

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: - (2000)

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

3.1. Mesures in situ et exposition externe

Ch. Murith, A. Gurtner	Section de surveillance de la radioactivité, 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
P. Froidevaux	Institut universitaire de Radiophysique Appliquée, Grand-Pré 1, 1007 LAUSANNE

Résumé

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 naturels et artificiels à l'exposition du public. 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 les différentes étapes de traitement du prélèvement. L'information ponctuelle qui en résulte s'oriente avant tout sur la mise en évidence de traces et de radionucléides émetteurs alpha et bêta et ne renseigne pas sur l'exposition ambiante. 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 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 2000 n'ont signalé aucune valeur susceptible de représenter un risque pour la santé du public. Sur le plan international 2000 a été marqué par l'engagement

de l'OFSP dans la qualification in situ du LMRE (Laboratoire de Mesure de la Radioactivité de l'Environnement) de l'IPSN lors d'une campagne de mesures dans le massif du Mercantour ainsi que par la participation de l'OFSP à la campagne de mesures dans le Nord-Cotentin.

3.1.1 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'atout de cette démarche est de permettre d'estimer 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.

3.1.2 Mesures in situ en Suisse

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

[1] ICRU-Report 53 "Gamma-Ray Spectrometry in the Environment" 1994, ISBN 0-913394-52-1.

(descendants compris) sont indiqués (fig. 1) pour les sites suisses examinés en 2000.

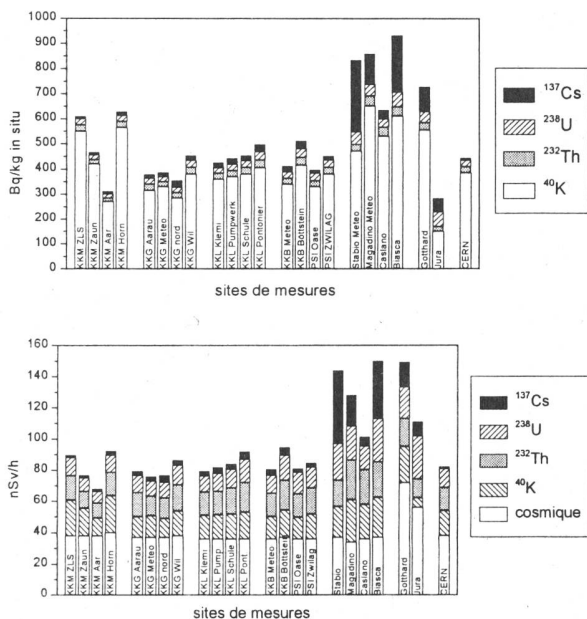


Figure 1: Concentrations in situ des radionucléides naturels et artificiels et contributions individuelles au débit d'exposition ambiante pour une distribution homogène.

Un contrôle de qualité des résultats synthétisés dans la figure 1 s'obtient par confrontation du débit d'exposition calculé à partir du spectre in situ avec celui mesuré à l'aide d'une chambre d'ionisation compte tenu du rayonnement cosmique (Fig.2). Une différence calcul/mesure $< \pm 10\%$ atteste que les résultats traduisent bien la réalité. Un rapport $< 10\%$ peut s'expliquer par une contribution qui sort du domaine d'énergie (40 keV à 2 MeV) de la mesure spectrométrique. Comme le montre la figure 2, c'est le cas dans le site KKM "Zaun", où le défaut de débit d'exposition de près de 50 nSv/h peut être attribué au rayonnement direct (^{16}N). Un rapport $> 10\%$ traduit que l'hypothèse d'une distribution homogène pour le ^{137}Cs surestime d'autant plus sa contribution au débit d'exposition qu'il est distribué en surface. Comme l'indique également la figure 2, c'est le cas dans les sites du Tessin de Stabio et de Biasca, où des traces de ^{134}Cs (0,5 – 2 Bq/kg) de Tchernobyl sont encore décelables. Cela confirme la bonne sensibilité de la méthode, qui a aussi permis la mise en évidence des traces de ^{60}Co (0.5 Bq/kg) dans un site du voisinage KKM ou d' ^{41}Ar (0.6 Bq/m³) dans l'enceinte du CERN.

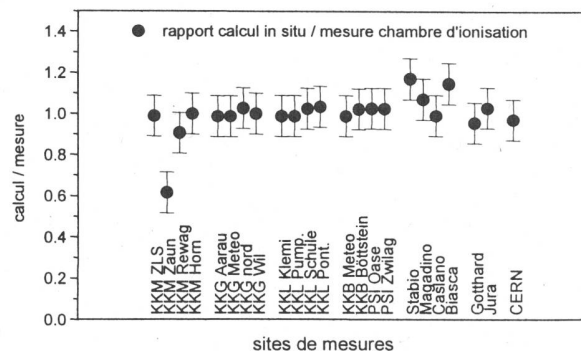


Figure 2: Rapport du débit d'exposition calculé à partir des mesures de spectrométrie à celui mesuré à l'aide d'une chambre d'ionisation compte tenu du rayonnement cosmique.

3.1.3 Mesures in situ à l'étranger

Mesures in situ dans le massif du Mercantour

Le Laboratoire de Mesure de la Radioactivité de l'Environnement (LMRE) de l'Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire (IPSN) s'est référé à l'OFSP pour la qualification de la procédure de mesurage in situ. Dans ce cadre des intercomparaisons ont été réalisées: elles ont porté sur la mesure du bruit de fond dans le tunnel du Fréjus ainsi que sur des mesures dans la zone atelier du Mercantour au col de la Lombarde près d'Isola 2000. Les résultats des mesures de l'OFSP font l'objet des fig. 3 et 4.

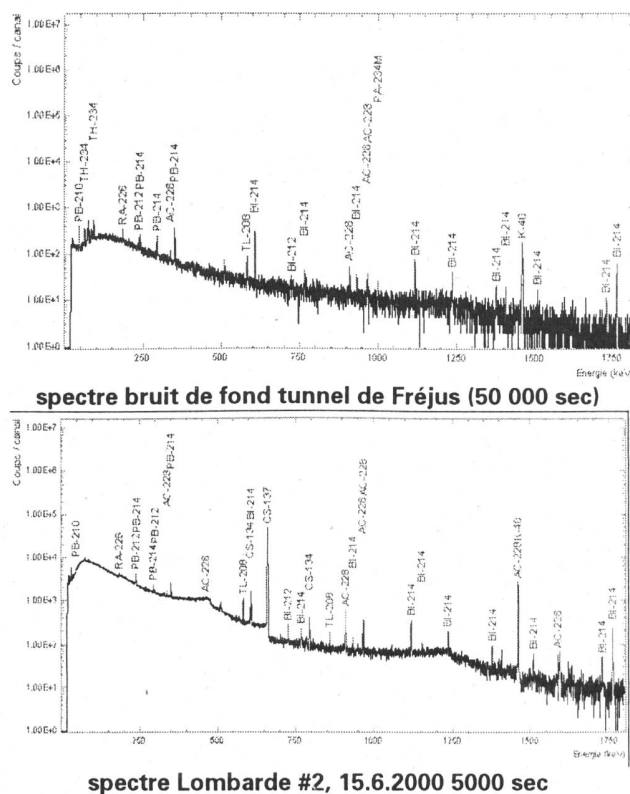


Figure 3: Spectre de bruit de fond (Tunnel de Fréjus) et d'une mesure in situ au col de la Lombarde

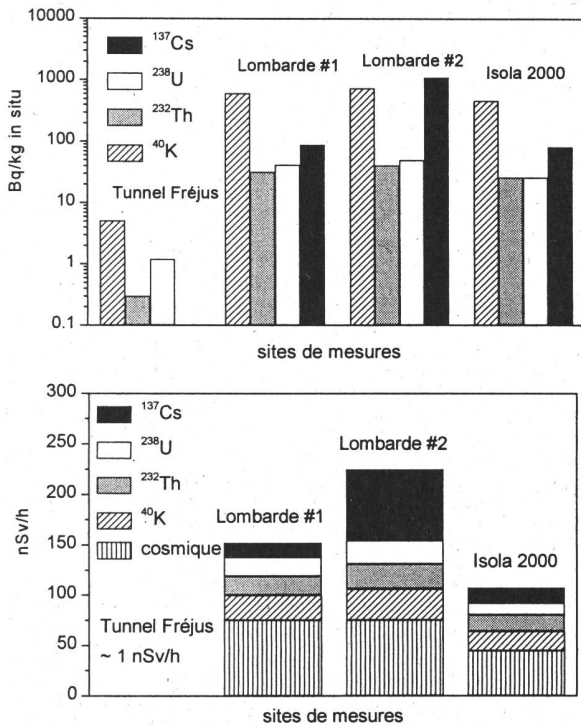


Figure 4: Résultats des mesures de bruit de fond (Tunnel du Fréjus) et des examens in situ au col de la Lombarde et à Isola 2000

Dans le tunnel du Fréjus, la confrontation du débit d'exposition calculé ($^{40}\text{K} + ^{232}\text{Th} + ^{238}\text{U} = 0.2 + 0.2 + 0.6 = 1\text{ nSv/h}$) avec la mesure globale avec la sonde "Automess" $\sim 1\text{ nSv/h}$ confirme que la composante cosmique est quasi nulle dans ce laboratoire souterrain. Comme le montre la figure 3, on constate en moyenne sur le site Lombarde #2 une concentration accrue en ^{137}Cs . Sa contribution au débit d'exposition ambiante a été déterminée en soustrayant les contributions naturelles au débit d'exposition global mesuré sur le site. Elle s'explique par l'existence de points chauds en ^{137}Cs dans cette zone d'étude et correspond en terme de débit d'exposition à 1 m du sol à la composante cosmique accrue à cette altitude ($\sim 2200\text{ m}$). Une estimation en terme de dépôt moyen sur le champ de vision du détecteur aboutit aux valeurs suivantes: Lombarde #1 et Isola 2000 ($\sim 15'000\text{ Bq/m}^2\text{ }^{137}\text{Cs}$) et Lombarde #2 ($\sim 60'000\text{ Bq/m}^2$). En tenant compte du rapport $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ voisin de 150 à la date de mesure, le ^{134}Cs détecté à Lombarde #2; ($6.6 \pm 0.6\text{ Bq/kg}$ in situ) permet d'estimer que les retombées de Tchernobyl contribuent pour près 90 % à la contamination ^{137}Cs . Sur les 1100 Bq/kg in situ, 100 Bq/kg proviennent des essais nucléaires. Cette contribution élevée par rapport aux 2 autres sites, où il n'est presque plus possible de distinguer la part Tchernobyl de la part essais nucléaires, montre aussi une accumulation très favorable des anciennes contaminations dans ce bassin versant confirmée par les analyses de sol en laboratoire, dont la figure 5 présente les résultats pour le ^{240}Pu

et l' ^{241}Am traceurs des essais nucléaires. On comprend l'intérêt de cette zone atelier de l'IPSN, pour l'étude de la situation hydrogéologique locale afin de mieux expliquer la migration des radioéléments par des mesures dans l'eau de ruissellement et de source.

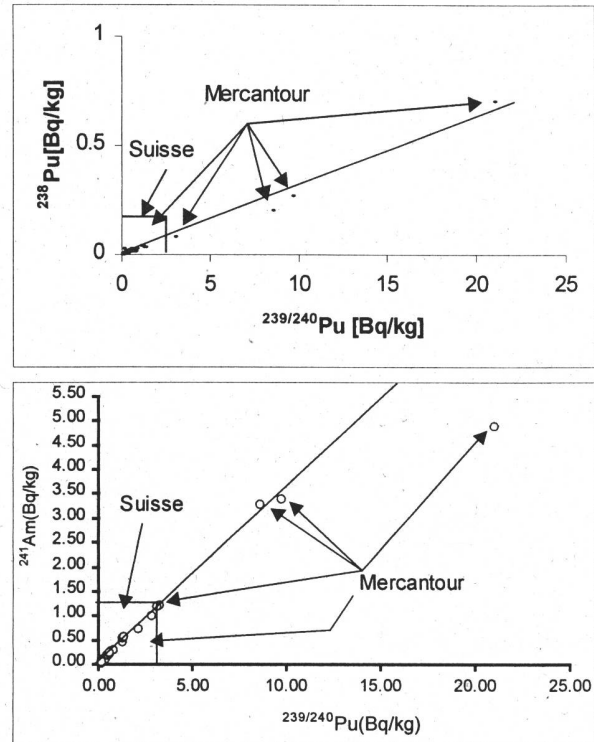


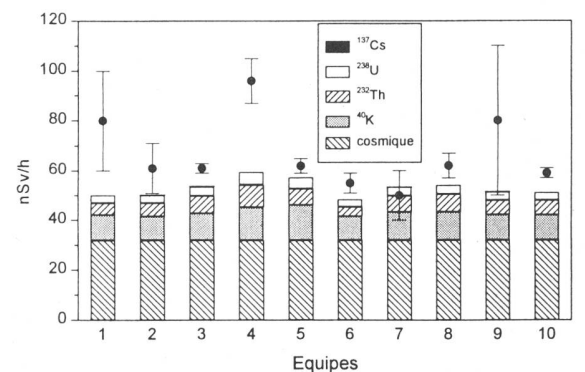
Figure 5: Comparaison des rapports isotopiques Pu et Am (mesures IRA Lausanne)

Dans certains des échantillons mesurés, l'activité en plutonium et en américium est particulièrement élevée, dépassant même les 20 Bq/kg . La comparaison avec les valeurs relevées en Suisse montre qu'un seul point se trouve en dehors des droites indiquant la contamination par les essais nucléaires. Il s'agit du point dont l'activité en plutonium est la plus élevée de tous les échantillons. Il est difficile d'expliquer la présence de telles activités dans ces sols si l'on ne bénéficie pas d'un aperçu de la situation géologique des endroits prélevés. En effet, il est presque certain que la présence de "hot spots" (également identifiés par la mesure de ^{137}Cs) est due à un lessivage intense du bassin versant, avec accumulation des radioéléments en aval. Il serait intéressant de procéder à la mesure du plutonium, de l'américium, du ^{137}Cs et du ^{90}Sr dans l'eau de ruissellement et de source, afin d'avoir une meilleure idée de la migration des radioéléments. La différence observée entre la mesure et la droite représentant la contamination par les essais d'armes atomiques pour l'échantillon en question pourrait s'expliquer par un comportement différent de l'américium par rapport au plutonium. En effet, si le plutonium est plus facilement transporté par lessivage que l'américium, il va se retrouver en

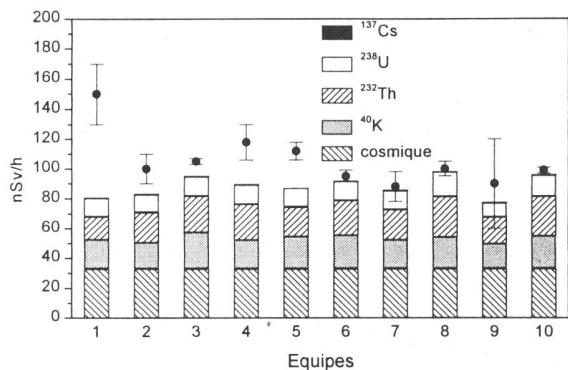
excès en aval par rapport à l'américium. Pour ce point, le rapport $^{238}\text{Pu}/^{239/240}\text{Pu}$ correspond parfaitement au rapport attendu pour la contamination provenant des essais atomiques.

Mesures in situ dans le Nord Cotentin

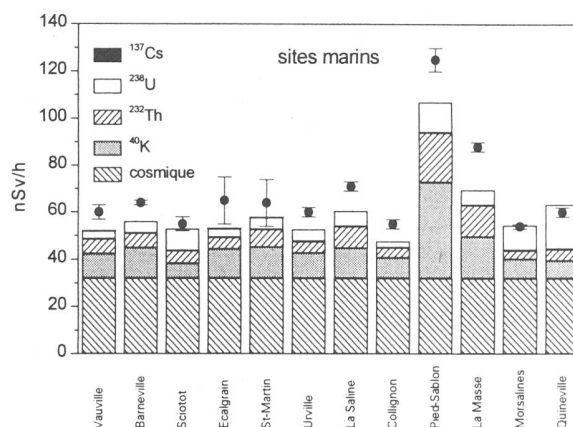
L'OFSP participe depuis 1999 aux travaux du Groupe Radioécologie Nord Cotentin (GRNC). Dans ce cadre, les contacts établis avec des parties prenantes locales comme le collectif des "Mères en colère" et la CSPI ont abouti à l'organisation d'une campagne internationale de mesures in situ en octobre 2000 dans une région sous l'influence des rejets d'installations nucléaires, en particulier l'usine de retraitement de COGEMA. Outre le volet technique de cette expérience, les "Mères en colère" ont pris l'initiative de favoriser largement l'aspect sociologique de cette campagne par un échange très étroit entre les scientifiques et la population, en particulier les familles hôtes et les écoles. Les enseignements préliminaires de cette première se sont avérés très concluants. L'aperçu des résultats de la figure 6 ne concerne que les mesures in situ dont l'objectif était de dresser un état de référence sur les contributions individuelles à l'exposition externe du public sur les plages et les sites terrestres proposés à l'examen des équipes de mesures. Les mesures de la campagne d'échantillonnage sont en cours et leurs résultats seront intégrés dans un rapport final (octobre 2001) sur cet événement.



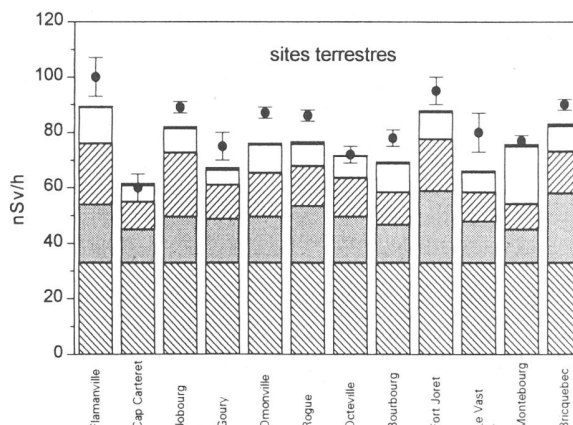
a) Intercomparaison sur la plage, Anse de Vauville



b) Intercomparaison au château de Flamanville



c) Mesures dans les sites marins



d) Mesures dans les sites terrestres

Figures 6a-d: Résultats des intercomparaisons et des mesures de couverture géographique dans le Nord Cotentin 2000

La comparaison de la moyenne et de l'écart-type montre une meilleure cohérence pour la reconstitution par spectrométrie gamma in situ 53.0 ± 3.4 nSv/h dans le site marin (Anse de Vauville) et 88.6 ± 6.8 nSv/h dans le site terrestre (château de Flamanville), que pour le débit d'exposition mesuré (cercle avec barre d'erreur = débit d'exposition mesurée) 66.6 ± 14.1 nSv/h (Anse de Vauville) et 105.7 ± 18.1 nSv/h (château de Flamanville). Le manque d'harmonisation des appareils utilisés (chambre d'ionisation, scintillateur NaI, tube GM...) et de leur étalonnage en énergie respectif explique ces différences significatives pour cette mesure souvent prise comme référence, même si l'on constate une cohérence satisfaisante des valeurs chambre d'ionisation et la sonde Automess. Le rapport moyen entre les débits d'exposition calculés à ceux mesurés de l'ordre de 10 à 20% peut s'expliquer par le fait que le sable et les sols (saturés en eau) lors des mesures ont une densité plus élevée (1.8 à 2 g/cm³) que la densité moyenne de 1.6 g/cm³ du modèle de distribution homogène utilisé par les participants.

3.1.4 Conclusions

Les mesures de spectrométrie gamma in situ réalisées par l'OFSP en 2000 ont permis de caractériser les sites d'études du point de vue de leur composition en radionucléides gamma et des contributions individuelles au débit d'exposition qui en résultent pour le public. Leur champ d'application a visé à répondre à des objectifs d'ordre réglementaire (voisinage des installations nucléaires suisses), d'ordre radioécologique (suivi des contaminations ^{137}Cs du fallout et de Tchernobyl) et d'ordre sociologique (réponse à la demande de parties prenantes locales dans le Nord Cotentin). Les résultats ont permis de distinguer les composantes naturelles et artificielles de la radioactivité gamma et de s'assurer de la consistance 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. Les écarts supérieurs à $\pm 10\%$ ont fait l'objet d'une clarification. Les radionucléides naturels montrent des différences régionales significatives liées aux particularités géologiques locales. Les contaminations artificielles se résument essentiellement au ^{137}Cs avec des variations significatives avant tout liées aux retombées de Tchernobyl et à leur migration influencée en particulier par la pluviométrie, l'hydrologie et l'utilisation locale des sols. Le tableau suivant indique les domaines des concentrations in situ mesurées en 2000.

En conclusion, les mesures de spectrométrie gamma in situ ont montré que du point de vue de l'exposition externe 1m au-dessus des surfaces examinées en 2000, les contributions naturelles prédominent. La contribution artificielle maximale a été enregistrée dans la zone atelier du Mercantour avec près de 100 nSv/h. L'exposition qui en résulte 1m au-dessus du sol n'excède pas $1\mu\text{Sv}$ même pour un séjour annuel permanent dans cette zone favorable à l'accumulation du ^{137}Cs . En comparaison l'exposition d'origine naturelle incombant pour moitié au rayonnement des radionucléides primordiaux et pour moitié au rayonnement cosmique entraîne pour un séjour permanent dans cette zone $1.4\mu\text{Sv}$.

Par conséquent, l'ensemble des mesures in situ réalisées en 2000 par l'OFSP n'ont signalé aucune contribution artificielle à l'exposition externe du public qui dépasse les limites prescrites dans l'Ordonnance sur la Radioprotection. Dans la plupart des sites cette contribution artificielle ne représente même que quelques pour-cent de la contribution naturelle enregistrée.

L'équipe de mesure de l'OFSP tient à remercier toutes les personnes en Suisse comme en France, qui ont favorisé le bon déroulement de nos différentes campagnes de mesures in situ 2000.

Domaine des concentrations in situ pour les campagnes de mesures de l'OFSP, 2000

Bq/kg in situ	^{40}K	^{228}Ac (série ^{232}Th)	^{214}Bi (série ^{238}U)	^{137}Cs
Suisse	150 - 750	16 - 42	16 - 60	6 - 300
Mercantour	470 - 750	26 - 39	27 - 49	80 - 1100
Nord Cotentin: terrestre	210 - 600	15 - 45	12 - 45	1.5 - 7.5
Nord Cotentin: plages	150 - 980	5 - 35	5 - 28	< 0.5 - 1.5

3.2. Die automatische Überwachung der Ortsdosen mit NADAM

Y. Loertscher Nationale Alarmzentrale (NAZ)
Eidg. Departement für Verteidigung,
Bevölkerungsschutz und Sport
Postfach, 8044 ZÜRICH

Zusammenfassung

Das Netz für die automatische Dosisleistungsmessung und -alarmierung (NADAM) dient der grossräumigen und permanenten Überwachung der externen Strahlung. Auch im Jahre 2000 konnte 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. Die Überschwemmung der Magadino- Ebene im Oktober 2000 konnte laufend mitverfolgt werden, wie Fig. 1 zeigt. Es ist anzumerken, dass die Sonde nach einer kurzen Kontrolle wieder einwandfrei funktionierte.

3.2.1 Erfahrungs- und Mittelwerte

Die Erfahrungswerte wurden anhand der Messwerte 2000 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 Sonden, deren Messwerte 2000 leichte Abweichungen vom bisherigen Erfahrungsbereich aufwiesen, 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.

Neue Erfahrungswerte für einige Stationen

Station	Erfahrungswerte *) 1999 [nSv/h]	Erfahrungswerte *) 2000 [nSv/h]	Neue Erfahrungsbereiche *) [nSv/h]	Ursache der Änderung des Erfahrungswerts
Beznau	109	93	80-120	Sondenwechsel
Fahy	123	111	90-130	Unbekannt
Ulrichen	161	174	150 - 220	Sondenwechsel

*) unter Berücksichtigung des Eigennulleffekts

3.2.2 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.

3.2.3 Erneuerung der NADAM-Sonden

Um eine lückenlose Überwachung der allgemeinen Dosisleistung in der Schweiz zu gewährleisten und damit auch die frühzeitige Alarmierung garantieren zu können, wurde überprüft, inwiefern das NADAM-Netz und die technischen Eigenschaften der Sonden den heutigen Anforderungen an ein solches Netz noch entsprechen. Das Ergebnis bestätigte, dass das eigentliche Netz die heutigen Anforderung durchaus erfüllt, und deshalb bestehen bleiben kann. Die 15-jährigen Sonden hingegen sollten ausgewechselt und dem Stand der Technik angepasst werden.

Dieser Wechsel wird ab 2003 gleichzeitig mit der Erneuerung der MeteoSchweiz-Messstationen - mit denen die NADAM-Sonden verknüpft sind - erfolgen.

3.2.4 Magadino

Bei den Überschwemmungen in der Magadino-Ebene im Oktober letztes Jahres war auch die NADAM-Sonde MAG betroffen.

In Fig. 1 kann die Abschirmung der Bodenstrahlung durch das Wasser beobachtet werden.

Am Nachmittag des 15. Oktober 2000 steigt das Wasser so hoch an, dass es zu einer massiven Abnahme des Signals der NADAM-Sonde kommt. Für ca. 24h wurde dann die Datenlieferung unterbrochen. Die Sonde war unter dem Wasserspiegel. Am 17. Oktober konnte ein Techniker der MeteoSchweiz die Messstation per Ruderboot erreichen, und nach einer kleinen Kontrolle wieder in Betrieb setzen.

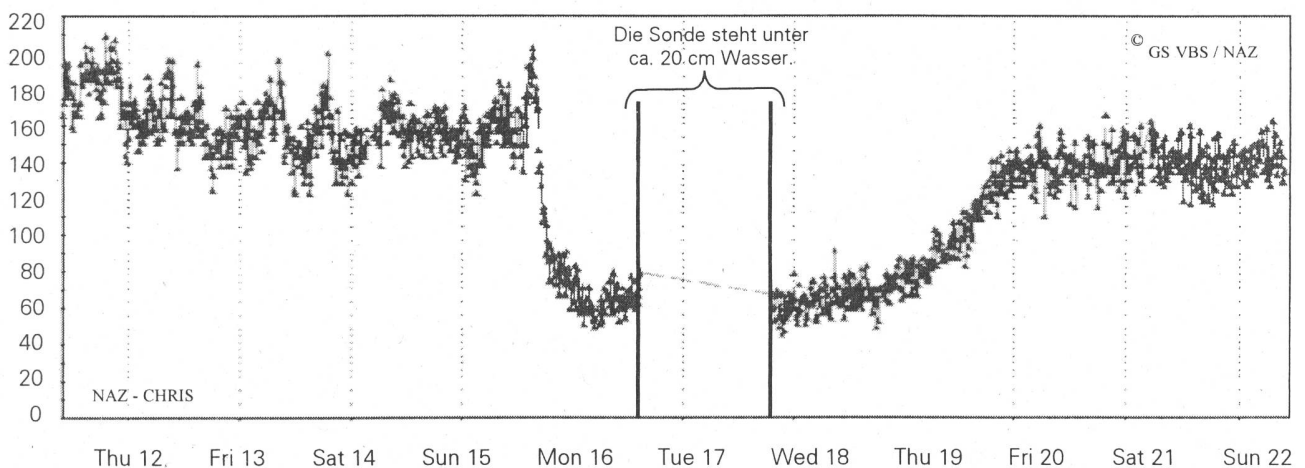
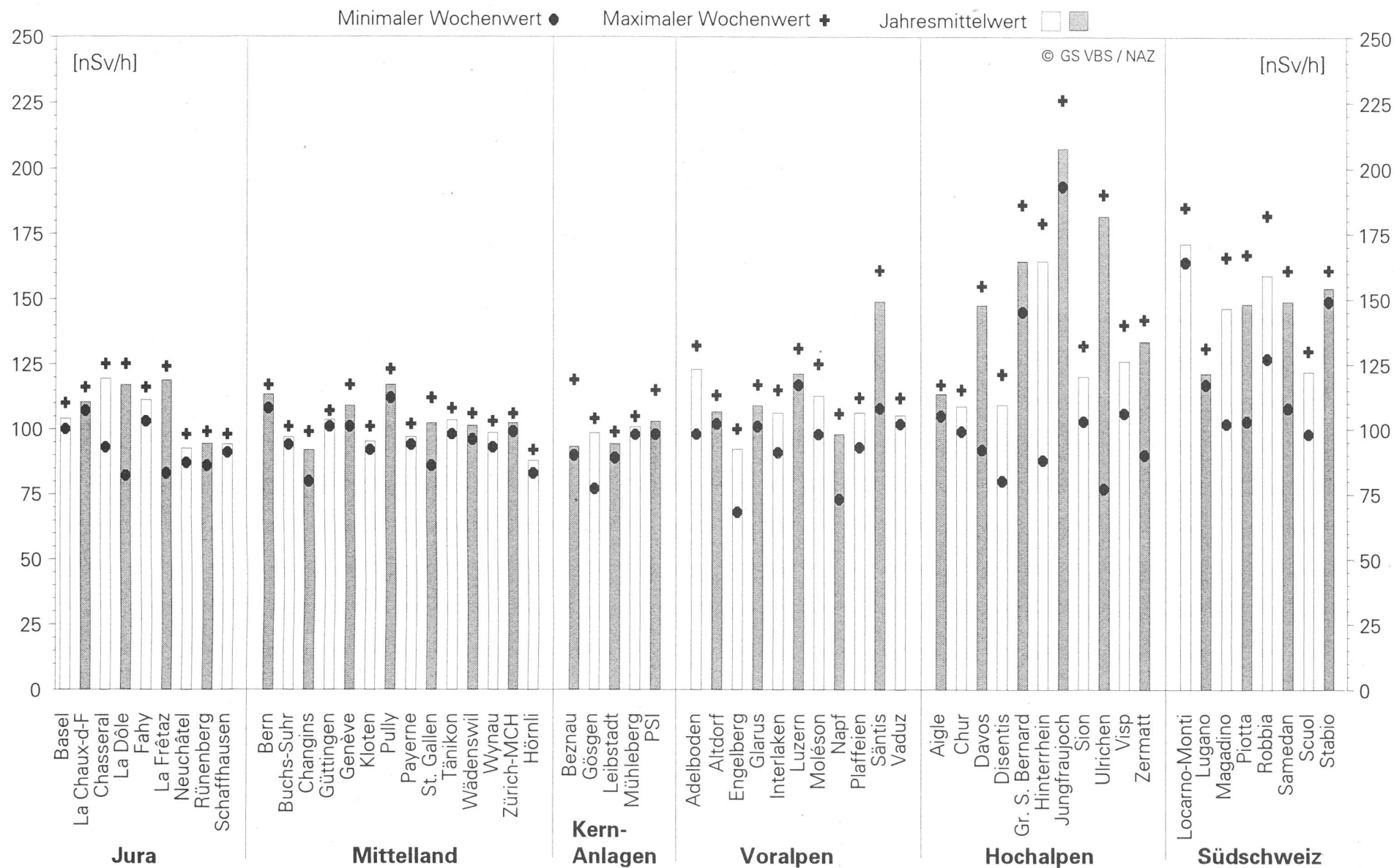


Fig. 1: Verlauf der Dosisleistung während der Überschwemmung der Magadino-Ebene in Oktober 2000 in nSv/h

Fig. 2: Jahresmittelwerte 2000 der NADAM-Sonden, aufgeteilt nach Regionen (unter Berücksichtigung des Eigennulleffekts)



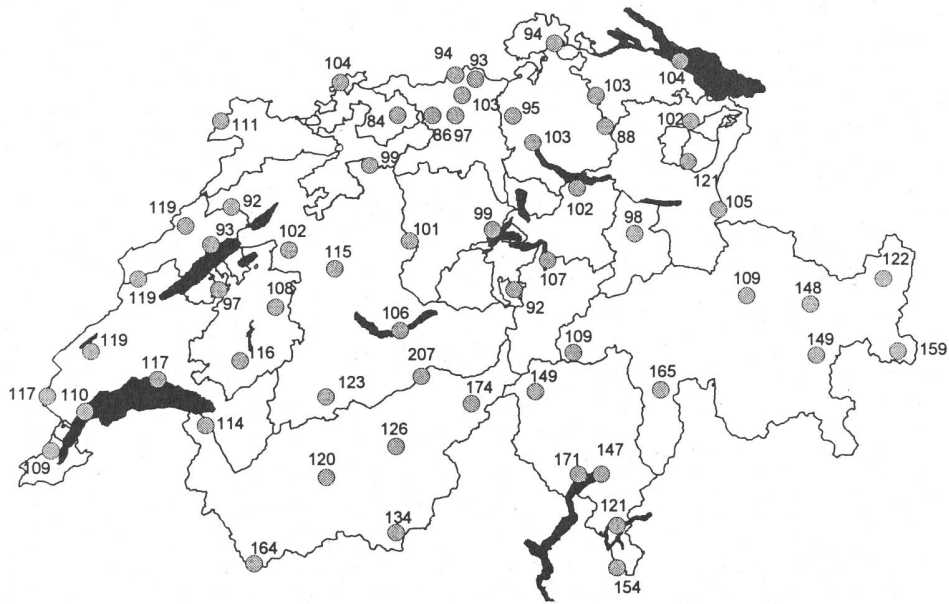


Fig. 3: Karte der Jahresmittelwerte 2000 der NADAM-Sonden (unter Berücksichtigung des Eigennulleffekts). Die Ortsdosisleistung variiert je nach Standort zwischen 90 und 205 nSv/h. Dies ist vor allem durch Unterschiede in der natürlichen Strahlung bedingt. Einerseits hängt sie von Art und Zusammensetzung 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.

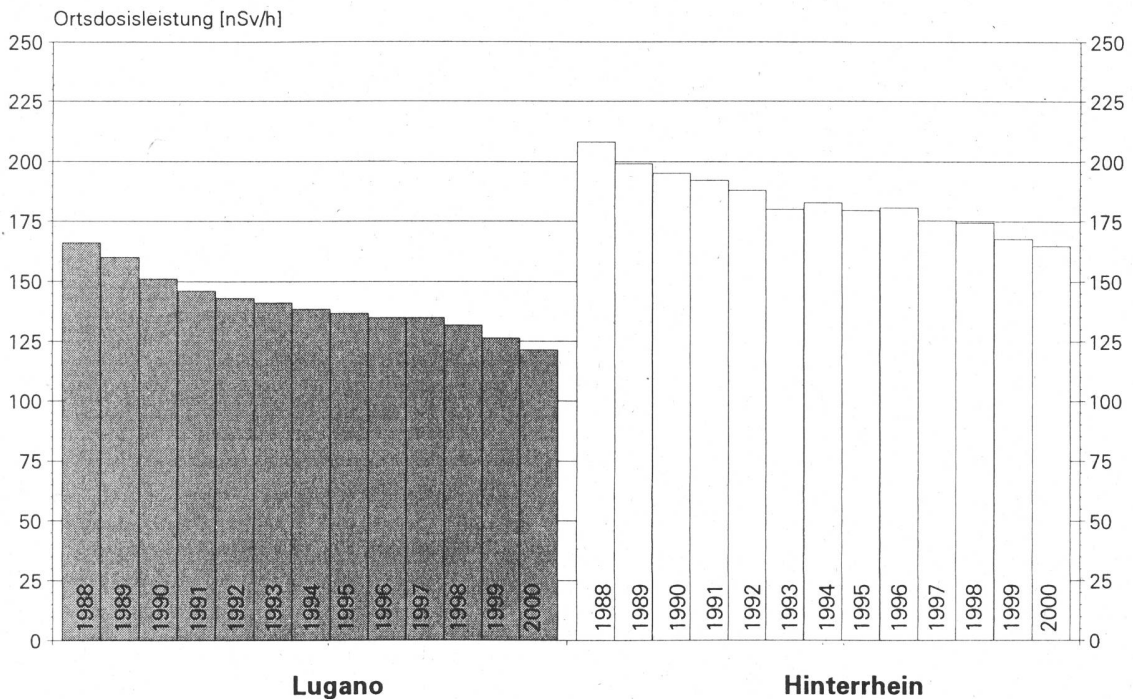


Fig. 4: Verlauf der Erfahrungswerte der Stationen Lugano und Hinterrhein für die Periode 1988 - 2000 (unter Berücksichtigung des unterschiedlichen Eigennulleffekts der Sonden). Stationen in Gebieten, die von radioaktiven Niederschlägen nach dem Unfall in Tschernobyl stark betroffen waren, zeigen eine 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 Höggerberg, 8093 ZÜRICH

²) Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), 5232 VILLIGEN-HSK

Zusammenfassung

Die aeroradiometrischen Messflüge vom 26. Juni - 29. Juni 2000 hatten folgende Gebiete zum Inhalt: Umgebung der Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL), Umgebung des Paul Scherrer Institutes (PSI), Gebiet des ehemaligen Versuchsreaktors in Lucens, verschiedene Gebiete des Tessin (Suche nach erhöhten Cäsium-Konzentrationen), NEAT Deponien für Ausbruchsmaterial des Gotthardbasistunnels in Amsteg und Sedrun. Im weiteren wurde mit zwei Messflügen die Quellsuche geübt. Die Resultate im Gebiet der Kernanlagen zeigten keine erhöhte Radioaktivität im Vergleich zu früheren Jahren. Beim Versuchsreaktor Lucens konnte das noch immer dort gelagerte, kontaminierte Material aufgrund seiner Strahlung wie im Jahre 1999 detektiert werden. Im Tessin wurden weitere ¹³⁷Cs Hot Spots entdeckt, deren Aktivitäten jedoch weit unter derjenigen des im Jahre 1999 detektierten Hot Spots am Pizzo Ometto lagen. Das Ausbruchsmaterial der NEAT Deponien wies keine wesentlich höhere natürliche Radioaktivität auf. Bei der Quellsuche wurde eine von einer Equipe des PSI ausgelegte ⁶⁰Co Quelle mit einer Aktivität von 190 MBq erfolgreich lokalisiert und identifiziert. Die neue online Auswertungs- und Darstellungssoftware leistete dabei wertvolle Dienste und ermöglichte die erfolgreiche Suche.

3.3.1 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 Indu-

strieunfälle 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.

3.3.2 Messeinrichtung

Das 1998 eingesetzte Messsystem verwendet einen NaI-Detektor mit 16.8 l Volumen. Das Spektrometer weist 256 Kanäle auf und kalibriert sich selbständig. 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 durch seine Blindflugtauglichkeit auch Notfalleinsätze bei schlechtem Wetter.

Messflüge

Der Vorteil von gammaspektrometrischen Messflügen liegt in der hohen Geschwindigkeit, in 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, detektor-spezifischen Zählraten in allgemeine Einheiten wie Dosisleistung oder nuklidspezifische Aktivitäten wird die Ausbeutekurve (efficiency curve) und die Empfindlichkeit (sensitivity) des Detektors benö-

tigt. 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 Luftmessungen 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}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 $200 \times 200 \text{ m}^2$; Bodenmessung: abgedeckte Fläche von ca. $10 \times 10 \text{ m}^2$) zu beachten.

3.3.3 Neuerungen und Entwicklungen

Im Januar 2000 wurde mit Hilfe eines Testfluges die Messapparatur und die Steuerungssoftware auf ihre Jahr 2000 Kompatibilität untersucht. Das aeroradiometrische Equipment funktionierte einwandfrei. Es wurden keine Probleme entdeckt, die auf den Jahreswechsel hätten zurückgeführt werden müssen. Im Frühjahr wurden dann die GPS-Empfänger ersetzt. Der neue GPS-Empfänger weist dank der möglichen Nutzung des militäri-

schen P-Code eine Genauigkeit von $\pm 10 \text{ m}$ auf. Diese Genauigkeit wird unabhängig von der Topographie und von Korrektursignalen erreicht. Bei den Messflügen 2000 wurde auch eine neue online Auswertungs- und Darstellungssoftware eingesetzt und getestet, die in der Forschungsgruppe Geothermik und Radiometrie am Institut für Geophysik der ETH Zürich in Zusammenarbeit mit dem Schwedischen Strahlenschutzinstitut entwickelt wurde. Sie ermöglicht eine gute Überwachung der Rohdaten, wertet die gemessenen Daten in Echtzeit aus und stellt sie mit anderen geographischen Informationen in einer Karte dar.

3.3.4 Flugaufnahmen 2000

Die aeroradiometrischen Messflüge vom 26. Juni - 29. Juni 2000 hatten neben den turnusgemässen Messungen über den Kernkraftwerken Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) sowie dem Paul Scherrer Institut (PSI), das Gebiet des ehemaligen Versuchsreaktors in Lucens und verschiedene Gebieten des Tessin (Suche nach erhöhten Cäsium-Konzentrationen) zum Inhalt. Im weiteren wurden die NEAT Deponien für Ausbruchsmaterial des Gotthardbasistunnels in Amsteg und Sedrun aeroradiometrisch vermessen. Zudem wurde mit zwei Messflügen die Suche nach radioaktiven Quellen geübt. Die Messflüge standen unter der Leitung von Dr. D. Frei (NAZ).

Im Auftrag der HSK wurden das Messgebiet KKB/KKL/PSI bereits mehrmals vermessen. Das KKL, das während der aeroradiometrischen Messungen im Betrieb war, konnte anhand der ^{16}N -Strahlung (Halbwertszeit $t_{1/2} = 7.3 \text{ s}$) festgestellt 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 hingegen konnte aeroradiometrisch nicht nachweisbar, da es sich um einen Druckwasserreaktor handelt und deshalb das Aktivierungsprodukt ^{16}N nicht aus dem sehr gut abgeschirmten Reaktorgebäude gelangt. Anhand der totalen Zählrate konnte das PSI West nicht eindeutig detektiert werden. Die gemessenen Zählraten waren eher tiefer als in den vorausgegangenen Jahren. Im modifizierten Man-Made-Gross-Count (MMGC)-Verhältnis (Schwarz et al. 1991) konnte auch das PSI West klar erkannt werden (Abbildung 1). Der MMGC-Ratio entspricht dem Verhältnis zwischen den Zählraten im tieferenergetischen ($400 - 1'400 \text{ keV}$) und im hochenergetischen ($1'400 - 3'000 \text{ keV}$) Spektrumsbereich. Da künstliche Radionuklide wie ^{137}Cs und ^{60}Co hauptsächlich im tieferenergetischen

Bereich γ -Quanten aussenden, stellt der MMGC-Ratio ein empfindliches Werkzeug zum Aufspüren von künstlichen Radionukliden dar.

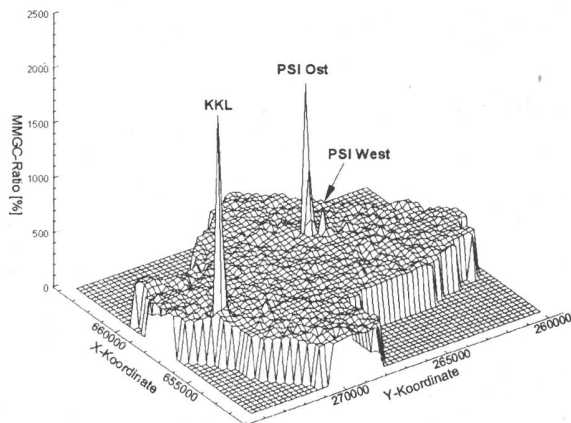


Abbildung 1: Modifiziertes MMGC-Verhältnis im Messgebiet KKB/KKL/PSI. Deutlich sind das KKW Leibstadt (KKL) sowie die beiden PSI anhand erhöhter Werte zu erkennen.

Wie sich bei der Analyse der Spektren über dem PSI West und dem PSI Ost zeigte, ist die Strahlung auf unterschiedliche Quellen zurückzuführen (Abbildung 2). Während beim PSI West neben etwas ^{60}Co hauptsächlich Annihilationsstrahlung gemessen wird, stammt die Strahlung über dem PSI Ost vorwiegend von ^{60}Co und etwas ^{137}Cs . 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.

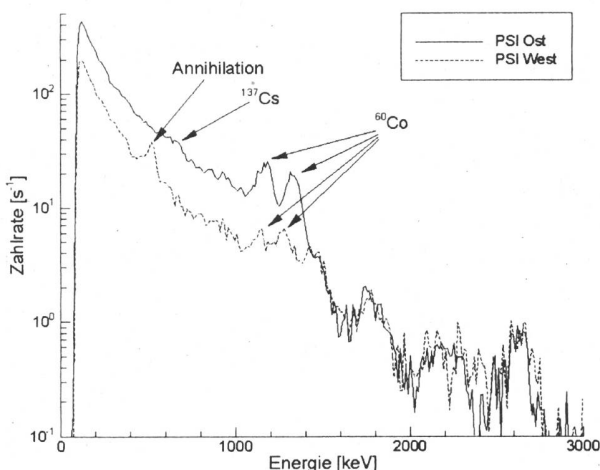


Abbildung 2: Gemitteltetes Spektrum über dem PSI Ost und PSI West. Die Daten stammen von den Messflügen aus dem Jahr 2000.

Beim Messflug im Gebiet des ehemaligen Versuchsreaktors Lucens wurde das selbe kontaminierte Material wie im Jahr 1999 detektiert, das aus der Reaktorkaverne stammt und in einem Gebäude nahe beim Reaktor in Behältern gelagert wird. Nach der Aufnahme des Betriebes im Zwischenlager in Würenlingen/AG (ZWILAG) wird dieses Material dorthin transportiert werden. 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. Im Jahre 2000 wurden im Tessin neben einem Gebiet im Bereich Cimetta nördlich von Locarno zwei Sondierlinien vermessen. Mit diesen Messflügen sollten weitere ^{137}Cs Hot Spots aufgespürt werden. Die Resultate zeigten dann auch verschiedene Hot Spots, deren Aktivitäten jedoch weit unter derjenigen des im Jahre 1999 am Pizzo Ometto oberhalb von Brissago (Bucher et al. 2000) entdeckten Hot Spots liegen (Abbildung 3).

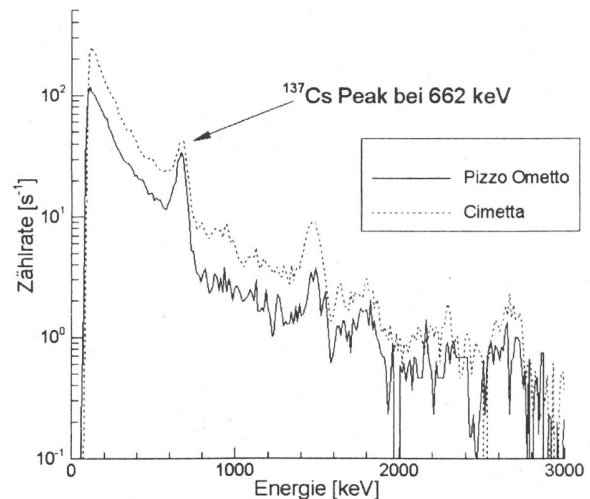


Abbildung 3: Gemittelte Spektren aus den Hot Spot Bereichen im Messgebiet nördlich von Locarno (Cimetta, Jahr 2000) und am Pizzo Ometto (Jahr 1999).

Im weiteren hatten die beiden im Einsatz stehenden Messteams je einen Messflug zur Quellensuche eigenständig durchzuführen. Dabei sollte eine ^{60}Co Quelle mit einer Aktivität von 190 MBq lokalisiert und identifiziert werden. Die Quelle wurde von einer Equipe des PSI ausgelegt und überwacht. Bei dieser Übung der Quellensuche zeigten sich auch die grossen Vorteile der neuen online Auswertungs- und Kartierungssoftware. Dank deren Hilfe konnten beide Messteams bereits während des Messfluges die Position der Quelle bestimmen und als Radionuklid ^{60}Co erkennen (Bucher et al. im Druck).

3.3.5 Langzeitvergleiche

Um Angaben über die langfristige Entwicklung der Umweltradioaktivität in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen machen zu können, wurden die aeroradiometrischen Messungen der letzten zehn Jahre in diesen Gebieten statistisch ausgewertet und analysiert. Dabei konnten in keinem Gebiet Trends erkannt werden. Vielmehr schwanken die Ergebnisse der einzelnen Jahre um einen Mittelwert, wobei sich die Schwankungen grösstenteils im Bereich von $\pm 10\%$ bewegen. Wie sich zeigte, sind diese Schwankungen hauptsächlich auf Radon und seine Tochterisotope in der Atmosphäre sowie die Änderung im Wassergehalt des Bodens zurückzuführen (Bucher im Druck).

3.3.6 Perspektiven

Aufgrund der in die Jahre gekommenen Rechner der Messsysteme, die bei einem Defekt nicht mehr ersetzt werden können, wird ein Konzept für deren Ersatz ausgearbeitet werden. Dieser Ersatz wird eine allgemeine Erneuerung der Messsysteme mit sich bringen. Dabei soll nach Möglichkeit auch die neue online Auswertesoftware im System integriert werden. Im weiteren wird auch die Auswertemethodik weiterentwickelt und die Datenarchivierung angegangen.

Im Rahmen eines EU-Projektes wird weiterhin der Kontakt zu anderen Aeroradiometrietams in Europa gepflegt und nach Möglichkeit vertieft. Zudem soll aktiv in verschiedenen Arbeitsgruppen dieses Projektes mitgearbeitet werden. Die vertiefte Zusammenarbeit mit dem Schwedischen Strahlenschutzinstitut (SSI) im Bereich der Softwareentwicklung soll aufrecht erhalten werden.

3.3.7 Literatur

- Bucher, B., im Druck: Methodische Weiterentwicklungen in der Aeroradiometrie. Dissertation Nr. 13973, ETH Zürich.
- Bucher, B., Schwarz, G., Rybach, L., Bärlocher, Chr., im Druck: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM00. Bericht für das Jahr 2000 zuhanden der Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR). Interner Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich.
- Bucher, B., Schwarz, G., Rybach, L., Bärlocher, 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, Ch., Gurtner, A., 1993: Mesures insitu et irradiation externe, In: Umweltradioaktivität in der Schweiz, jährliche Berichte 1990, 1991, 1992, 1993, BAG-Bericht. Bundesamt für Gesundheitswesen, Abteilung Strahlenschutz, Bern.
- Schwarz, G. F., 1991: Methodische Entwicklungen zur Aerogammaspektrometrie. 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.