

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:	- (1999)
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 1999 Ortsdosen zwischen 68 und 115 nGy/h¹⁾ (entsprechend 0.6 bis 1.0 mSv/Jahr) wobei der natürliche Anteil 60 bis 100 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 200 Bq/kg entsprechend 33 nSv/Stunde gemessen wurden.

Die externen Ortsdosen werden im auch durch das automatische Warn- und Überwachungsnetz NADAM mit 58 Stationen im ganzen Lande überwacht (Kap. 3.3.). 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 0.74 und 1.12 mSv/Jahr, in den Alpen und Südalpen zwischen 0.95 und 1.83 mSv/Jahr. 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.

Mit einem Nal-Gamma-Spektrometer an Bord eines Super-Puma-Helikopters der Armee (Aeroradiometrie) werden jedes Jahr ausgewählte Gebiete vermessen. Dabei wird das zu untersuchende Gebiet in einem Raster aus parallelen Fluglinien (je nach Aufgabenstellung 100 bis 500 auseinander) in einer Höhe von rund 100 m abgeflogen. Mit einem Auswerteprogramm wird danach eine Strahlenkarte des beflogenen Gebietes erstellt. Die 1999 vermessenen Gegenden waren die Umgebung der Kernanlagen Mühleberg, Gösgen, die deutsche Seite beim Kernkraftwerk Leibstadt, Die Umgebung des ehemaligen Versuchsreaktors Lucens/VD sowie verschiedene Gebiete im Tessin und - in einer gemeinsamen Übung mit einer deutschen Gruppe des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) - ein Gebiet im Schwarzwald. Bei den Siedewasserreaktoren Leibstadt und Mühleberg ist die ^{16}N -Strahlung - diese ist zwar zur Seite, nicht aber nach oben abgeschirmt - messbar, beim ehemaligen Reaktor Lucens ist noch zwischengelagertes, radioaktives Material nachweisbar, das demnächst in's ZZL bei Würenlingen abtransportiert werden soll. Im Tessin wurden Hot-Spots der Tschernobyl-Ablagerungen erfasst. Die Messungen im Schwarzwald (bei der ehemaligen Uranerzgrube Krunkelbach bei Menzenschwand) diente der Überprüfung der Methode und dem praktischen Vergleich der in beiden Ländern verwendeten Instrumente und Auswerteprogramme. Paralle dazu wurden am Boden Messungen mit dem in-situ-Gammaspektrometer durchgeführt.

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	Centre pour la radioactivité de l'environnement, SUER/OFSP 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. D'autre part, les résultats des mesures de spectrométrie gamma effectuées en laboratoire sur des échantillons de sol sont fortement conditionnés par la représentativité, la qualité et la préparation du prélèvement et ne donnent qu'une information très ponctuelle dont l'interprétation en terme d'exposition ambiante est sujette à caution. 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 et réaliste l'impact moyen des contaminations sur l'exposition ambiante dans un site 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 ^{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* 1999 n'ont signalé aucune valeur susceptible de représenter un risque pour la santé du public. Sur le plan international 1999 a été marqué par l'engagement de spécialistes suisses de spectrométrie gamma *in situ* en Forêt Noire et dans la zone d'exclusion de Tchernobyl.*

3.1.2. Méthodologie *in situ*

L'exploitation de la spectrométrie gamma *in situ* en Suisse se base sur les recommandations ICRU. 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 hors 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.

3.1.3. Résultats in situ

Les niveaux des concentrations des radionucléides naturels identifiés par spectrométrie gamma in situ et leur contribution respective à l'exposition ambiante (descendants compris) sont indiqués (fig. 1) pour les sites suisses examinés en 1999. 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
⁴⁰ K	360 ± 100	230 - 610	15 ± 4	9 - 26
²³² Th	23 ± 4	16 - 34	14 ± 2	9 - 21
²³⁸ U	25 ± 5	18 - 39	12 ± 2	8 - 18

Pour le ¹³⁷Cs (fig. 2), l'estimation de l'inventaire en Bq/m² est fortement liée à l'incertitude sur le paramètre de relaxation massique par unité de surface β (g/cm²), qui décrit le modèle de distribution exponentielle avec la profondeur. A titre d'exemple les domaines des concentrations et des débits d'exposition ambiante correspondants pour les mesures in situ 1999 indiquent les valeurs suivantes selon le modèle de distribution du ¹³⁷Cs dans le sol:

distribution en surface ($\beta = 0$ ¹⁾):	150 – 6300	Bq/m ²	0.4 – 17	nGy/h
distribution exponentielle ($\beta = 1$):	265 – 11100	Bq/m ²	0.5 – 19	nGy/h
distribution exponentielle ($\beta = 10$):	800 – 33000	Bq/m ²	0.6 – 25	nGy/h
distribution exponentielle ($\beta = 100$):	5300 – 222600	Bq/m ²	0.7 – 31	nGy/h
distribution homogène ($\beta \sim \text{infini}$):	5 – 210	Bq/kg	0.8 – 35	nGy/h

Si l'influence de β est considérable en terme de Bq/m², l'écart en terme de nGy/h est au maximum d'un facteur 2 entre les cas extrêmes de distribution (en surface pour une contamination plane idéale et homogène lorsque la contamination est homogénéisée sur la profondeur). Néanmoins l'évaluation des radionucléides artificiels sous l'hypothèse d'une distribution homogène dans le sol, analogue à celle admise pour les radionucléides primordiaux, suffit en première approche à la détection sensible des contaminations et permet aussi d'en suivre le comportement [2]. En effet le transfert des contaminations se traduit par une diminution de leur concentration en terme de Bq/kg plus rapide que ne laisse prévoir la demi-vie des nucléides en question et implique un recul correspondant de leur contribution à l'exposition ambiante. Cette démarche a l'avantage de mettre en évidence de faibles apports artificiels directement comparables aux concentrations des radionucléides d'origine naturelle tout en majorant par précaution l'exposition ambiante qui en résulte.

La distinction des contributions individuelles à l'exposition ambiante (fig. 3) repose sur cette méthodologie. L'incertitude sur les résultats reportés dans les différentes figures est de l'ordre de ± 10%. On constate que l'exposition d'origine naturelle prédomine par rapport à celle d'origine artificielle. 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 incombant à Tchernobyl et même aux essais nucléaires s'avèrent plus importants.

1) β = paramètre de relaxation massique par unité de surface en [g/cm²]

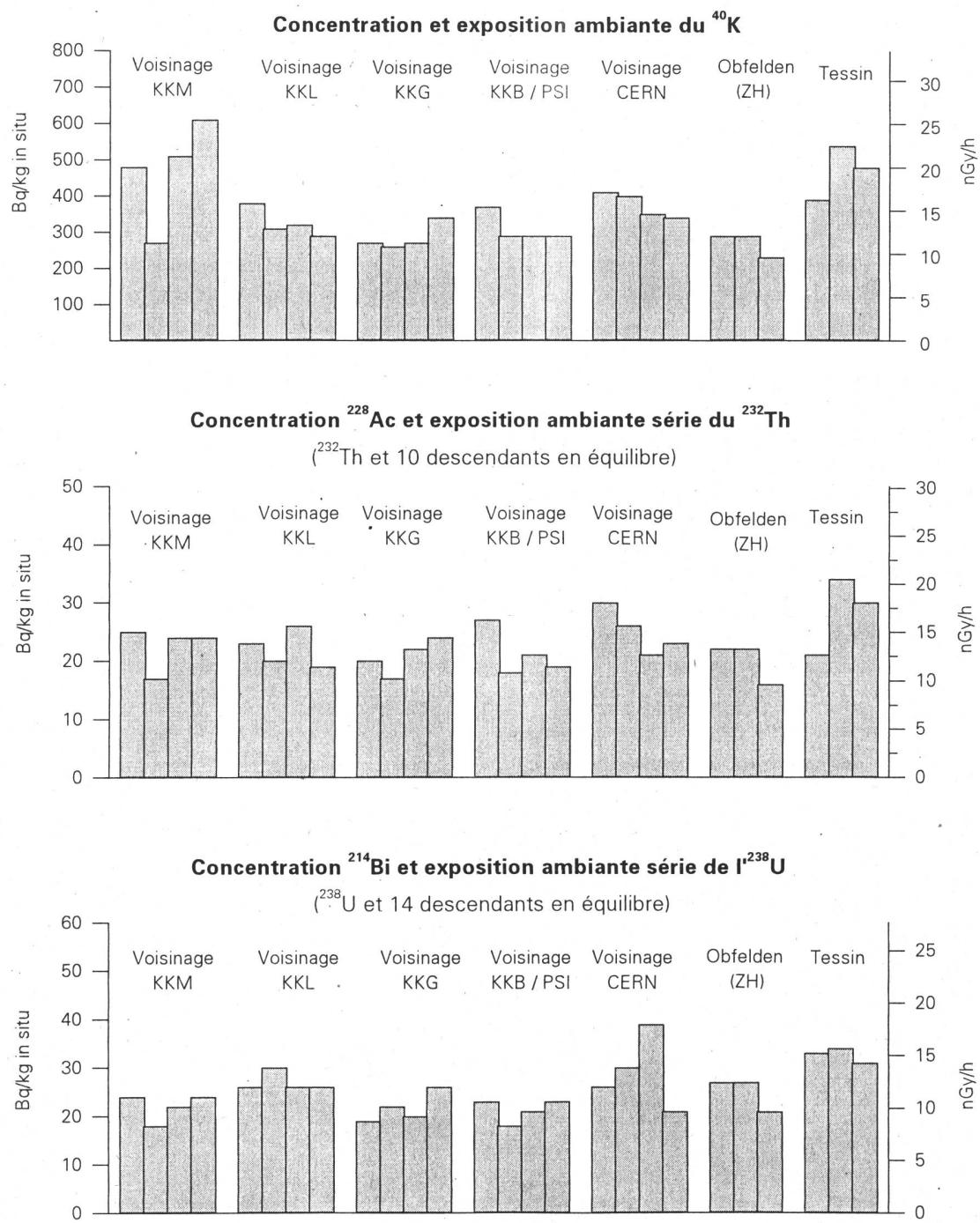
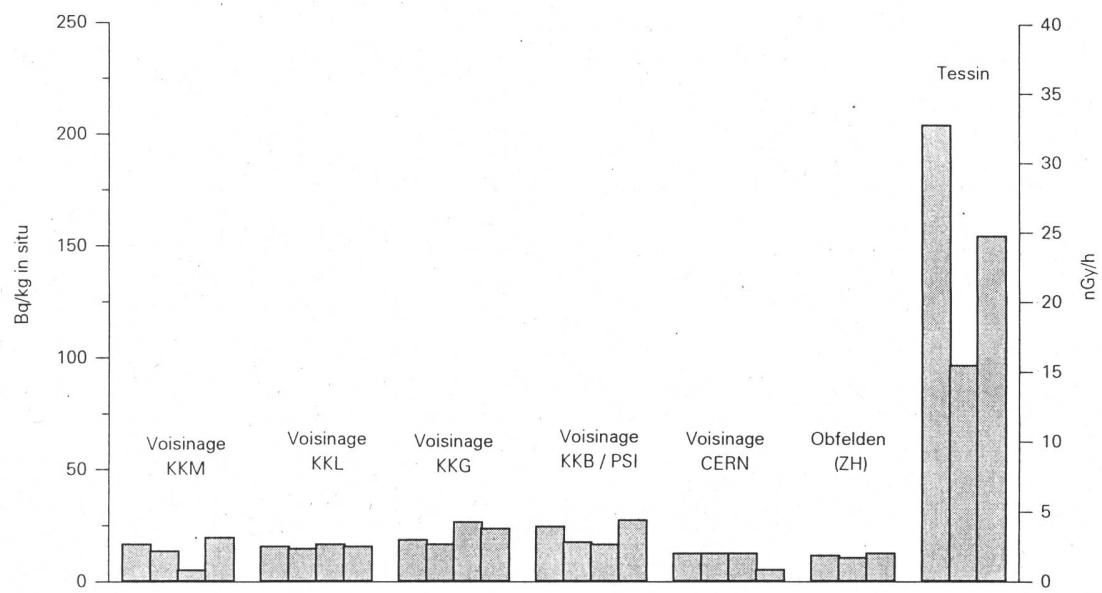


Figure 1: La radioactivité naturelle du sol
(3 – 4 points de prélèvement par site)

Concentration et exposition ambiante du ^{137}Cs pour une distribution homogène



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

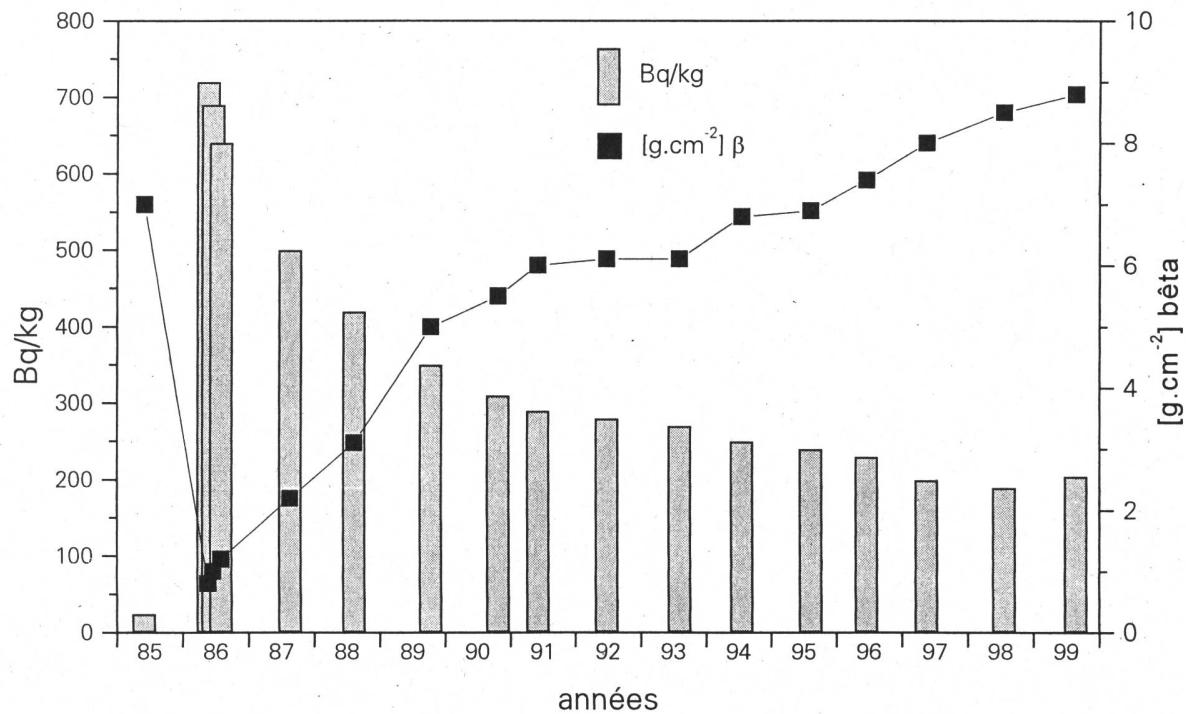


Figure 2: Le ^{137}Cs , dû aux essais nucléaires et à l'accident de Tchernobyl
(β = paramètre de relaxation massique)

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 voisinage 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 (plus de 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 1999 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 dans les sites non influencés par le rayonnement direct d'une installation (cf. 8.3.). Sur la base des sites examinés en 1999 (fig. 3), l'exposition ambiante occasionne au maximum, pour 20% de séjour en plein air, 170 μSv d'origine naturelle respectivement 60 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.

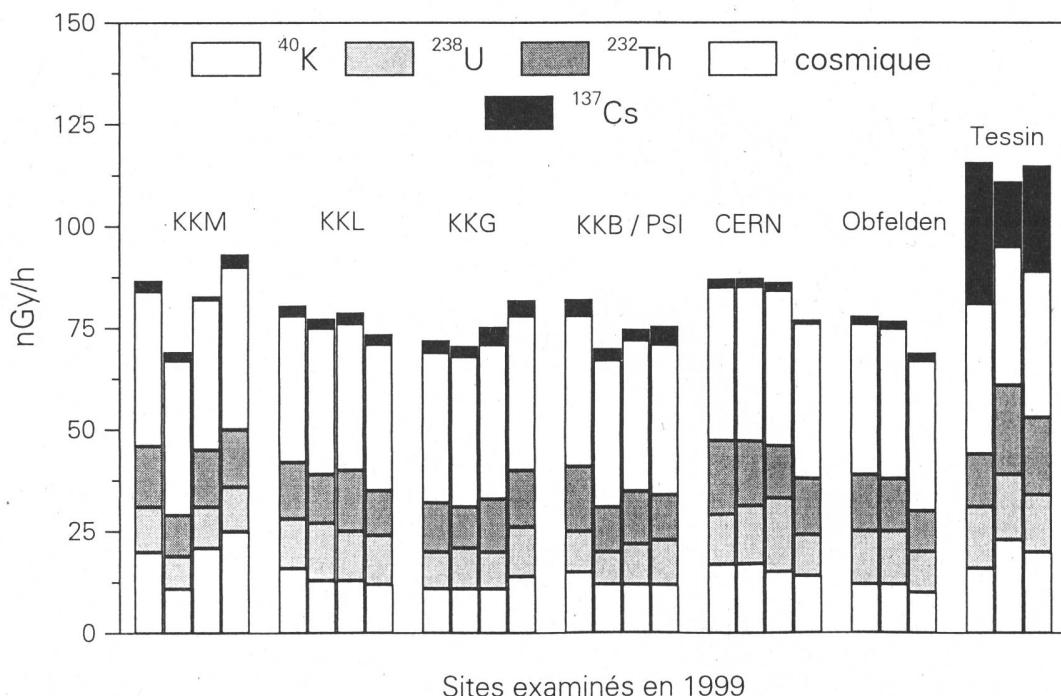


Figure 3: La spectrométrie gamma in situ: les contributions individuelles à l'exposition ambiante

3.1.5. Mesures à l'étranger

Mesures in situ en Forêt Noire

A l'occasion de l'exercice germano-suisse de cartographie aéroradiométrique, le survol de la région sud de la Forêt Noire le 23.6.99 a mis en évidence une singularité attribuable à une ancienne mine d'uranium. Au sol, l'équipe de spectrométrie gamma in situ de l'OFSP a précisé les concentrations des différents radionucléides impliqués et leur contribution individuelle à l'exposition ambiante 1m au-dessus du sol. Comme le montre la figure 4, la contribution de la série de l'uranium-238 apparaît environ 3 fois plus élevée dans le site influencé par l'exploitation minière par rapport aux sites examinés hors de cette influence.

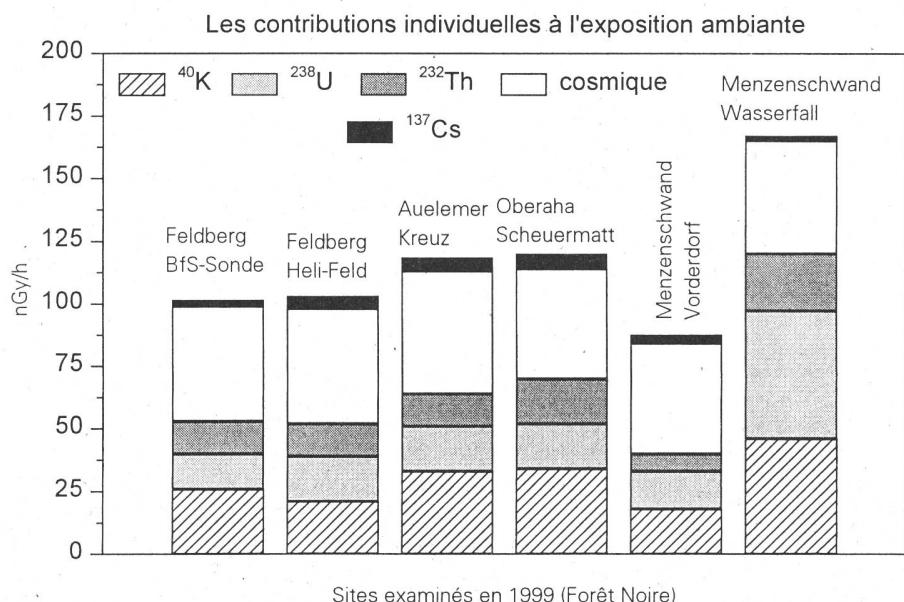


Figure 4: Singularité due à l'exploitation par le passé d'un gisement uranifère dans la région de Mensenschwand (Forêt Noire)

Mesures in situ dans la zone d'exclusion de Tchernobyl

Dans le cadre de l'exercice MORAL12 dans la zone d'exclusion de Tchernobyl, qui a réuni 20 équipes mobiles internationales d'intervention, l'OFSP a pris en charge la direction d'une équipe suisse mixte (DSN, IRA, AC-Spiez et OFSP). Les objectifs principaux ont porté sur:

- le test des procédures de mesures d'urgence dans des conditions réelles
- le test d'exploitation des équipements dans un environnement défavorable
- l'évaluation des performances de la spectrométrie γ in situ en situations difficiles
- la pratique des procédures de radioprotection des travailleurs en zone contaminée
- le test de la capacité des équipes de produire des résultats in situ immédiats
- les développements et les améliorations des contrôles en cas d'urgence

Les participants ont évolué sur 2 sites de la zone Kopachi à l'intérieur du rayon de 5 km de la centrale. Sur le premier, les équipes ont procédé à des mesures de débit d'exposition ambiante, de comptage alpha/bêta, de spectrométrie gamma in situ ainsi qu'à un prélèvement de sol (0-5 cm). Dans cette zone non remaniée, le débit d'exposition ambiante était voisin de 1 à 5 $\mu\text{Gy/h}$ 1 m au-dessus du sol.

Dans le deuxième site un amas de déchets radioactifs (fragments métalliques, graphite...) était enfoui sous du sable. Le débit d'exposition ambiante s'échelonnait de 50 à 300 $\mu\text{Gy/h}$. A ces niveaux, les taux de comptage sont si élevés que les détecteurs sont bloqués (90-100% de temps mort), d'où la nécessité de disposer de collimateur avec blindage de plomb. La figure 5 compare un spectre gamma avec et sans collimation.

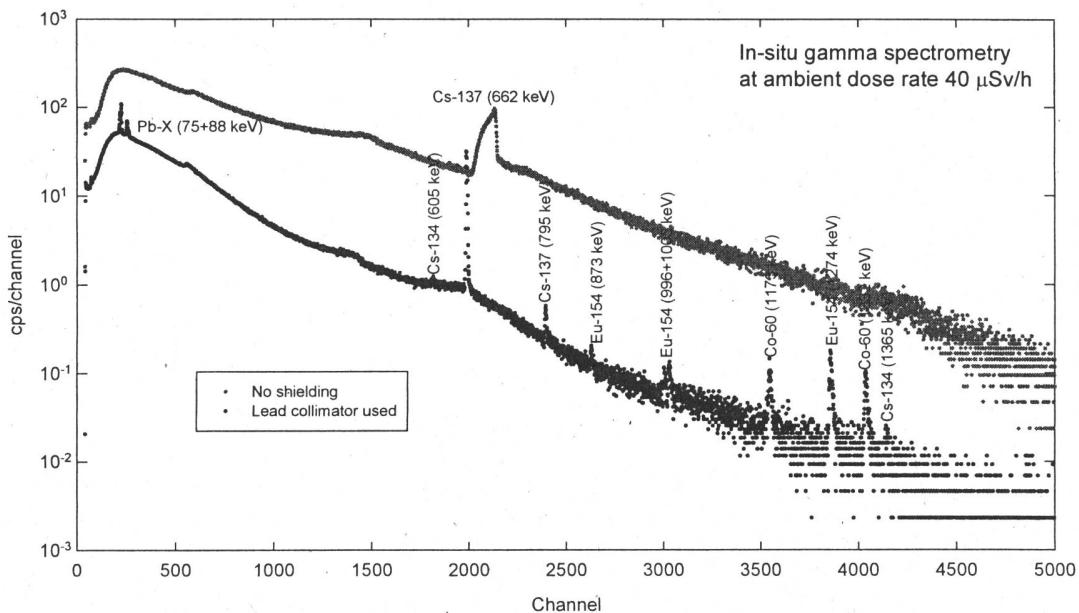


Figure 5:

Courbe supérieure: Spectre in situ avec et sans collimateur en environnement défavorable (40 $\mu\text{Sv/h}$)

Courbe inférieure: HPGe, n-type, 24% efficacité: sans collimateur: temps mort $\sim 80\%$ et FWHM $^{137}\text{Cs} \sim 11 \text{ keV}$ avec collimateur (3 cm de plomb): $\sim 33\%$ de temps mort et 2.4 keV de résolution pour ^{137}Cs

Chaque équipe a également enregistré le débit d'exposition ambiante lors d'un parcours de 20 km à 40 km/h dans la zone d'exclusion y compris en bordure du sarcophage. Les débits d'exposition enregistrés par l'équipe suisse (fig.6) montrent la variabilité selon les zones.

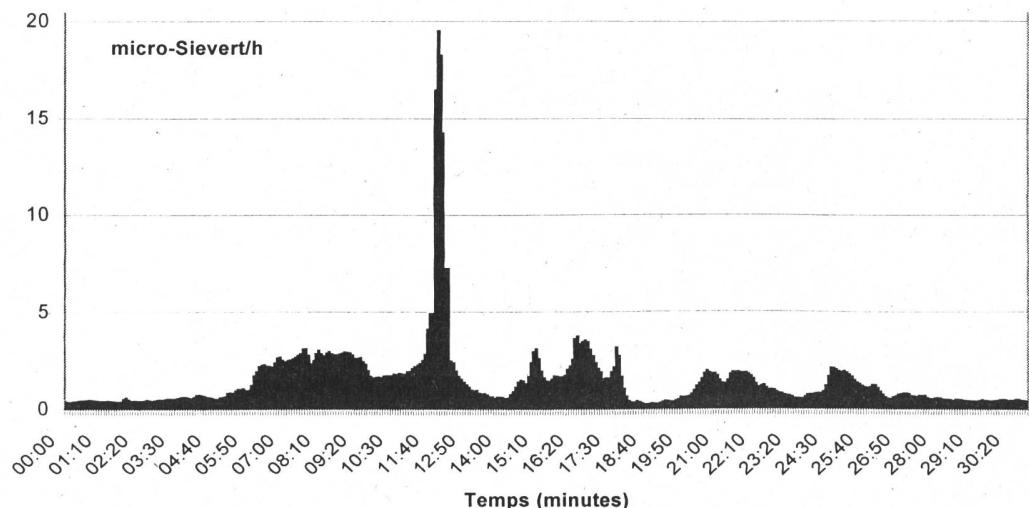
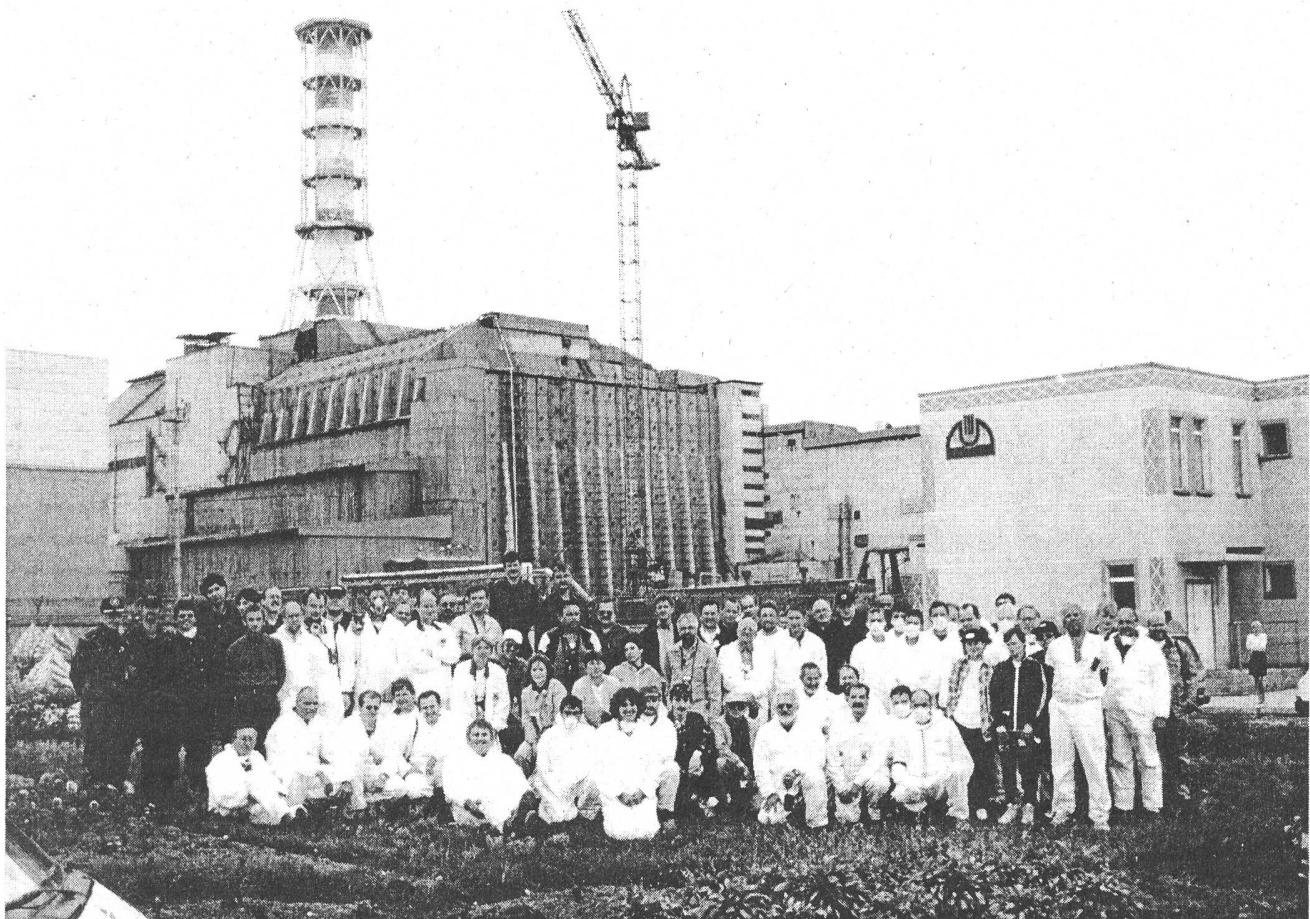


Figure 6: Débit d'exposition sur le parcours de 30 minutes en zone d'exclusion

On peut conclure que:

- les procédures d'urgence ont été testées avec succès dans des conditions réelles
- la spectrométrie γ in situ est problématique en environnement défavorable ($> 50 \mu\text{Sv/h}$)
- les équipes sont capables de fournir des résultats immédiats sur site
- il est impératif d'accorder plus d'attention à la qualité des formulaires de résultats
- les contrôles de dosimétrie individuelle à la charge de chaque équipe ont montré que la dose individuelle accumulée a été voisine de 0.1 mSv durant l'expédition.

Plus de détails sur l'exercice sont accessibles à l'adresse <http://rubin.ijs.si>.



Remerciements

Les examens de radioactivité effectués sur territoire suisse et à l'étranger ont permis de distinguer les contributions individuelles à l'exposition ambiante d'origine naturelle et artificielle. L'OFSP remercie de leur collaboration les organismes et les personnes qui ont contribué et participé au bon déroulement des mesures in situ en 1999. Leur soutien est appréciable dans l'objectif d'information du public.

- [1] ICRU-Report 53 "Gamma-Ray Spectrometry in the Environment" 1994, 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 und Y. Loertscher 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 1999 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 1999 überprüft. Eine Darstellung der Jahresmittelwerte sowie der extremen Wochenwerte für die einzelnen Stationen ist in den Fig. 1 und 2 abgebildet. Auch dieses Jahr ergeben sich für einige Stationen leichte Änderungen. Für Sonden, deren Messwerte 1999 leichte Abweichungen vom bisherigen Erfahrungsbereich aufzeigten, wurden wie üblich entsprechende Anpassungen vorgenommen. Zum Teil waren solche Anpassungen auch nach einem Sondenwechsel notwendig, wie sie im Rahmen des Qualitätssicherungsprogramms regelmässig durchgeführt werden.

Station	Erfahrungswerte *) 1998 [nSv/h]	Erfahrungswerte *) 1999 [nSv/h]	Neue Erfahrungsbereiche *) [nSv/h]	Ursache der Änderung des Erfahrungswerts
Adelboden	123	123	100 - 150	-
Disentis	117	111	90 - 130	Sondenwechsel
Davos	151	149	120 - 180	-
Engelberg	92	91	70 - 110	-
Grosser St. Bernhard	162	162	130 - 190	-
Hinterrhein	174	168	140 - 200	Sondenwechsel
La Chaux de Fonds	121	122	100 - 150	-
Lugano	132	126	100 - 150	Sondenwechsel
Piotta	143	139	110 - 170	Sondenwechsel
Samedan	151	148	120 - 180	-
Stabio	161	157	130 - 190	-
Ulrichen	179	161	130 - 190	-
Visp	125	125	100 - 150	-
Zürich SMA	105	104	80 - 120	-

*) unter Berücksichtigung des Eigennulleffekts

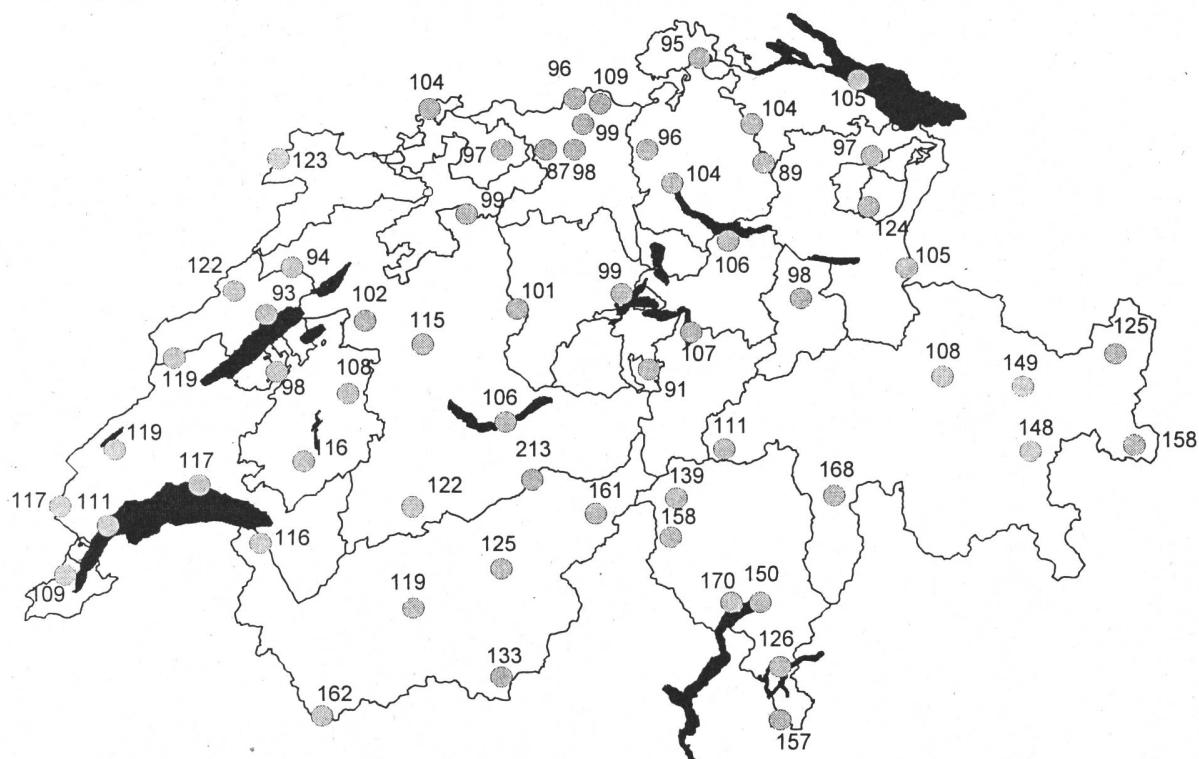
3.2.3. Qualitätssicherung

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: Karte der Jahresmittelwerte der NADAM-Sonden 1999 (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.



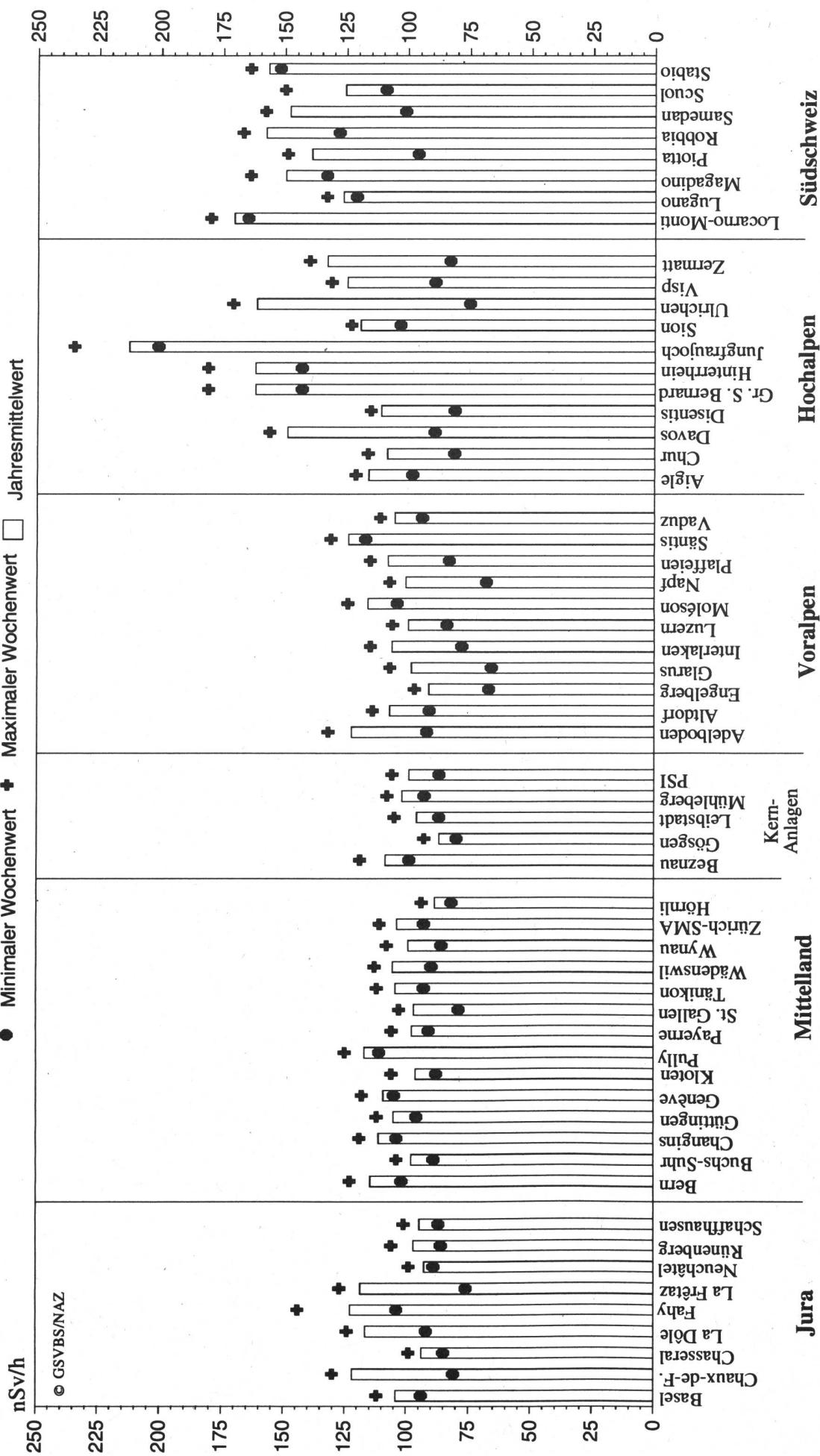
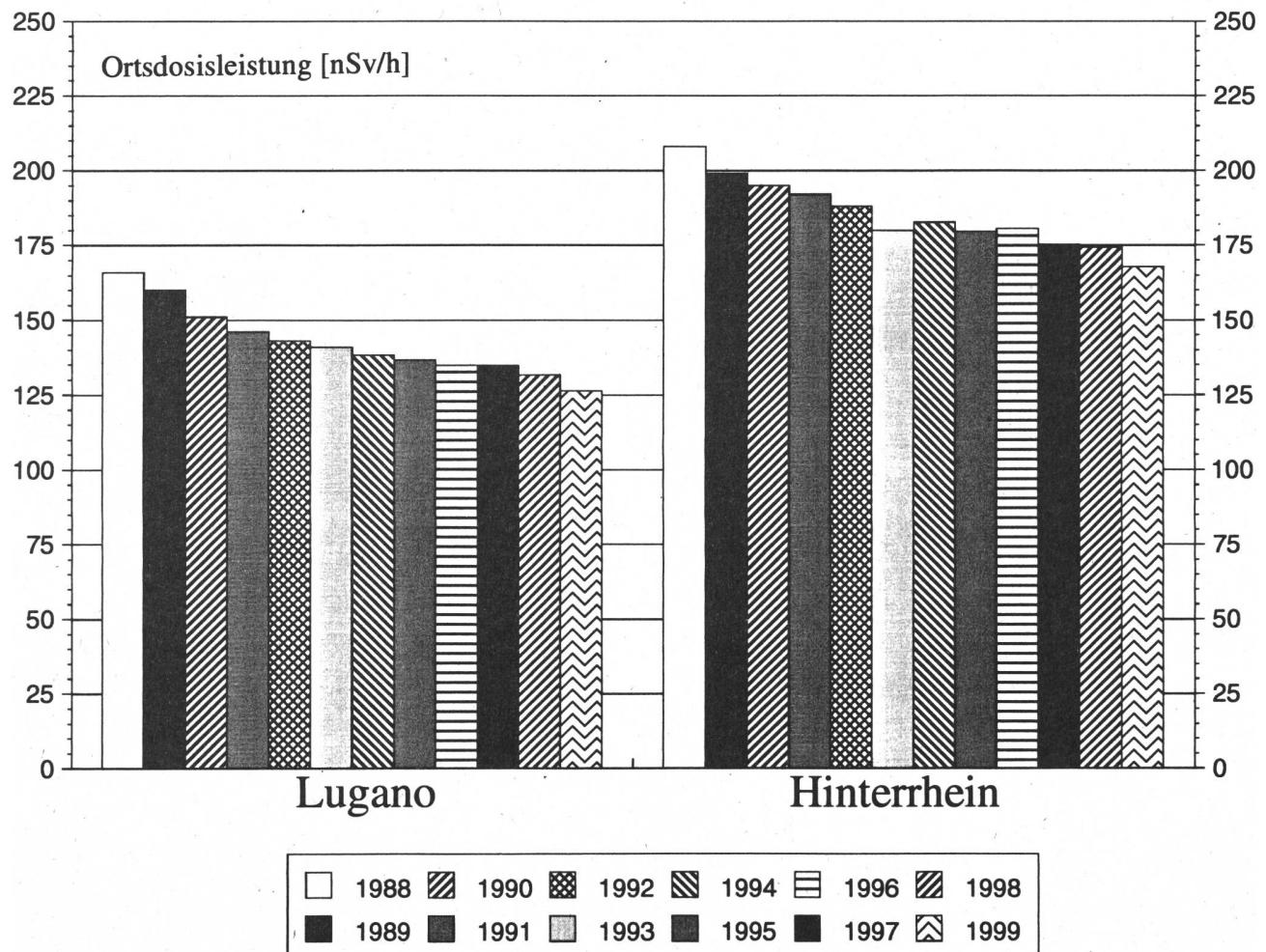


Fig. 3:

Verlauf der Erfahrungswerte der Stationen Lugano und Hinterrhein für die Periode 1988 - 1999 (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).



3.3 Aeroradiometrische Aufnahmen in der Schweiz

B. Bucher¹, G. Schwarz², L. Rybach¹, Chr. Bärlocher¹

1. Forschungsgruppe Geothermik und Radiometrie, Institut für Geophysik, ETH Hönggerberg, 8093 ZÜRICH
2. Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), 5232 VILLIGEN-HSK

3.3.1 Zusammenfassung

Die aeroradiometrischen Messflüge vom 21. Juni - 24. Juni 1999 hatten folgende Gebiete zum Inhalt: Umgebung der Kernkraftwerke Mühleberg und Gösgen, Umgebung auf deutschem Gebiet des Kernkraftwerkes Leibstadt, Gebiet des ehemaligen Versuchsreaktors in Lucens, verschiedene Gebiete des Tessin (Suche nach erhöhten Cäsium-Konzentrationen). Das herausragende Ereignis der Messflüge 1999 stellte die gemeinsame Übung mit der deutschen Gruppe vom Bundesamt für Strahlenschutz im Schwarzwald dar. Die Resultate im Gebiet der Kernanlagen zeigten keine erhöhte Radioaktivität im Vergleich zu früheren Jahren. Beim Versuchsreaktor Lucens konnte das gelagerte, kontaminierte Material aufgrund seiner Strahlung detektiert werden. Im Tessin wurde oberhalb von Brissago am Pizzo Ometto ein ¹³⁷Cs Hot Spot entdeckt. Neben den verschiedenen Messflügen wurde auch die Ausbildung des Messteams vertieft.

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. 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 abwechselungsweise 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 Abstürze von Satelliten mit Nuklearreaktoren 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.

3.3.3 Messeinrichtung

Das 1998 eingesetzte Messsystem verwendet einen NaI-Detektor mit 16.8 l Volumen. Das Spektrometer weist 256 Kanäle auf und kalibriert 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.

Das ganze Messsystem wird für die Messflüge in einen Super-Puma-Helikopter der Armee eingebaut. Dieser Helikoptertyp bietet sehr gute Navigationsmöglichkeiten und erlaubt dank seiner Blindflugtauglichkeit auch Notfalleinsätze bei schlechtem Wetter.

Messflüge

Der Vorteil von gammaspektrometrischen Messflügen liegt in der hohen 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 100 m über Grund gehalten.

Kalibration

Für die Umrechnung der gemessenen, detektorspezifischen Zählraten in allgemeine Einheiten wie Dosisleistung 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 Luftperspektren 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 [cps]
Cäsium	^{137}Cs	100	17	50
Kalium	^{40}K	100	5	12
Uran	^{214}Bi	100	51	25
Thorium	^{208}TI	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 200 x 200 m²; Bodenmessung: abgedeckte Fläche von ca. 10 x 10 m²) zu beachten.

3.3.4 Flugaufnahmen 1999

Die aeroradiometrischen Messflüge vom 21. Juni - 24. Juni 1999 hatten neben den turnusgemässen Messungen über den Kernkraftwerken Mühleberg (KKM) und Gösgen (KKG) Messflüge über deutschem Gebiet in der Umgebung des Kernkraftwerkes Leibstadt (KKL), im Gebiet des ehemaligen Versuchsreaktors in Lucens und in verschiedenen Gebieten des Tessin (Suche nach erhöhten Cäsium-Konzentrationen) zum Inhalt. Das herausragende Ereignis der Messflüge 1999 stellte die gemeinsame Übung mit dem deutschen Aeroradiometrieteam vom Bundesamt für Strahlenschutz im Schwarzwald dar. Die Messflüge standen unter der Leitung von Dr. D. Frei (NAZ).

Im Jahre 1999 wurde zur Positionierung erstmals Differential GPS eingesetzt. Dieses Verfahren erlaubt dank Korrektursignalen, die von einer Referenzstation kommen, eine genauere Positionierung und somit eine genauere Kartierung der Messergebnisse. Innerhalb der Messflüge 1999 wurde auch eine erste Version einer Online-Datenauswertungs- und – kartierungssoftware erfolgreich getestet. Damit wird es in Zukunft möglich sein, die aktuellen Messresultate bereits während des Messfluges in Form einer Karte darzustellen. Im weiteren wurden die Möglichkeiten von geographischen Informationssystemen (GIS) in der Aeroradiometrie in einer Pilotstudie untersucht (Bächler, 1999). Diese zeigte das Potential von GIS in der Darstellung der Daten und der räumlichen Datenanalyse auf.

Im Auftrag der HSK wurden die beiden Messgebiete KKM und KKG bereits mehrmals vermessen. In Abbildung 2 ist die totale Zählrate im Messgebiet KKM dargestellt. Das KKM, das während der aeroradiometrischen Messungen in Betrieb war, konnte anhand der ¹⁶N-Strahlung (Halbwertszeit $t_{1/2}=7.3$ s) sehr gut detektiert werden. Diese Strahlung wird bei Siedewasserreaktoren durch das Aktivierungsprodukt ¹⁶N erzeugt, welches im Betrieb durch die Frischdampfleitung ins Maschinenhaus gelangt. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise wenig abgeschirmt ist, kann die hochenergetische Gammastrahlung des ¹⁶N aus der Luft gut detektiert werden. Das KKG konnte aeroradiometrisch nicht detektiert werden, da es sich um einen Druckwasserreaktor handelt und deshalb das Aktivierungsprodukt ¹⁶N nicht aus dem sehr gut abgeschirmten Reaktorgebäude gelangt. Zum ersten Mal wurde 1999 der deutsche Teil der Kraftwerksumgebung KKL aeroradiometrisch vermessen. So sind nun die Umgebungen aller Kernkraftwerke in der Schweiz mindestens einmal vermessen worden, so dass für allfällige Notfallsituationen ein Vergleichsdatensatz zur Verfügung steht. 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.

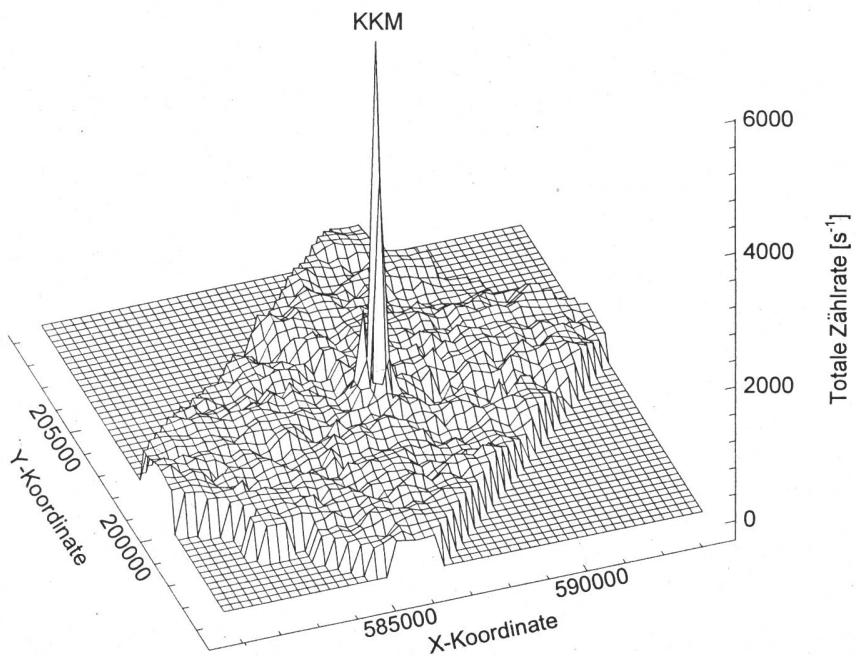


Abbildung 2: 3D-Darstellung der totalen Zählrate [s^{-1}] im Messgebiet KKM. Die Karte stellt den Blick nach Nordosten dar. Die Y-Achse entspricht der Nordrichtung. Das Maximum beim KKM wird durch die gestreute ^{16}N -Strahlung mitverursacht.

Beim Messflug im Gebiet des ehemaligen Versuchsreaktors Lucens wurde kontaminiertes Material detektiert, das aus der Reaktorkaverne stammt und in einem Gebäude nahe beim Reaktor in Behältern gelagert wird. Bei den Kontaminationen handelt es sich hauptsächlich um ^{137}Cs und ^{60}Co (Abbildung 3). Mit Ausnahme dieses Gebäudes wurde keine erhöhte künstliche Radioaktivität in der weiteren Umgebung des ehemaligen Reaktors gemessen, die nicht durch Tschernobyl oder die Kernwaffenversuche der sechziger Jahre erklärt werden kann.

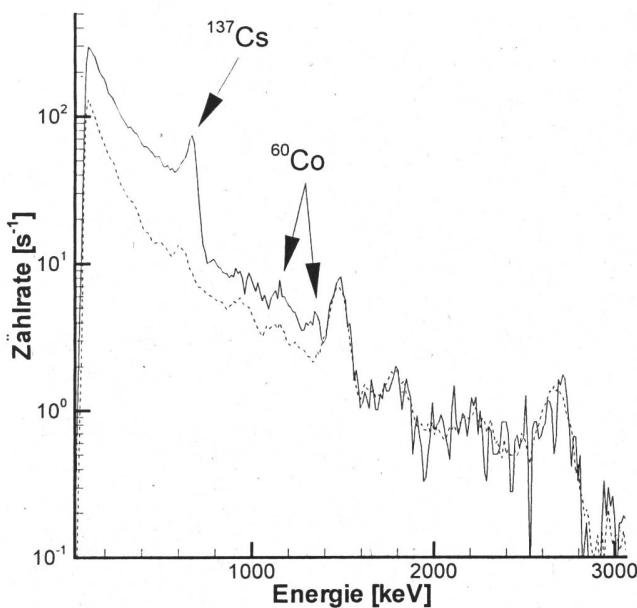


Abbildung 3:

Summenspektren von Messpunkten ausserhalb des Areals (gestrichelt) in Lucens und von Messpunkten im Gebiet mit erhöhten Messwerten (ausgezogen).
 (137Cs peak at ~662 keV, 60Co peak at ~1173 keV)

Im Jahre 1999 wurden im Tessin insgesamt vier kleine Gebiete im Centovalli, bei Brissago, bei Caslano und bei Breganzone aeroradiometrisch vermessen. Während im grössten Teil der Gebiete ^{137}Cs -Werte detektiert wurden, die fürs Tessin typisch sind, wurden am Pizzo Ometto oberhalb von Brissago auf einer kleinen Fläche sehr hohe Werte von maximal 760 Bq/kg gemessen. Der ^{137}Cs -Peak konnte im Spektrum klar identifiziert werden (Abbildung 4). Rechnet man die erhaltene Konzentration auf das Jahr 1986 zurück und nimmt an, dass sich das Cäsium in den obersten 10 cm befindet und die Dichte des Bodens rund 1.5 g/cm³ beträgt, erhält man ein Inventar an ^{137}Cs von rund 150 kBq/m². Dieser hohe Wert muss aber noch durch in situ Messungen und Messungen an Bodenproben verifiziert werden.

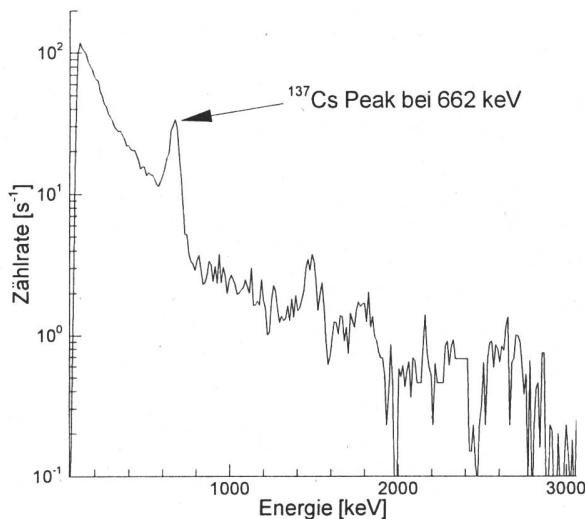


Abbildung 4: Spektrum vom Gebiet mit der höchsten Cäsium-Konzentration am Pizzo Ometto oberhalb von Brissago.

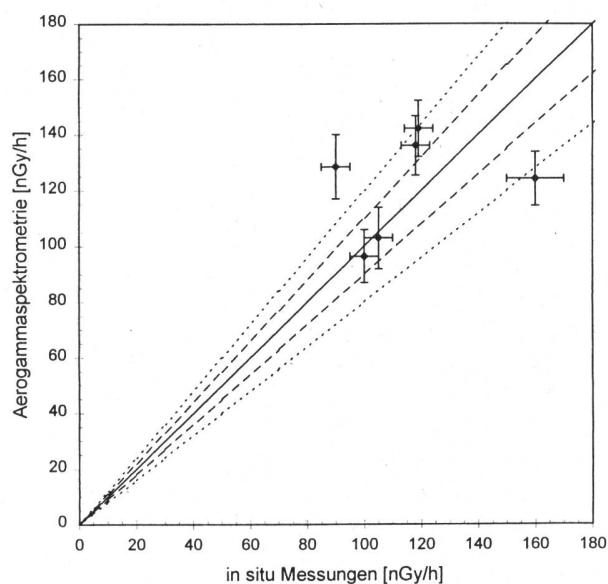


Abbildung 5: Vergleiche der Ergebnisse aus gammaspektrometrischen Boden- und Flugmessungen im Messgebiet Schwarzwald für die totale Dosisleistung. Die ausgezogene Linie entspricht der 45°-Geraden, die gestrichelte Linie einer Abweichung von 10 % und die gepunktete Linie einer Abweichung von 20 %. Die Fehlerbalken geben die Unsicherheit der Messungen an.

Das herausragende Ereignis der Messflüge 1999 war der gemeinsame Messflug mit dem deutschen Aeroradiometrieteam des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) im Schwarzwald. Dabei wurde ein Gebiet von 7 km x 7 km im Raum Menzenschwand (ehemalige Uranerzgrube Krunkelbach) von beiden Teams vermessen. Die Zusammenarbeit war ausgezeichnet. Erste Resultatvergleiche der beiden Messteams zeigten eine gute Übereinstimmung in den Dosisleistungen (Bucher et al., 2000). Gleichzeitig zu den Messflügen wurden durch eine Messequipe der SUeR in situ Gammaspektrometriemessungen im gleichen Gebiet durchgeführt (Murith, 1999). Diese dienten in erster Linie der Überprüfung der aeroradiometrischen Messungen. Die Vergleiche der gammaspektrometrischen Boden- und Luftperspektrometrischen Messungen weisen innerhalb der Fehlertoleranzen eine recht gute Übereinstimmung auf (Abbildung 5). Es gilt dabei zu berücksichtigen, dass die zwei Methoden sehr unterschiedliche Gesichtsfelder aufweisen: Bodenmessungen ca. 10 x 10 m²; Aeroradiometrie ca. 200 x 200 m². Die Dosisleistungen am Boden wurden mit Reuter Stokes Ionisationskammern gemessen.

3.3.5 Perspektiven

Die Weiterentwicklung des aeroradiometrischen Equipment und der zugehörigen Software wird im Jahre 2000 weitergeführt. Die Online-Auswertungs- und Kartierungssoftware soll bei den Messflügen 2000 eingesetzt und unter Einsatzbedingungen getestet werden. Die GPS-Empfänger der jetzigen Ausrüstung sollen durch modernere, differential GPS fähige Geräte ersetzt werden. Im weiteren sollen detaillierte Datenvergleiche des gemeinsamen Messfluges im Schwarzwald erfolgen. Dies soll vor allem in Hinblick auf eine internationale Zusammenarbeit bei Krisensituationen wertvolle Grundlagen für gemeinsame aeroradiometrische Messungen und Auswertungen liefern. Auch die anderen internationalen Kontakte werden weiterhin gepflegt und wo möglich ausgebaut. Insbesondere wird der Kontakt zu den anderen Aeroradiometrie-Teams in Europa aufrecht erhalten, um bei den Standardisierungsanstrengungen mitarbeiten zu können.

3.3.6 Literatur

BÄCHLER, D., 1999: Einsatz geographischer Informationssysteme (GIS) in der Aeroradiometrie: eine Pilotstudie. Diplomarbeit, Institut für Geophysik, ETH Zürich.

BUCHER, B., SCHWARZ, G.F., RYBACH, L., BAERLOCHER, CHR., 2000: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM99. Bericht für das Jahr 1999 zuhanden der Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR). Interner Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich.

MURITH, C., 1999: In situ measurements Schwarzwald UARM 1999. Interner Bericht SUeR, Fribourg.

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.

RYBACH, L., BUCHER, B., SCHWARZ, G., (in Druck): Airborne surveys of Swiss nuclear facility sites. Special Issue of the Journal of Environmental Radioactivity.

SCHWARZ, G.F., 1991: Methodische Entwicklungen zur Aerogammaspektrometrie. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geophysik Nr.23, Schweizerische Geophysikalische Kommission.

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.

