.65 mSv pro 100 R bzw. 0.75 mSv pro mGy. Für die kosmische Strahlung wurde, da hier auch höhere Energien vorkommen ein Wert von 1.1 verwendet (gemäss Empfehlungen ICRP). Die Neutronenkomponente der kosmischen Strahlung wurde gemäss UNSCEAR-2000 [6] mit im Mittel 0.1 mSv/y dazugezählt.

Zusammenfassend ergeben die hier vorgestellten Überlegungen und Berechungen folgende Dosiswerte:

Dosis	**im Freien**	**im Haus**	**bei 10% bis 90%**	**Effektive Dosis*)**
	Luft-Kerma in mGy/Jahr			**mSv/y**
terr.	0.35	0.60	0.58	**≈ 0.45**
kosm.(γ)	0.34	0.22	0.23	0.25
kosm.(n)	—	—	—	0.10
kosm. (γ+n)	—	—	—	**≈ 0.35**
Summe	**≈ 0.7**	**0.82**	**0.81**	**≈ 0.8**

*) auf 0.05 gerundet.

Bewertung der Resultate

Insgesamt haben sich die in den früheren Jahresberichten publizierten Werte nicht verändert, sowohl im Bezug auf den Durchschnitt wie auf die Häufigkeitsverteilung.

In-situ-Messungen werden in der Regel auf Naturboden durchgeführt, da damit der Radionuklidgehalt im Boden bzw. bei einem Unfall die Kontamination der Bodenoberfläche ermittelt werden soll. Für die Strahlenexposition der Bevölkerung wären jedoch solche Messungen auch auf geteerten bzw. gepflasterten Strassen und Plätzen von Interesse. In-situ-Messungen im Hausinnern würden es zudem ermöglichen, in Verbindung mit Dosismessungen den kosmischen und den Anteil durch die terrestrischen Radionuklide separat zu bestimmen, was eine Überprüfung der f_{terr} und f_{cosm} - Faktoren ermöglichen würde. Sie würden weiter auch mehr Informationen über die Verteilung sowie den Einfluss von Haustyp und Baumaterialien liefern. Die SUER plant solche Ergänzungsmessungen in ihr Programm aufzunehmen.

Quellenangaben

[1] Jahresbericht "Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz"; des BAG 1991: Zusammenfassung Seite A.12, Fig. 1 und 2.

[2] Ed. Halm, W. Herbst und A. Mastrocola: "Messung der natürlichen Strahlenpegels in der Schweiz"; Sonderdruck aus Beilage B, Nr. 6/1962 zum Bulletin des Eidg. Gesundheitsamtes vom 22. Dezebember 1962.

[3] H.-U. Johner und H. Völkle: "Natürliche Strahlung in der Schweiz"; Jahresbericht Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz"; des BAG 1996, pp. B.3.3.1 - B.3.3.6.

[4] H.-U. Johner: "Die natürliche Strahlung in der Schweiz"; Jahresbericht Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz"; des BAG 1998, pp. B.3.4.1 - B.3.4.4.

[5] SUER: in-situ-Datenbank 1986 - 2002 (Ch. Murith et al.; unveröffentlicht)

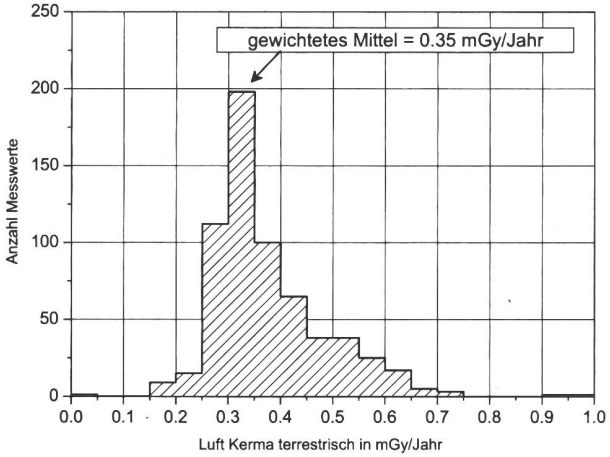
*) siehe auch H. Johner & H. Völkle: "Die natürliche, terrestriche und kosmische Strahlung im Hausinnern und im Freien" BAG-Jahresbericht 1994, Seiten B.3.5.1 ff.

[6] UNSCEAR-2000: "Sources an Effects of Ionizing Radiation"; United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR-2000 Report to the General Assembly, Volume I: Sources. United Nations, New York 2000.

[7] Copyright © des Bundesamtes für Statistik, GEOSTAT, CH-2010 Neuchâtel.

[8] K. Saito and P. Jacob: "Gamma Ray Fields in the Air due to Sources in the Ground", Rad. Prot. Dos. 58 (1), 1995, pp. 29 - 45.

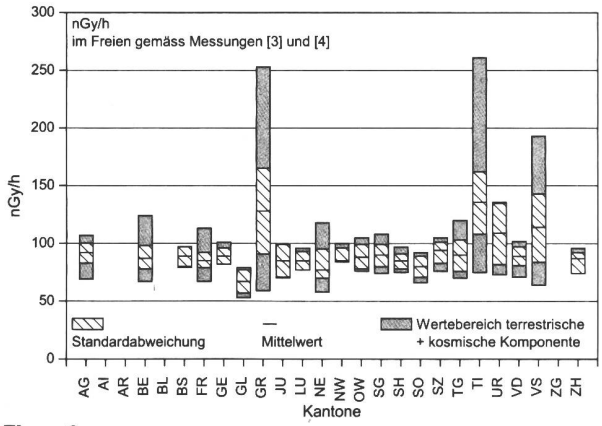
[9] R. Kramer and G. Drexler: "On the Calculation of the Effective Dose Equivalent", Rad. Prot. Dos. 3 (1-3), 1982, pp.13-24.



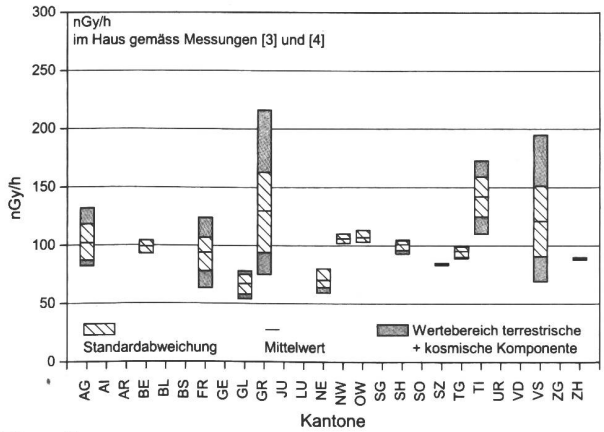
Figur 1
Luft-Kerma der terrestrischen Komponente [mGy/Jahr] berechnet aus den in-situ-Messungen 1986 - 2000 [5]

Tabelle 1
Luft-Kerma bestimmt aus den in-situ-Messungen von 1986 - 2000 [5]

Kanton	Einw. x1000	K_{terr} [mGy/ Jahr]	K_{cosm} [mGy/ Jahr]	K_{terr} x Einw.	K_{cosm} x Einw.
AG	508	0.32	0.37	162.56	187.96
AI	14	0.4	0.81	5.6 *)	11.34
AR	52	0.4	0.45	20.8	23.4
BE	958	0.32	0.44	306.56	421.52
BL	233	0.35	0.38	81.55	88.54
BS	199	0.35	0.38	69.65	75.62
FR	214	0.32	0.47	68.48	100.58
GE	379	0.36	0.38	136.44	144.02
GL	39	0.35	0.41	13.65	15.99
GR	174	0.45	0.58	78.3	100.92
JU	66	0.33	0.48	21.78	31.68
LU	326	0.35	0.39	114.1	127.14
NE	164	0.3	0.48	49.2	78.72
NW	33	0.35	0.40	11.55	13.2
OW	29	0.35	0.48	10.15	13.92
SG	428	0.4	0.40	171.2	171.2
SH	72	0.32	0.39	23.04	28.08
SO	232	0.32	0.38	74.24	88.16
SZ	112	0.35	0.39	39.2	43.68
TG	209	0.32	0.39	66.88	81.51
TI	282	0.5	0.38	141	107.16
UR	34	0.35	0.48	11.9	16.32
VD	602	0.36	0.45	216.72	270.9
VS	250	0.38	0.54	95	135
ZG	86	0.32	0.38	27.52	32.68
ZH	1179	0.32	0.39	377.28	459.81
Schweiz	**6874**	**Summe 1000 x mGy/Jahr**		**2394.35**	**2869.05**
	gew. Mittel in mGy/Jahr			**0.35**	**0.412**



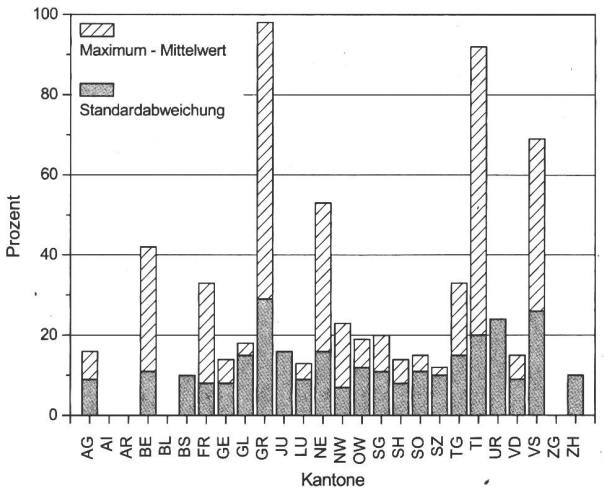
Figur 2
Messungen der Ortsdosisleistung im Freien (Ionisationskammer) [3] und [4] Mittelwert, Standardabweichung, Wertebereich terrestrische + kosmische Komponente



Figur 3
Messungen der Ortsdosisleistung im Hausinnern (Ionisationskammer) [3] und [4] Mittelwert, Standardabweichung, Wertebereich terrestrische + kosmische Komponente

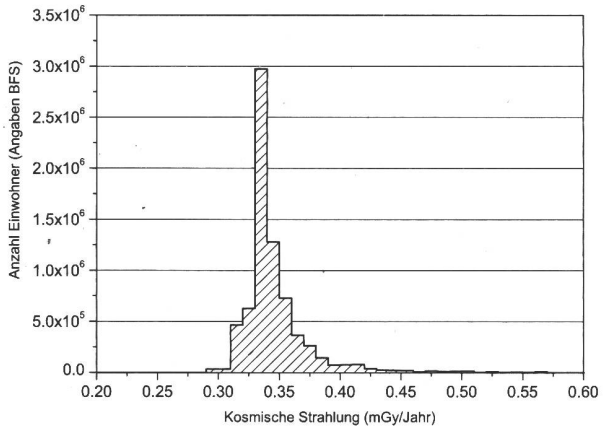
.....

*) nur ein Messwert auf dem Säntis



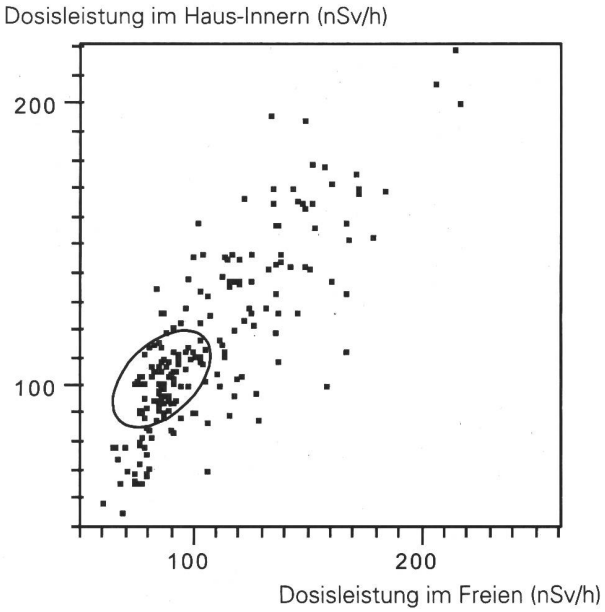
Figur 4
Variation der Ortsdosen im Freien (Ionisationskammer) [3] und [4]

- Standardabweichung in Prozent = Ende des unteren Balkens
- Abweichung des höchsten Wertes vom Mittelwert = Ende des oberen Balkens

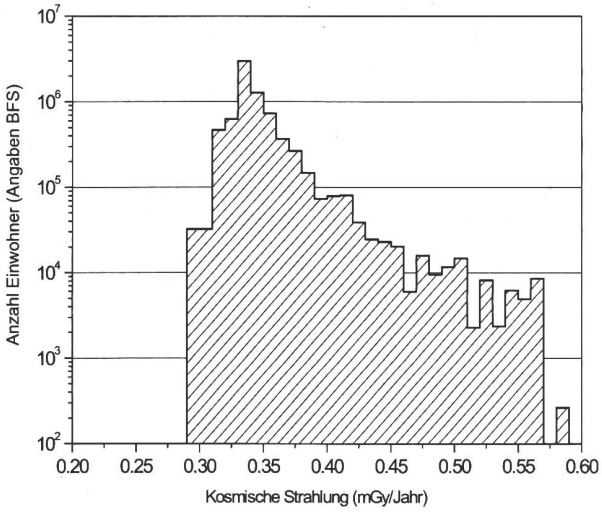


Einwohnerdaten: Copyright © des Bundesamtes für Statistik GEOSTAT, CH-2010 Neuchâtel [7]

Figur 6
Berechnete Häufigkeitsverteilung der Luft-Kerma der ionisierenden Komponente der kosmische Strahlung Anzahl Einwohner je Intervall von 0.1 mGy/y: lineare Skala (γ-Komponente)



Figur 5
Korrelation der Messwerte im Freien zu den Messwerten im Hausinnern [3] und [4]



Einwohnerdaten: Copyright © des Bundesamtes für Statistik GEOSTAT, CH-2010 Neuchâtel [7]

Figur 7
Berechnete Häufigkeitsverteilung der Luft-Kerma durch die kosmische Strahlung: Anzahl Einwohner je Intervall von 0.1 mGy/y: logarithm.Skala (γ-Komponente)