

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:	- (1998)
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: 15.02.2026

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

3. Externe Strahlung

Zusammenfassung

(hv) Dieses Kapitel enthält die Messungen der externen Strahlung sowie die Ergebnisse der in-situ-Spektrometrie und der Aeroradiometrieflüge. Sie erfassen natürliche wie anthropogene Radionuklide im und auf dem Erdboden soweit sie zur externen Dosis beitragen. Die anthropogene Komponente stammt von Kernwaffentests, dem Reaktorunfall Tschernobyl bzw. aus Emissionen von Kernanlagen (z.B. ^{16}N -Direktstrahlung) und Betrieben.

In-situ-Messungen im ganzen Lande ergaben 1998 Ortsdosen zwischen 62 und 145 nGy/h¹⁾ (entsprechend 0.5 bis 1.3 mSv/Jahr) wobei der natürliche Anteil 60 bis 113 nGy/Stunde ausmacht. Der letztere stammt vom ^{40}K sowie den Folgeprodukten der Uran- und der Thorium-Zerfallsreihen. Das vom Kernwaffenausfall und vom Reaktorunfall Tschernobyl stammende ^{137}Cs beträgt im Mittelland < 25 Bq/kg entsprechend < 5 nSv/Stunde während in den Alpen und im Tessin Werte bis knapp über 400 Bq/kg entsprechend 72 nSv/Stunde gemessen wurden [Kap. 3.1].

Die externen Ortsdosen werden im auch durch das automatische Warn- und Überwachungsnetz NADAM mit 58 Stationen im ganzen Lande überwacht [Kap. 3.2]. Deren Sonden befinden sich an den Standorten des Wetterbeobachtungsnetzes der SMA. Im Berichtsjahr wurden keine erhöhten Dosiswerte registriert die auf eine erhöhte Strahlenexposition der Bevölkerung schließen lassen. Im Jahresmittel lagen die Messwerte in Jura, Mittelland und den Voralpen (incl. KKW-Standorte) unverändert zwischen 90 und 125 nSv/Stunde, in den Alpen und Südalpen zwischen 105 und 215 nSv/Stunde. In den letzten Zehn Jahren hat die Ortsdosis an Stationen in den Alpen um etwa 20 Prozent abgenommen, da das von Tschernobyl stammende ^{137}Cs abgeklungen und zudem in tiefere Bodenschichten eingedrungen ist.

Aeroradiometrie-Messflüge [Kap. 3.3] werden zur Erfassung der Gamma-Strahlung mit einem NaJ-Spektrometer in einem Superpuma-Helikopter der Armee durchgeführt. 1998 wurde die Umgebung von Beznau und Leibstadt sowie Gebiete in den Alpen (erhöhte natürliche Radioaktivität) und im Tessin (erhöhte Tschernobyl-Ablagerungen) beflogen.

1) eine Ortsdosis von 1 nGy/Stunde ergibt für eine Person, die sich dauernd an dieser Stelle aufhält gerundet etwa 1 nSv/Stunde.

3.1. Mesures *in situ* et exposition externe

Ch. Murith, A. Gurtner

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

W. Baur, M. Schibli

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

F. Byrde, M. Astner

Laboratoire AC, 3700 SPIEZ

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 et celles des dosimètres à thermoluminescence recensent l'exposition ambiante globale sans permettre d'en distinguer les composantes individuelles. C'est pourquoi les laboratoires mobiles de l'OFSP (SueR-Fribourg), de la DSN (Villigen), du laboratoire AC (Spiez) et de l'IRA (Lausanne) exploitent la spectrométrie gamma directe (*in situ*) pour apprécier de manière sensible l'impact réel des contaminations sur l'exposition ambiante par rapport au fond naturel et à ses fluctuations. Ces examens portent en priorité sur le voisinage des installations nucléaires (KKB, KKG, KKL, KKM, PSI, CERN) et sur le suivi de la contamination rémanente de ^{137}Cs issu des essais nucléaires et de Tchernobyl, qui constitue l'essentiel de l'exposition ambiante d'origine artificielle. Celle-ci reste plus marquée au Tessin par rapport au reste de la Suisse. L'examen effectué à Vercorin (VS) répond à une demande privée sur la contamination en altitude. Les résultats *in situ* 1998 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]. L'exposition ambiante naturelle s'obtient par sommation de la part ionisante cosmique dépendant de l'altitude du site 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 simultanément sur le site à l'aide d'une chambre à ionisation, on peut estimer la contribution artificielle correspondante. L'avantage de cette démarche est de tenir compte d'éventuelles contributions artificielles en dehors du domaine d'énergie de la mesure (par exemple rayonnement direct) et de ne nécessiter ni échantillonnage, ni hypothèse sur la distribution des contaminations du sol. Un contrôle de plausibilité majorant à partir d'une distribution homogène des contaminants informe sur leur comportement dans le temps.

3.1.3 Résultats *in situ*

Les niveaux des concentrations des radionucléides naturels identifiés par spectrométrie gamma *in situ* et de leur contribution respective à l'exposition ambiante (descendants

compris) sont indiqués (fig. 1) pour les 30 sites suisses examinés en 1998. Les moyennes et les domaines correspondants sont les suivants:

Radionucléides naturels	Concentrations in situ Bq/kg		Débit d'exposition ambiante nGy/h à 1m du sol	
Distribution homogène	Moyenne	Domaine	Moyenne	Domaine
⁴⁰K	395 ± 140	200 - 755	16 ± 6	8 – 31
²³²Th	24 ± 7	14 – 41	14 ± 4	8 – 25
²³⁸U	25 ± 7	16 - 42	12 ± 3	7 - 19

Pour le ¹³⁷Cs (fig. 2), la réalité est plus complexe. Sous l'hypothèse d'une distribution homogène analogue à celle des radionucléides primordiaux, la conversion du débit de fluence en Bq/kg in situ indique à titre de comparaison les domaines de concentrations et de débits d'exposition ambiante suivants: 6 – 430 Bq/kg respectivement 1 – 71 nGy/h. En supposant le ¹³⁷Cs distribué en surface du sol, on obtiendrait un dépôt ¹³⁷Cs compris entre 180 et 12'900 Bq/m² occasionnant à 1m du sol entre 0,5 et 34,5 nGy/h. En réalité la distribution du ¹³⁷Cs est intermédiaire de ces 2 cas extrêmes.

Néanmoins l'hypothèse d'une distribution homogène peut servir à comprendre le comportement du ¹³⁷Cs dans le sol [2]. A titre d'illustration, le suivi à Caslano montre un recul plus prononcé de la concentration ¹³⁷Cs exprimée en Bq/kg que ne le laissait prévoir la période de ce nucléide. Cela s'explique par le transfert progressif de la contamination dans le sol, qui se répercute également par une diminution correspondante de sa contribution à l'exposition ambiante. A partir de l'inventaire ¹³⁷Cs initial (40'000 Bq/m² à Caslano), on peut associer à l'évolution des Bq/kg celle du paramètre de relaxation massique par unité de surface β (g/cm²) caractéristique d'une distribution exponentielle de la contamination selon la profondeur. L'augmentation de ce paramètre traduit la mobilité verticale du césium d'un an sur l'autre. L'estimation de l'inventaire en Bq/m² dépend fortement de ce paramètre, alors que sa répercussion sur l'exposition ambiante est moindre.

Si l'on ne dispose pas de l'information précise sur ce paramètre dans un site qui n'a pas fait l'objet d'un suivi ou d'un examen de profils de sol, la méthodologie (part artificielle = mesure chambre d'ionisation – part naturelle), décrite sous 3.2.2. conduit à une bonne estimation de la part artificielle. Appliquée aux mesures in situ 1998, cette procédure permet de distinguer les contributions individuelles à l'exposition ambiante (fig. 3). L'incertitude sur les résultats reportés dans les différentes figures est de l'ordre de $\pm 10\%$. On constate que l'exposition d'origine naturelle prédomine avec 62 à 115 nGy/h par rapport à celle d'origine artificielle comprise entre 0,6 et 40 nGy/h. Pour l'ensemble des sites, la composante cosmique représente la contribution individuelle la plus élevée. Du point de vue des radionucléides primordiaux (⁴⁰K et séries ²³⁸U et ²³²Th), certains sites du Tessin indiquent une contribution terrestre accrue. Enfin concernant la part artificielle, les valeurs apparaissent également plus élevées au Tessin, où les dépôts ¹³⁷Cs incomptant à Tchernobyl et même aux essais nucléaires s'avèrent plus importants.

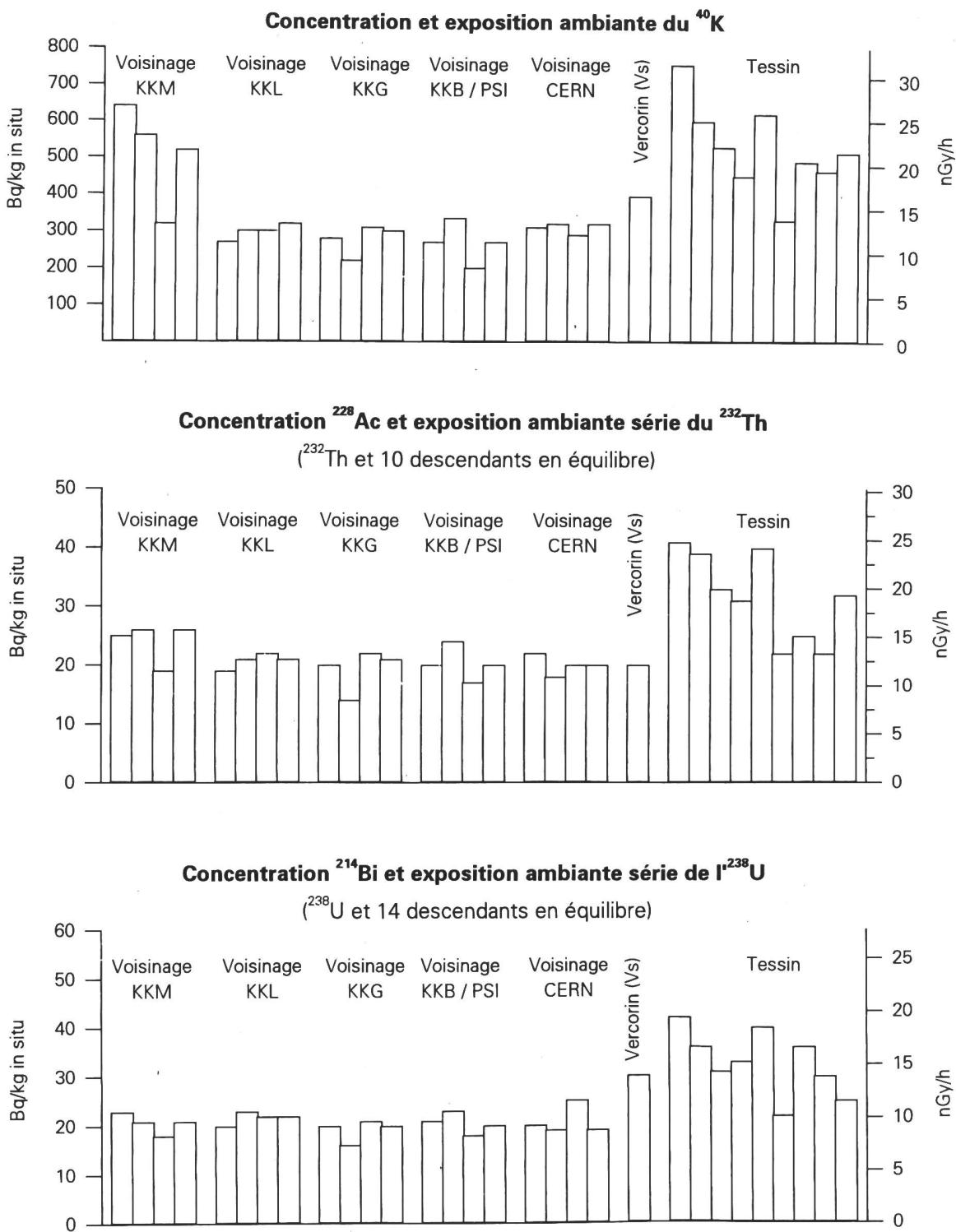
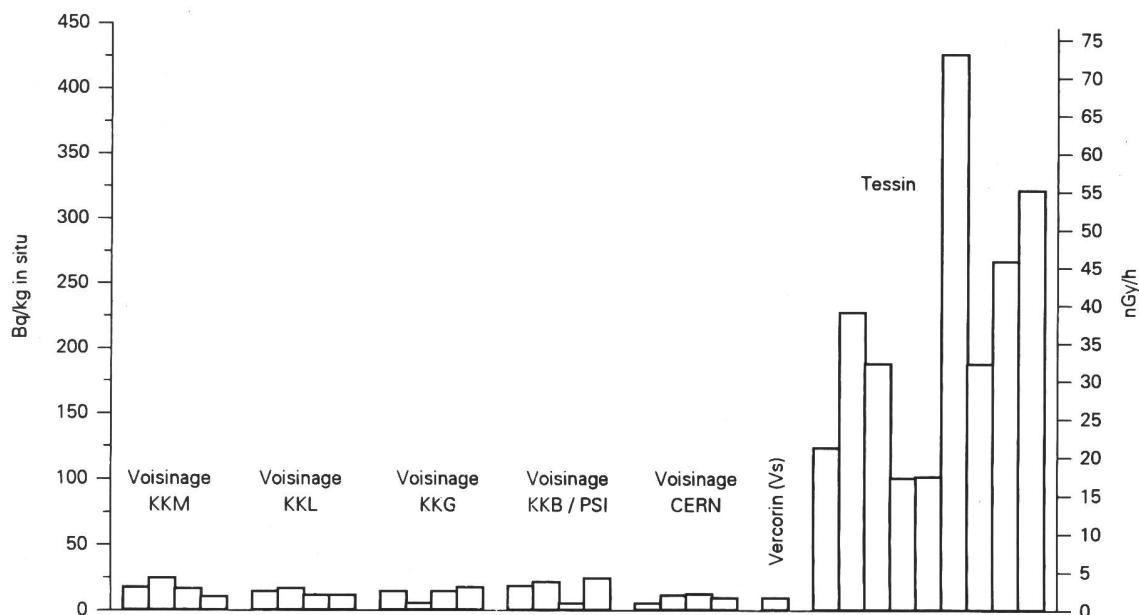


Figure 1 : La radioactivité du sol au naturel

Concentration et exposition ambiante du ^{137}Cs
sous l'hypothèse d'une distribution homogène



Suivi du comportement du ^{137}Cs dans le sol de Caslano

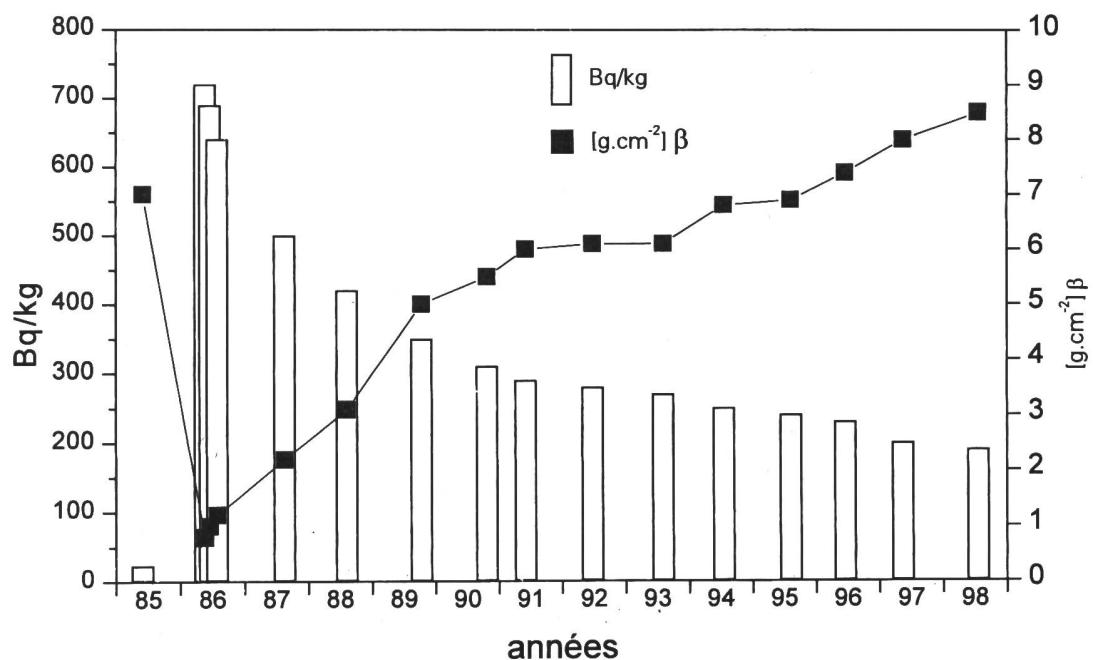


Figure 2 : Le ^{137}Cs , témoin des essais nucléaires et de Tchernobyl

3.1.4 Conclusions

L'objectif général des examens in situ est de qualifier et de quantifier les contributions à l'exposition ambiante du public en particulier dans le champ proche des installations nucléaires et dans les régions les plus marquées par des contaminations. Ces examens permettent de répondre au besoin d'information du public sur les niveaux du rayonnement gamma ambiant. La spectrométrie gamma in situ est un outil essentiel pour évaluer de manière sensible et réaliste l'impact des contributions individuelles à l'exposition ambiante, d'en interpréter les fluctuations et de suivre la contamination du sol. L'acquisition d'une longue série de données (~600 examens depuis 1985) a permis de quantifier les niveaux d'origine naturelle et les impacts respectifs des retombées atmosphériques des tirs nucléaires, de l'accident de Tchernobyl et des installations nucléaires locales. Ces données constituent une expertise du point de vue de l'exposition externe du public, complétée pour l'exposition interne par l'analyse différée de la radioactivité alpha, bêta et gamma dans les échantillons correspondants de l'environnement (air, pluie, sol, végétaux et aliments).

Les examens in situ n'ont signalé aucun impact des rejets atmosphériques des installations nucléaires suisses en 1998 sur l'exposition ambiante. Le rayonnement gamma ambiant montre la prédominance de la radioactivité d'origine naturelle par rapport à celle d'origine artificielle, qui se limite pratiquement à la contamination rémanente ^{137}Cs . Sur la base des mesures in situ (fig. 3), l'exposition ambiante en 1998 occasionne au maximum, pour 20% de séjour en plein air, 200 μSv d'origine naturelle respectivement 70 μSv d'origine artificielle. Cet impact dosimétrique pour la population et par conséquent le risque qu'il représente apparaît négligeable par rapport à d'autres expositions comme celle au radon. Néanmoins l'information sur l'impact, aussi faible soit-il, de l'exploitation des installations nucléaires et des tâches rémanentes de ^{137}Cs s'inscrit dans le débat public. Les mesures in situ permettent d'y répondre et aident à l'appréciation rapide d'une contamination gamma.

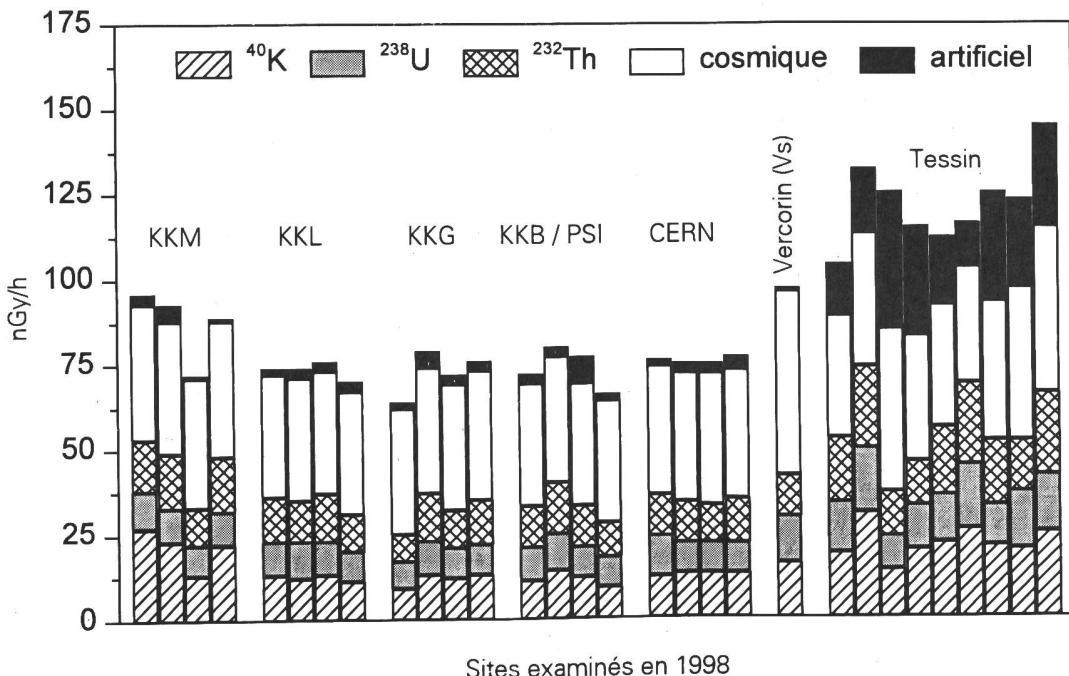


Figure 3 : **La spectrométrie gamma in situ: mieux distinguer pour mieux informer:**
Les contributions individuelles à l'exposition ambiante

3.1.5 Mesures spéciales : expertise au voisinage de l'usine de la Hague

Dans son rôle d'expertise au sein du Groupe Radioécologie Nord-Cotentin, l'OFSP a été appelé à réaliser sur proposition d'intervenants locaux (LERFA, GEA, et Mères en colère) une campagne de mesures dans le voisinage de l'usine de retraitement de La Hague en octobre 1998. Une note détaillée et publique sur les résultats de ces mesures a été transmise à la Commission spéciale et permanente d'information auprès de l'établissement de La Hague (CSPI). Il s'est agi d'une part de différencier par spectrométrie gamma in situ les contributions à l'exposition ambiante du public selon leur origine naturelle ou artificielle et d'autre part d'analyser en laboratoire divers échantillons (sols, sédiments, algues et patelles). Certains radionucléides spécifiques des rejets de l'usine de La Hague ont pu être mis en évidence, tels le ^{85}Kr par spectrométrie gamma in situ, le ^{129}I par spectrométrie gamma en laboratoire (fig. 4) et le ^{244}Cm par spectrométrie alpha après séparation chimique.

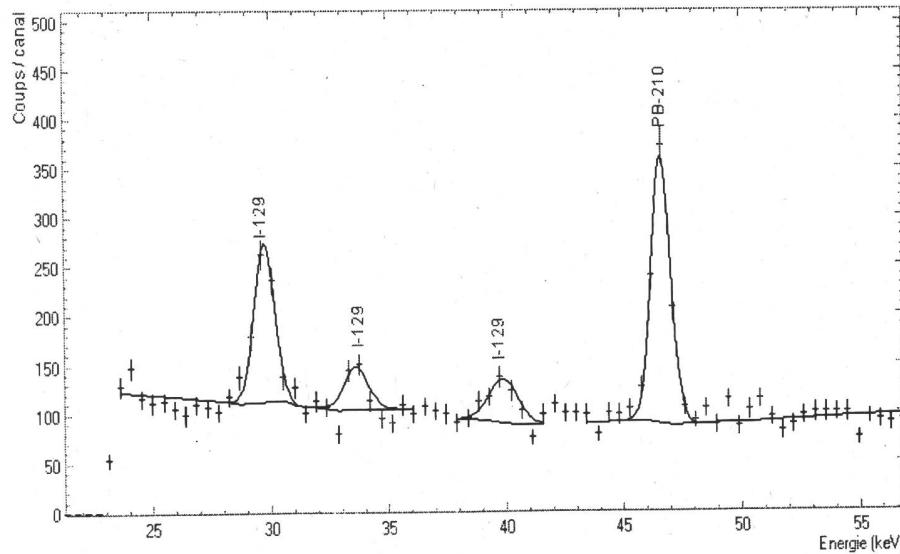
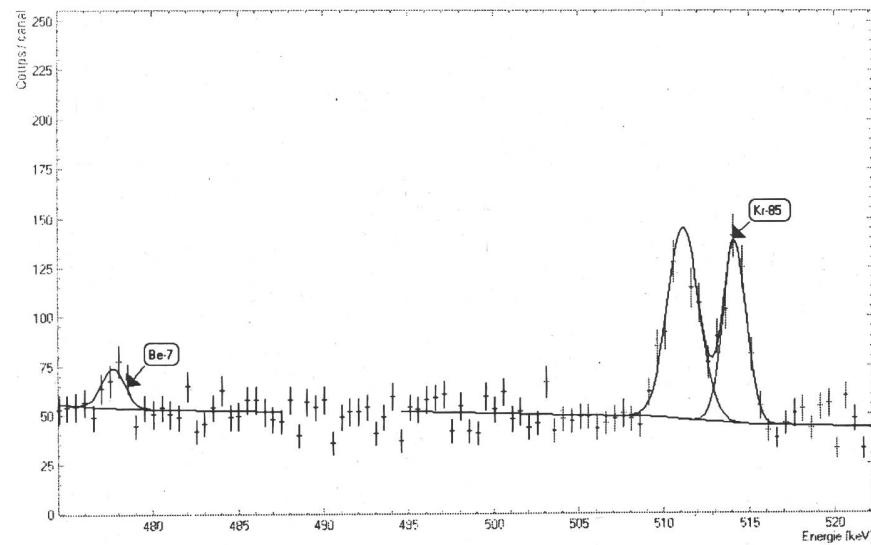


Figure 4 : Le ^{85}Kr et le ^{129}I dans les algues: des témoins très spéciaux

Pour tous les autres radionucléides, les concentrations ne dépassent pas celles mesurées en Suisse et ce sont avant tout les rapports isotopiques et leur variabilité qui témoignent d'une très faible contamination due aux installations nucléaires locales. La confrontation des résultats obtenus à La Hague avec ceux enregistrés en Suisse en 1998 (fig. 5) montrent que les niveaux de contamination (hors traces de ^{85}Kr , ^{129}I et ^{244}Cm) sont sensiblement supérieurs dans l'environnement suisse (essais nucléaires + Tchernobyl) comparés à celui du Nord-Cotentin (essais nucléaires + Tchernobyl + installations nucléaires locales). Dans les deux cas, les contributions permanentes d'origine naturelle prédominent par rapport à celles d'origine artificielle, dont l'impact en terme de risque s'avère négligeable. Les analyses des émetteurs α et β nécessitant une séparation chimique ont été réalisées et commentées par l'Institut de Radiophysique Appliquée (IRA – Lausanne). Le groupe Radioécologie Nord-Cotentin remercie la SueR et l'IRA pour le travail fourni et la mise à disposition rapide des résultats et des commentaires associés.

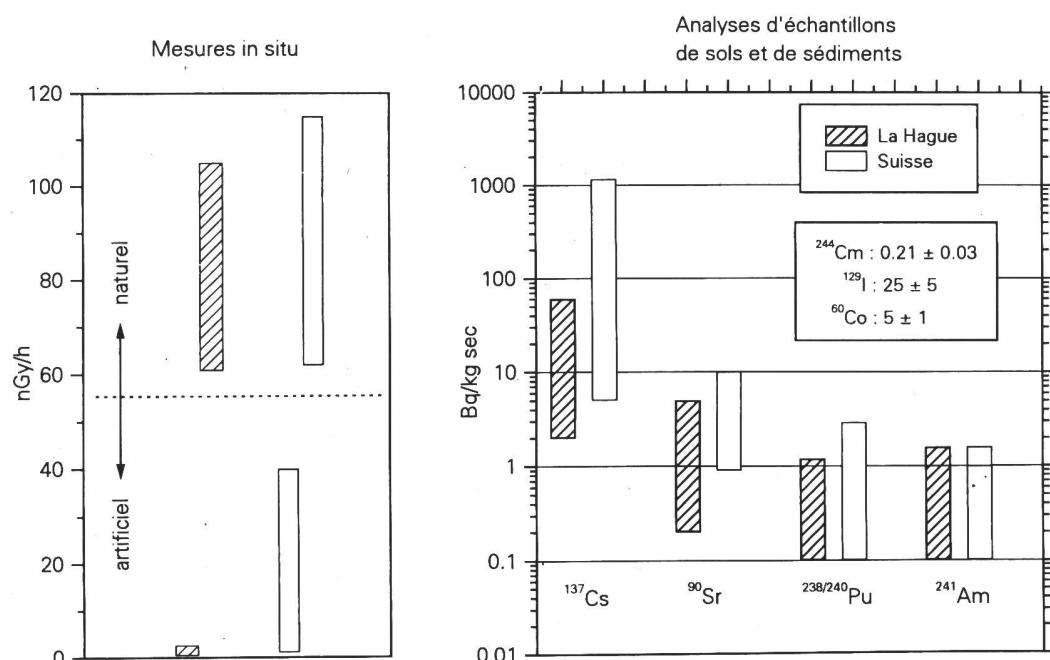


Figure 5 : Confrontation des résultats enregistrés dans l'environnement de La Hague avec ceux de l'environnement des sites suisses, 1998

Conclusions et remerciements

Les examens de radioactivité (in situ et en laboratoire) effectués sur territoire suisse et au voisinage de la Hague ont permis de caractériser les niveaux radiologiques dans les sites en questions. Il a été possible de distinguer du fond naturel et de ses fluctuations les contributions d'origine artificielle provenant des contaminations rémanentes des essais nucléaires, de Tchernobyl et le cas échéant d'installations nucléaires locales, dont l'impact en terme de risque s'avère cependant négligeable. Nous remercions de leur collaboration les organismes et personnes qui ont contribué au bon déroulement de nos mesures.

Littérature

- [1] ICRU-Report 53 "Gamma-Ray Spectrometry in the Environment" Dec. 94, ISBN 0-913394-52-1.
- [2] Ch. Murith and A. Gurtner "In situ spectrometry to follow the behaviour of the Chernobyl radionuclides in the soil." Öster. Bodenkundl. Ges., H.53 P 19-26, 1996.

3.2 Die automatische Überwachung der Ortsdosen mit NADAM

A. Leonardi

Nationale Alarmzentrale (NAZ), Eidg. Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport, 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. Auch 1998 konnte eine praktisch 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 Erfahrungswerte und Mittelwerte

Die Erfahrungswerte wurden anhand der Messwerte 1998 überprüft. Eine Darstellung der Jahresmittelwerte sowie der extremen Wochenwerte für die einzelnen Stationen ist in Fig. 1 abgebildet. Auch dieses Jahr ergeben sich für einige Stationen leichte Änderungen. Für Sonden, deren Mittelwert 1998 um mehr als 3 nSv/h vom bisherigen Erfahrungsbereich abweicht, wurden wie üblich entsprechende Anpassungen vorgenommen. Zum Teil waren solche Anpassungen auch nach einem Sondenwechsel notwendig, wie sie im Rahmen des Qualitäts- sicherungsprogramms regelmässig durchgeführt werden.

Station	Erfahrungswerte*) 1997 [nSv/h]	Erfahrungswerte*) 1998 [nSv/h]	Neue Erfahrungsbereiche *) [nSv/h]	Ursache der Änderung des Erfahrungswerts
Beznau	102	105	90-130	-
Changins	115	114	90-130	Sondenwechsel
Gr. St-Bernard	156	162	150-200	-
Leibstadt	107	103	80-120	Sondenwechsel
Lugano	135	132	110-150	Sondenwechsel
Säntis	125	129	100-150	-
Vaduz	102	102	90-130	Sondenwechsel

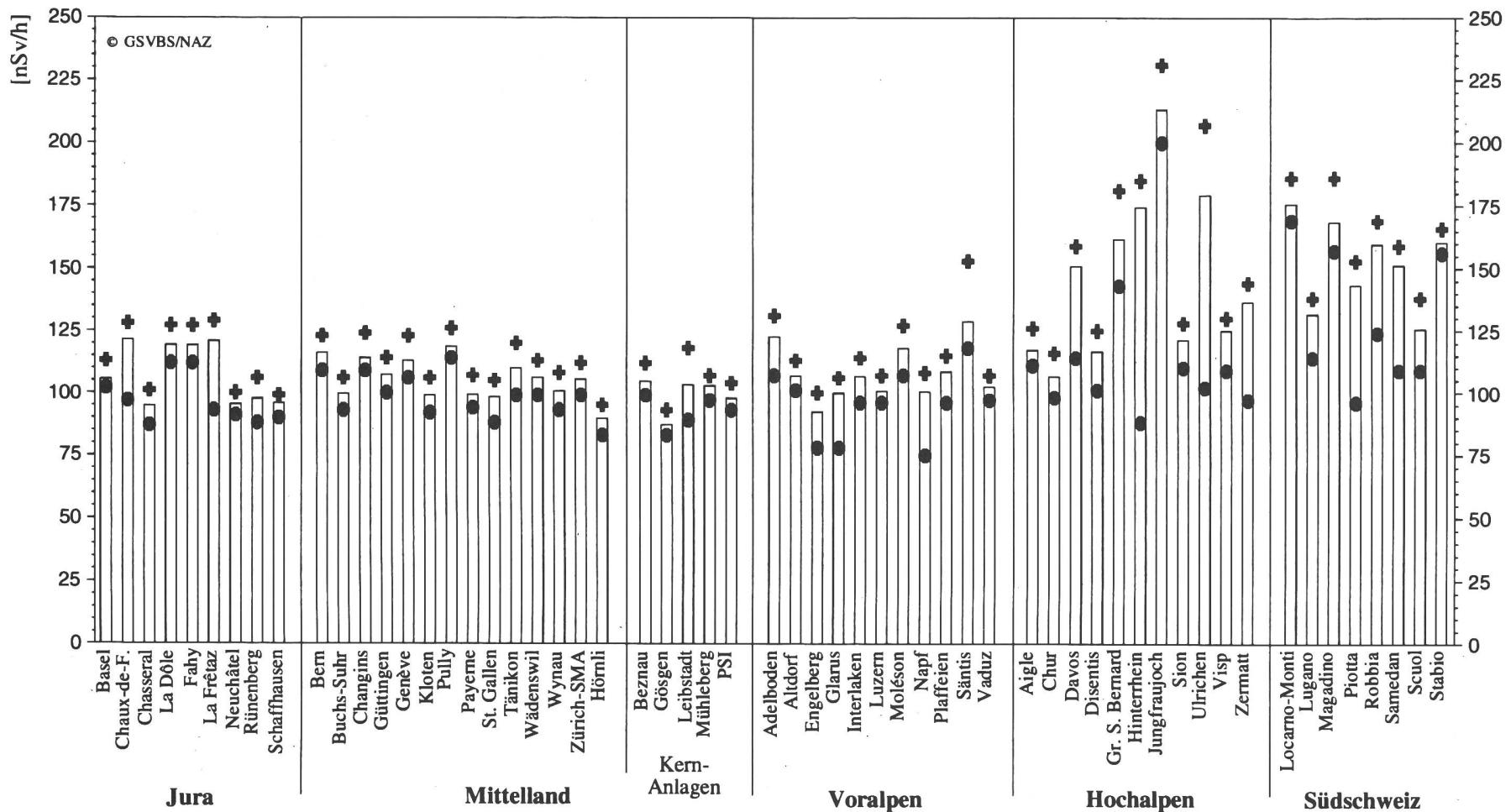
*) unter Berücksichtigung des Eigennulleffekts

3.2.3 Qualitätssicherung

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

Fig. 1: Jahresmittelwerte 1998 nach Regionen:

- Minimaler Wochenwert, + Maximaler Wochenwert, □ Jahresmittelwert.



Figur 1 zeigt die Jahresmittelwerte der NADAM-Sonden 1998, aufgeteilt nach Regionen (unter Berücksichtigung des Eigennulleffekts). Die Ortsdosisleistung variiert je nach Standort zwischen 90 - 205 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. Der künstliche Beitrag durch den Tschernobylausfall und die Atombombentests ist heute praktisch vernachlässigbar. Figur 2 zeigt den Verlauf der Erfahrungswerte der Stationen Lugano und Hinterrhein für die Periode 1988 - 1998 (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).

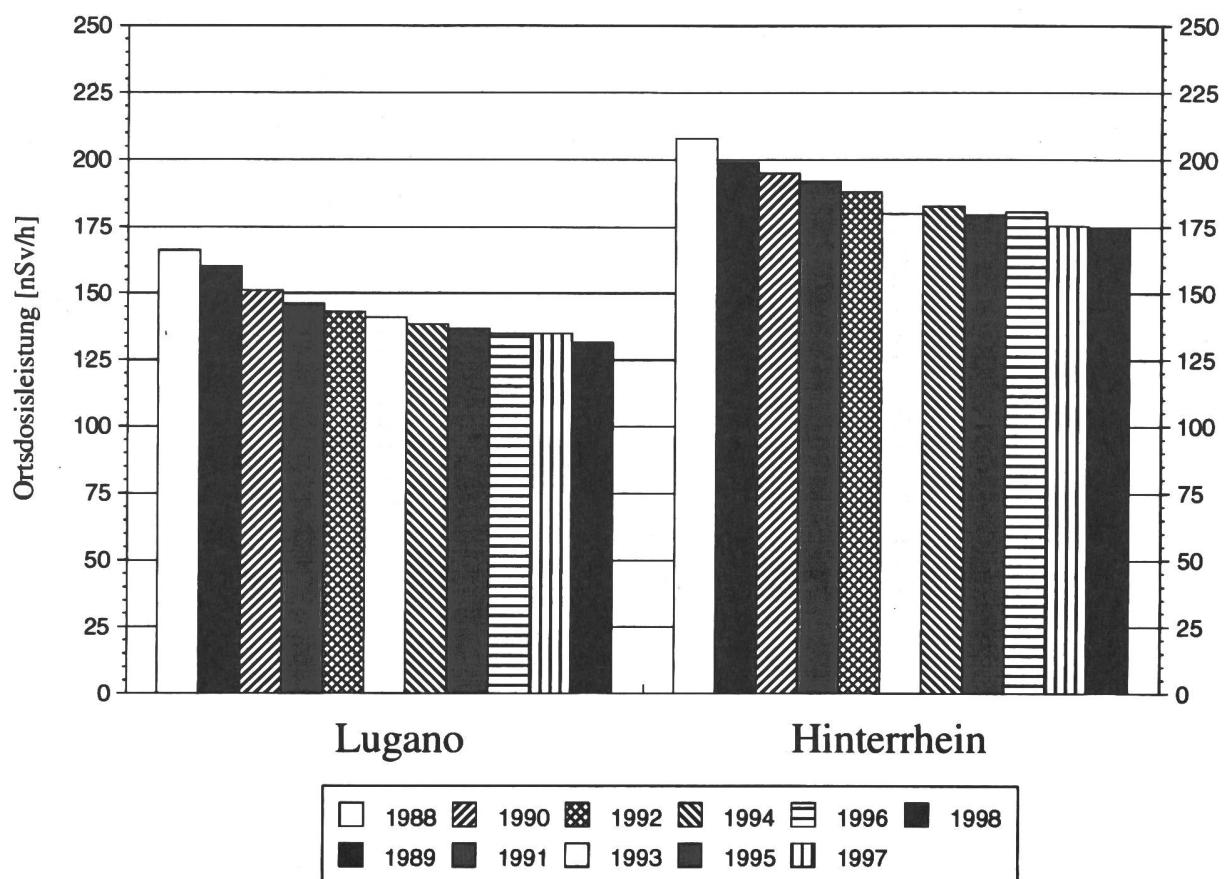


Fig. 2: Verlauf der Erfahrungswerte für zwei ausgewählte Stationen 1988-97.

3.3 Aeroradiometrische Aufnahmen in der Schweiz

B. Bucher, L. Rybach, Chr. Bärlocher Forschungsgruppe Geothermie und Radiometrie,
Institut für Geophysik, ETH Hönggerberg,
8093 ZÜRICH

G. Schwarz Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen
(HSK), 5232 VILLIGEN-HSK

3.5.1 Zusammenfassung

Aeroradiometrischen Messflüge wurden vom 29. Juni - 3. Juli 1998 nebst den turnusmässen Messungen über den Kernkraftwerken Beznau und Leibstadt sowie über dem Paul Scherrer Institut (PSI) Messflüge auch über dem Piz Giuv (höchste natürliche Radioaktivität in der Schweiz), im Centovalli (erhöhte Cäsium-Werte) und in verschiedenen Gebieten des Wallis (Grenzen zwischen Kristallin und Sedimentdecken) durchgeführt. Zusätzlich wurde ein Messflug im Raum Hombrechtikon mit und ohne mitgeführte Cäsium-Quelle durchgeführt, um zu prüfen, ob eine Quelle zur Kalibration beim Messflug mitgeführt werden kann. Die Resultate im Gebiet der Kernanlagen zeigten keine erhöhte Radioaktivität im Vergleich zu früheren Jahren. Neben den verschiedenen Messflügen wurde auch der Ausbildungsstand des Messteams gefestigt.

3.5.2 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. In der Zeit von 1989 bis 1993 wurde die Umgebung (jeweils rund 50 km²) der schweizerischen Kernanlagen jährlich aeroradiometrisch vermessen. Im Jahre 1994 ging man zu einem Zweijahresrhythmus über, wobei abwechselndweise zwei bzw. drei Gebiete mit Kernanlagen vermessen werden. 1992 und 1995 wurden neue Messgeräte gebaut (16.8 und 4.0 l Detektoren), ebenfalls am Institut für Geophysik der ETH Zürich.

Seit 1994 ist die Aeroradiometrie in die "Einsatzorganisation Radioaktivität" des Bundes integriert. Als mögliche Einsatzfälle stehen Transport- und Industrieunfälle mit radioaktivem Material, KKW-Störfälle und Satellitenabstürze im Vordergrund. Der Einsatz erfolgt unter der Regie der Nationalen Alarmzentrale (NAZ). Unterhalt und Bereitstellung des Messsystems werden weiterhin vom Institut für Geophysik der ETHZ übernommen.

3.5.3 Messeinrichtung

Das 1998 eingesetzte Messsystem verwendet einen NaJ-Detektor mit 16.8 l Volumen. Das Spektrometer weist 256 Kanäle auf und eicht sich selbstständig. Die Steuerung des Systems und die Erfassung und Speicherung der Daten erfolgt mit einem Industrie-PC. Für die Positionierung wird das Global Positioning System (GPS) verwendet. Gleichzeitig mit dem aufgenommenen Spektrum und der Position werden Luftdruck, Außentemperatur, Radarhöhe und Lagewinkel des Helikopters aufgezeichnet (Abbildung 1).

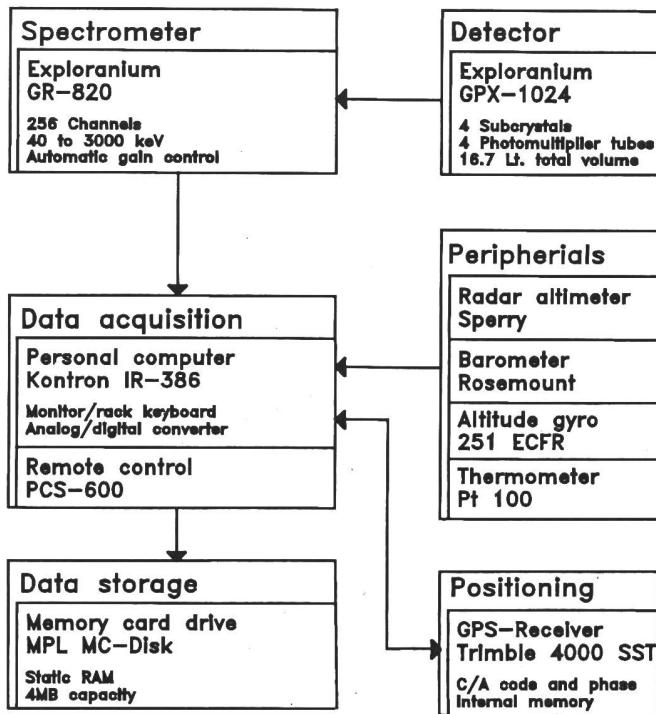


Abb. 1: Schematische Skizze des aeroradiometrischen Messsystems.

Das ganze Messsystem wird bei den Messflügen in einen Super-Puma-Helikopter der Armee eingebaut. Dieser Helikoptertyp bietet sehr gute Navigationsmöglichkeiten und erlaubt durch seine Blindflugtauglichkeit auch Notfalleinsätze bei schlechtem Wetter.

Messflüge

Der Vorteil von gammaspektrometrischen Messflügen liegt in der grossen Geschwindigkeit, mit der ein grosses Messgebiet abgedeckt werden kann. Es ist mit der Aeroradiometrie auch möglich in unzugänglichen Gebieten Messungen durchzuführen.

Um das Messgebiet gleichmässig abzudecken, werden die Flüge in einem regelmässigen Raster durchgeführt. Das Raster besteht aus parallelen Fluglinien, die je nach Aufgabenstellung zwischen 100 – 500 m auseinander liegen. Die Flughöhe wird nach Möglichkeit konstant bei 90 m über Grund gehalten.

Kalibration

Für die Umrechnung der gemessenen, detektorspezifischen Zählraten in allgemeine Einheiten wie Dosis oder nuklidspezifische Aktivitäten wird die Ausbeutekurve (efficiency curve) und die Empfindlichkeit (sensitivity) des Detektors benötigt. Die Ausbeutekurve, welche das Verhältnis von einfallenden zu registrierten Gammaquanten in Abhängigkeit der Energie angibt, wurde mit Hilfe von Steigflügen über Punktquellen ermittelt. Die Detektorempfindlichkeit wurde einerseits theoretisch mit Hilfe von Modellrechnungen und andererseits durch Vergleiche von gammaspektrometrischen Luft- und Bodenmessungen hergeleitet (Schwarz, 1991). Für eine Flughöhe von 100 m ergeben sich die in Tabelle 1 aufgeführten Empfindlichkeiten, mit denen die korrigierten Counts per second (cps) in nuklidspezifische Aktivitäten

(Bq/kg) im Boden umgerechnet werden können. Daraus können die Dosisleistungsbeiträge (nSv/h) der einzelnen Radionuklide in einer Höhe von 1 m über Grund bestimmt werden (Umrechnungsfaktoren nach Murith & Gurtner, 1993). Mit Vergleichen von gammaspektrometrischen Boden- und Luftpunktmessungen wird die Kalibration von Zeit zu Zeit überprüft. Die Genauigkeit der berechneten Werte liegt für die natürlichen Radionuklide zwischen 20 und 30 %, für ^{137}Cs bei 50 %.

Tabelle 1: Experimentell bestimmte Detektorempfindlichkeit in 100 m über Grund (nach Schwarz et al., 1995).

Fenster	Radionuklid	Aktivität [Bq/kg]	Erzeugte Dosisleistung [nSv/h]	Empfindlichkeit z [cps]
Caesium	^{137}Cs	100	17	50
Kalium	^{40}K	100	5	12
Uran	^{234}Bi	100	51	25
Thorium	^{208}Tl	100	71	60

Auswertung

Die Auswertung der erfassten Daten erfolgt mit dem Software-Paket 'Gamero'. Ihm liegt das in Schwarz (1991) beschriebene Auswerteverfahren für aeroradiometrische Daten zugrunde. Bei Vergleichen von aeroradiometrischen Messungen mit gammaspektrometrischen Bodenmessungen ist die unterschiedliche räumliche Auflösung der beiden Methoden (Aeroradiometrie: Der Messwert entspricht einem Mittelwert über Gebiet von 300x300 m; Bodenmessung: abgedeckte Fläche von ca. 10x10 m) zu beachten.

3.5.4 Flugaufnahmen 1998

Aeroradiometrischen Messflüge wurden vom 29. Juni - 3. Juli 1998 hatten nebst den turnusgemässen Messungen über den Kernkraftwerken Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) sowie den beiden PSI Messflüge über dem Piz Giuv/GR (höchste natürliche Radioaktivität in der Schweiz), im Centovalli/TI (erhöhte Cäsium-Werte) und in verschiedenen Gebieten des Wallis (Grenzen zwischen Kristallin und Sedimentdecken) durchgeführt. Zusätzlich wurde ein Messflug im Raum Hombrechtikon/ZH mit und ohne Cäsium-Quelle durchgeführt, um zu prüfen, ob eine Quelle zur Kalibration beim Messflug mitgeführt werden kann. Die Messflüge standen unter der Leitung von Dr. D. Frei (NAZ).

Im Auftrag der HSK wurden die beiden Messgebiete KKB und KKL bereits mehrmals vermessen. Im Jahre 1998 testeten die Piloten für die Messungen ein neues Navigationsverfahren. Dabei wurde ein portabler GPS-Empfänger eingesetzt, in dem die Fluglinien vorgängig programmiert werden können. Aus technischen Gründen wurden deshalb in den Messgebieten Linienabstände von 235 m gewählt. In Abbildung 2 ist die totale Zählrate im Messgebiet der KKW Beznau und Leibstadt dargestellt. Das KKL, 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 aus der Luft gut detektiert werden. Das KKB konnte 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. Während das PSI Ost aus der Luft anhand der erhöhten Zählraten, verursacht durch gelagerte radioactive Abfälle, klar erkannt werden konnte, war das PSI West anhand der Total Counts nur schwer zu identifizieren.

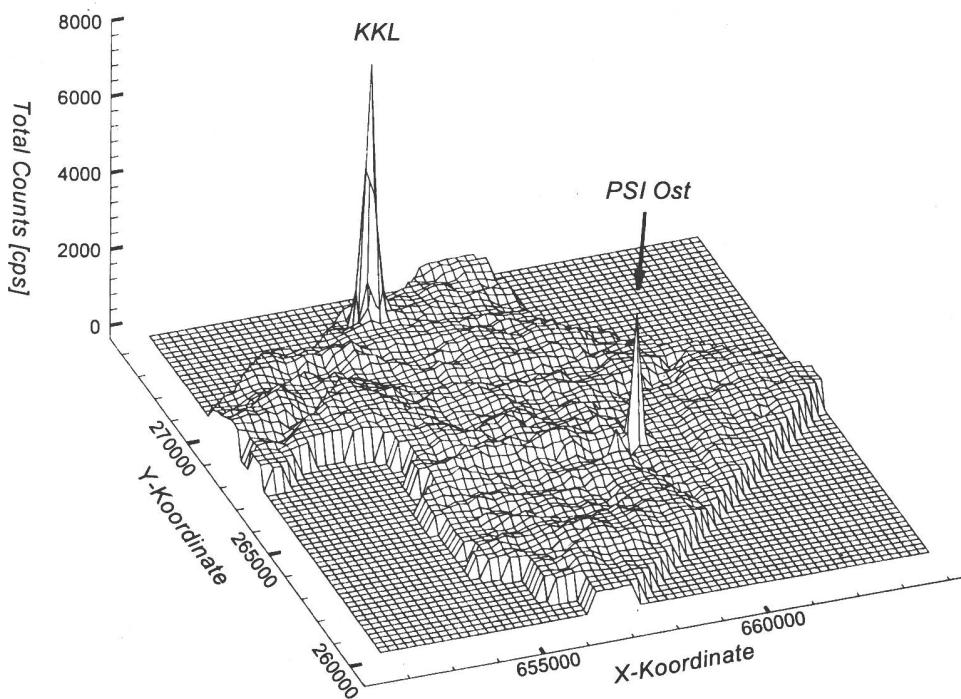


Abb. 2: 3D-Darstellung der totalen Zählrate [cps] im Messgebiet KKL/KKB/PSI. Die Karte stellt den Blick nach Nordosten dar. Die Y-Achse entspricht der Nordrichtung. Das Maximum beim KKL wird durch die gestreute ^{16}N -Strahlung verursacht.

Ausserhalb der umzäunten Areale der Kernanlagen konnte keine erhöhte künstliche Radioaktivität nachgewiesen werden die nicht durch Tschernobyl oder die Kernwaffenversuche der sechziger Jahre erklärt werden kann. Der Aktivitätspegel in der Umgebung ist über die letzten Jahre etwa konstant geblieben.

In den alpinen Messgebieten hängt der Erfolg der Messungen stark vom Wetter ab. So erschwerten Wolken den Messflug Piz Giuv, was aus Sicherheitsgründen teilweise zu sehr grossen Flughöhen führte. Trotzdem konnten bei den Messungen im Gebiet des Piz Giuv die erhöhten Konzentrationen an natürlichen, radioaktiven Isotopen im Syenit gemessen und seine Ausdehnung bestimmt werden. Beim Messflug im Centovalli konnten die erhöhten Cäsiumwerte (Niederschlag vom Reaktorunfall in Tschernobyl), die aufgrund von in der Nähe durchgeföhrten Bodenmessungen erwartet wurden, bestätigt werden. Im Summenspektrum des Messfluges Centovalli ist der ^{137}Cs -Peak deutlich zu erkennen und ist bedeutend grösser als derjenige im Summenspektrum des Messfluges Piz Giuv (Abbildung 3). Flughindernisse und schwierige Navigationsverhältnisse verunmöglichten jedoch einen optimalen Flug, so dass bei Gelegenheit eine erneute Befliegung in Betracht gezogen wird. In den diversen Gebieten im Wallis konnten die geologisch bedingten Unterschiede in der natürlichen Radioaktivität kartiert werden.

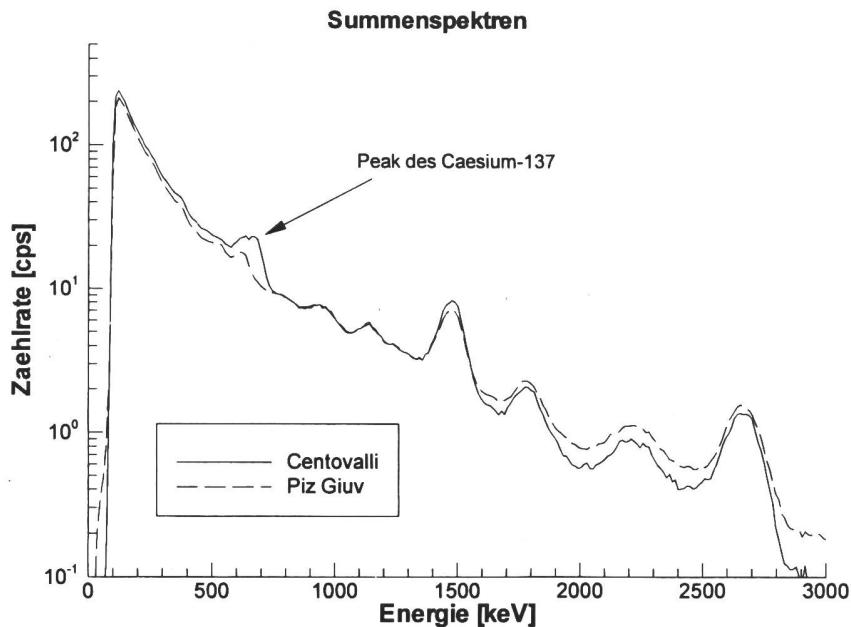


Abb. 3: Summenspektren der Messflüge Centovalli und Piz Giuv. Der ^{137}Cs -Peak ist im Spektrum des Messfluges Centovalli deutlich zu erkennen.

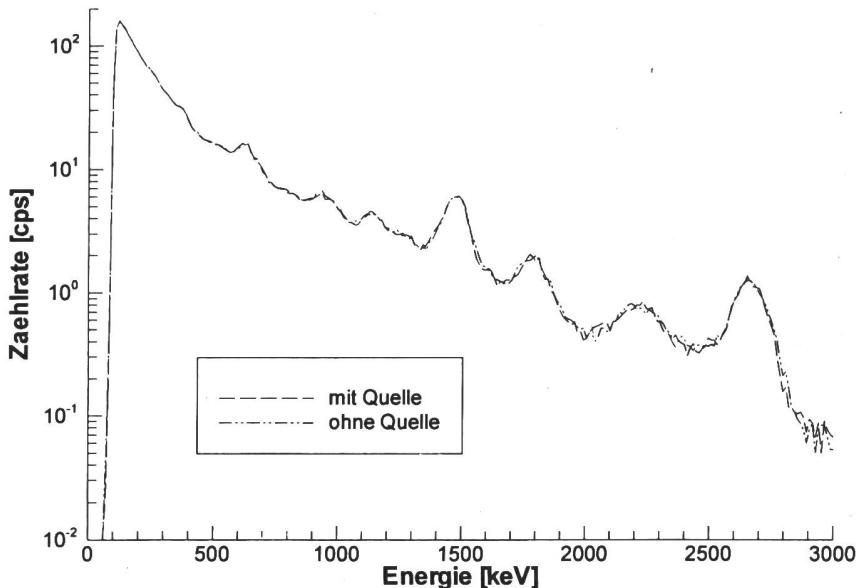


Abb. 4: Summenspektren der Flüge mit und ohne Cäsium - Quelle an Bord des Helikopters.

Der Vergleichsflug mit und ohne Cäsium - Quelle an Bord des Helikopters (ganz hinten im Heck) in einem Gebiet bei Hombrechtikon zeigte auf, dass eine auf diese Weise mitgeföhrte Quelle die Messungen nicht beeinflusst. Die in Abbildung 4 dargestellten Summenspektren der beiden Flüge zeigen keine signifikanten Unterschiede.

3.5.5 Perspektiven

Die Arbeiten zur Weiterentwicklung des aeroradiometrischen Equipment und der zugehörigen Software laufen im Rahmen einer Dissertation an der ETH Zürich weiter. Bei den jährlichen Messflügen 1999 ist ein gemeinsamer Messflug mit dem Aeroradiometrie - Team des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) aus Deutschland im Schwarzwald geplant. Er soll die Zusammenarbeit mit den deutschen Kollegen fördern und die Vergleichbarkeit der Resultate überprüfen. Ein solcher Vergleich kann Hinweise zu einer möglichen Standardisierung der aeroradiometrischen Messungen geben, die auch im Rahmen des EU - Projektes ECEAGS ("European Coordination of Environmental Airborne Gamma Spectrometry") angestrebt wird. 1999 wird auch eine engere Zusammenarbeit mit H. Mellander vom Schwedischen Strahlenschutzinstitut in Stockholm (SSI) erfolgen.

3.5.6 Literatur

- [1] BUCHER, B., SCHWARZ, G.F., RYBACH, L., BAERLOCHER, CHR., 1999: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM98. Bericht für das Jahr 1998 zuhanden der Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR). Interner Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich.
- [2] MURITH, C., GURTNER, A., Mesures in situ et irradiation externe, In: „Umweltradioaktivität in der Schweiz“, jährliche Berichte 1990, 1991, 1992 und 1993, BAG-Bericht. Bundesamt für Gesundheitswesen, Abteilung Strahlenschutz, Bern.
- [3] SCHWARZ, G.F., 1991: Methodische Entwicklungen zur Aerogammapektrometrie. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geophysik Nr.23, Schweizerische Geophysikalische Kommission.
- [4] SCHWARZ, G.F., RYBACH, L., 1995: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM94. Bericht für das Jahr 1994 zuhanden der Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR). Interner Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich.

3.4 Die natürliche Strahlung in der Schweiz

H.U. Johner

Sektion Ueberwachung der Radioaktivität
Chemin du Musée 3, 1700 FRIBOURG

3.4.1 Einleitung

Der Mensch ist seit Urzeiten der terrestrischen und kosmischen Strahlung ausgesetzt. Diese beiden Strahlenkomponenten sind i. a. recht gut bekannt. In der Schweiz wurden sie aber noch nie flächendeckend und im Zusammenhang mit der Zivilisation bestimmt. Aus diesem Grund wurden im Rahmen des BAG-Projektes „Natürliche Strahlung in der Schweiz“ Dosisleistungsmessungen ausgeführt. In einer ersten Phase wurden in der Region Freiburg systematische Messungen gemacht, um Einflüsse wie Baumaterial, Bauweise und Besiedlungsdichte zu erfassen. Simulationsrechnungen dienten der Verifikation der erhaltenen Resultate und der Unterscheidung der verschiedenen Komponenten der Strahlung. Die ersten statistischen Auswertungen dienten der Planung des weiteren Vorgehens. Um die geographische Verteilung zu ermitteln, wurden in der ganzen Schweiz Messungen ausgeführt. In einer letzten Phase wurden bei einer Vielzahl von Häusern im Freien und im Innern gemessen. Die zivilisatorischen Einflüsse auf die natürliche Exposition konnten so abgeschätzt werden.

3.4.2 Systematische Messungen in der Region Freiburg

Messungen in einem im Bau befindlichen Haus sollten den Einfluss der Baumaterialien klären. Es zeigte sich, dass Backstein einen grösseren Beitrag leistet als Beton. Dies ist darauf zurück zu führen, dass der Radionuklidgehalt im Lehm höher ist als im Beton. Dieser Unterschied ist in der Region Freiburg deutlicher ausgeprägt als anderswo, da der Beton besonders niedrige Werte aufweist. Tabelle 1 zeigt einen Vergleich zwischen der Region Freiburg, der Schweiz und einigen anderen Ländern.

Tabelle 1: Vergleich zwischen den Radionuklidgehalten der Baumaterialien im Kanton Freiburg, in der Schweiz und im Ausland: Durchschnittswerte bzw. Wertebereiche (Italien).

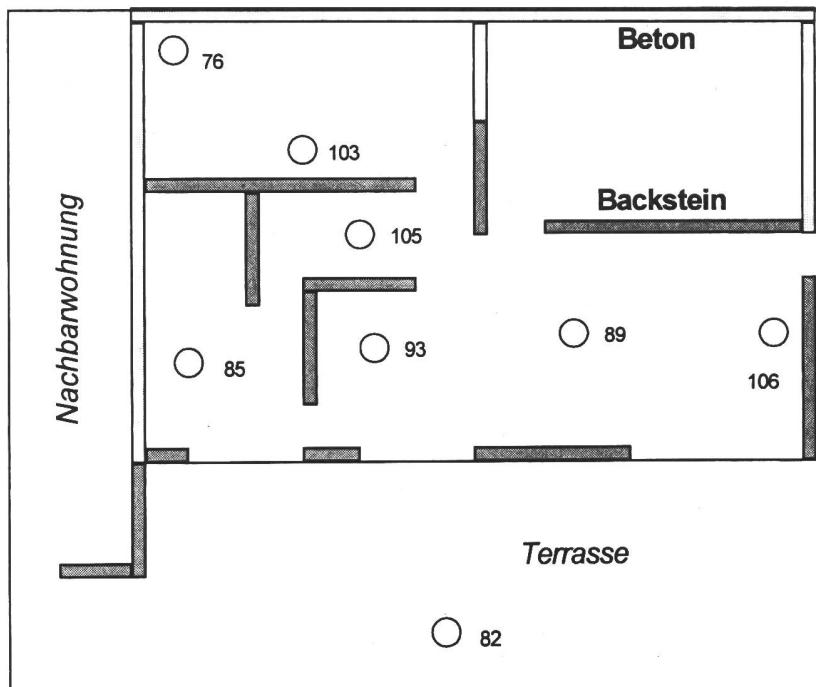
Land	Backstein			Beton			Quelle
	U	Th	K	U	Th	K	
Kanton Freiburg	57	52	825	14	8	137	SUER
Schweiz	46	46	708	27	19	405	[6]
eh. DDR	49	48	745	30	23	452	[1]
Deutschland	59	67	673	15	15	259	[2]-[6]
Italien a)	28-81	40-148	365-1060	10-100	10-240	4-780	[3]
Niederlande	39	41	560	10	13	140	[6]
Schweden	96	127	962	48	73	818	[6]
USA	44	43	525	15	16	216	[6]
Griechenland	47	24	668	46	7	246	[4]
Österreich	39	52	514	24b)	19b)	355b)	[5]
	—	—	—	44c)	39c)	418c)	[5]

a) Die für Italien angegebenen Variationsbereiche gelten entsprechend auch für die anderen Länder

b) Berechnet aus Gesteinsproben

c) Blähbeton

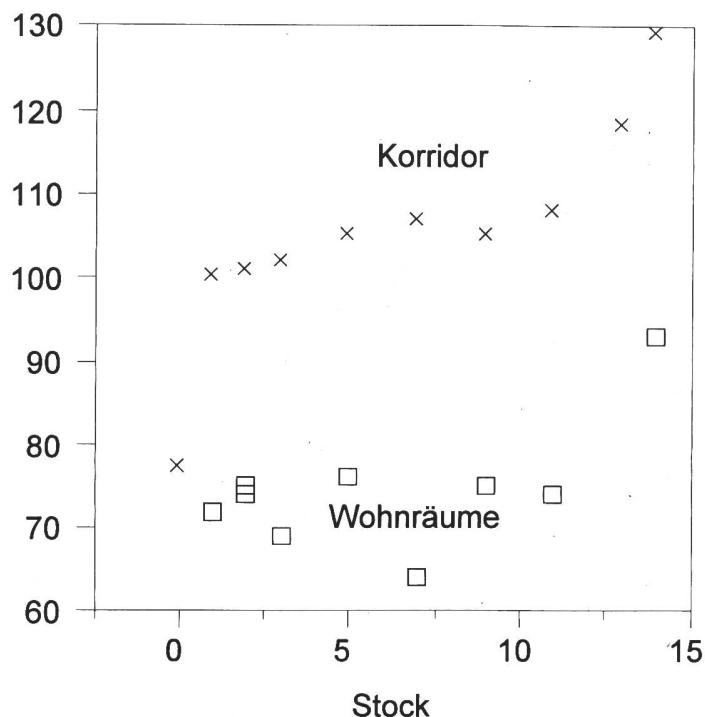
Figur 1 verdeutlicht, dass das Strahlungsfeld in den oben genanntem Haus inhomogen ist. An den Backsteinwänden findet man deutlich höhere Werte als in der Raummitte. Dies ergibt eine erste Konsequenz für das weitere Vorgehen. Es wurde auf die einfacheren Messungen mit Thermo-Lumineszenz-Dosimetern (TLD) verzichtet, da die Plazierung an den effektiven Aufenthaltsorten der Bewohner schwierig ist. Statt dessen wurden die Hausbewohner besucht, nach den häufigsten Aufenthaltsorten befragt und dort eine Kurzzeitmessung mit einem registrierenden Gerät ausgeführt. Im Allgemeinen führte dies zu einer Messung in der Küche, im Wohnzimmer und im Schlafzimmer. Dabei wurde das Messgerät auf den entsprechenden Möbeln plaziert.



Figur 1: Dosisleistung im Innern eines Neubau-Hauses (nSv/h).

An den Messwerten in mehrstöckigen Häusern kann die Schwächung der kosmischen Strahlung durch Absorption beobachtet werden, Figur 2. Besonders ausgeprägt ist dieser Effekt in den obersten Stockwerken, wo der weiche Anteil durch Betondecken vollständig absorbiert wird. Besonders bei Einfamilienhäusern ergeben sich dadurch Differenzen zwischen den Stockwerken und es ist daher sinnvoll an den Aufenthaltsorten der Bewohner gemessen werden.

Ionisationskammer nSv/h



Figur 2: Messung der Dosisleistung mit einer Ionisationskammer in Korridor und Wohnräumen eines 14-stöckigen Gebäudes in Freiburg.

Eine Ausdehnung der Messungen auf mehrere Gemeinden diente einer ersten statistischen Analyse. Einerseits zeigte sich eine grosse Streuung der Messwerte, was anhand der Figur 2 auch zu erwarten ist. Andererseits ergaben sich folgende Erkenntnisse:

- In Fabrikgebäuden liegt die Dosisleistung tiefer als der Durchschnitt, in Ein- und Zweifamilienhäusern etwas höher. Die niedrigeren Werte in Fabrikgebäuden sind auf die häufige Verwendung von Beton und Leichtbaumaterialien sowie das grössere Gebäudevolumen zurückzuführen.
- In der Agglomeration sind die Werte im Freien gegenüber dem freien Feld nur leicht erhöht, d.h. im Freien sind die zivilisatorischen Einflüsse nur gering.
- Das Verhältnis der Dosisleistung im Innern zu derjenigen im Freien, der sogenannte Housingfactor, liegt in der Region Freiburg in allen Gemeinden bei etwa 1.2. Die Messungen im Freien erlauben somit eine Abschätzung der Dosen im Innern.
- In einer Region, Gemeinde, Bezirk oder Kanton müssen 10 bis 20 Messungen ausgeführt werden, um bei einer einfacher Standardabweichung eine Präzision von 10% zu erreichen.

Die notwendige Anzahl der Messungen für ein Gebiet führte zu der Erkenntnis, dass höchstens bis auf Bezirksebene genügend Messungen ausgeführt werden konnten. Die Kantone waren jedoch sehr gut erfassbar.

3.4.3 Flächendeckende Messungen im Freien

In einem nächsten Schritt wurden in der ganzen Schweiz Messungen im Freien ausgeführt. Dabei wurden pro Kanton ein Standardfehler von 10 nSv/h angestrebt. Die regionale Verteilung ergab keine Überraschungen, da aus „geologischen“ Studien viele Werte bekannt waren. Es ergaben sich auch keine signifikanten Unterschiede zwischen Messungen in- und ausserhalb von Agglomerationen. Dazu ist zu bemerken, dass die Messungen ausserhalb von Agglomerationen nicht in abgelegenen Gebieten gemacht wurden. Aus diesem Grund liegen die Werte dieser bevölkerungsbezogenen Kampagne tendenziell tiefer, als jene von Standorten, die aus "geologischen" Aspekten ausgewählt werden.

3.4.4 Messungen im Hausinnern

In den meisten Kantonen wurde auch im Wohnbereich gemessen. Es zeigte sich eine deutliche Korrelation zwischen den Werten im Freien und im Innern. Die Werte im Innern liegen um ca. 10 % höher. Erstaunlicherweise kann im Mittel die Dosisleistung im Innern mit einer Genauigkeit von 16% aus derjenigen im Freien berechnet werden. Weitere Grössen, wie Baumaterial, Stockwerk etc., wurden in eine statistische Modellierung einbezogen. Dies ergab aber keine deutliche Verbesserung der Vorhersage.

3.4.5 Mittlere jährliche Dosis

Aus den Messwerten Innen und Aussen wurde die mittlere jährliche Exposition der Schweizer Bevölkerung berechnet. Da die Messpunkte nicht regelmässig über die Schweiz verteilt sind und die Bevölkerungsdichte stark variiert wird eine Gewichtung nach Aufenthaltswahrscheinlichkeit in den verschiedenen Räumen, Bevölkerung pro Bezirk und Haustyp vorgenommen. Für die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten wurde folgende Annahme gemacht:

8.4 h pro Arbeitstag in einem Arbeitsraum 20 % im Freien 8 h pro Tag im Schlafzimmer Rest: 5.3 h pro Tag in Wohnzimmer oder Küche	= 42 h/Woche = 34 h/Woche = 56 h/Woche = 36 h/Woche	= 25 % = 20 % = 33 % = 22 %
Total	= 168 h/Woche	= 100 %

Im Kanton Tessin wurde die Kontamination durch den Unfall Tschernobyl durch Subtraktion von 10 nSv/h berücksichtigt [Murith].

Dosisleistung gemittelt im Hausinnern: (103 ± 2 stat. ± 5 syst.) nSv/h

Dosisleistung im Freien: (89 ± 2 stat. ± 5 syst.) nSv/h

Mit 20 % Aufenthalt im Freien ergibt sich eine mittlere Exposition von 100 nSv/h (statistischer Fehler ± 2, systematischer Fehler ± 4 nSv/h). Dies entspricht einer

Natürlichen Strahlenexposition von **0.87 ± 0.05 mSv/a.**

Der systematische Fehler durch die Gewichtung wurde aus den Differenzen abgeschätzt, die sich ergeben, wenn nach der Bevölkerung pro Gemeinde, Bezirk oder Kanton gewichtet wird.