

**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:** - (1996)

**Rubrik:** Messung der externen Strahlung

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 26.04.2025

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

### 3. Messung der externen Strahlung

#### 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

**M. Burger, F. Byrde, M. Astner** Laboratoire AC, 3700 SPIEZ

##### 3.1.1. Résumé

*La spectrométrie gamma in situ est exploitée en Suisse par la Section de surveillance de la radioactivité (SUER-Fribourg), la Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN-Villigen) et le Laboratoire AC (Spiez). Sur la base des mesures effectuées en 1996, l'exposition externe due aux concentrations des radionucléides naturels ( $^{40}\text{K}$ , séries  $^{232}\text{Th}$  et  $^{238}\text{U}$ ) présents dans le sol s'échelonne de 40 à 80 nSv/h. Par rapport à cette composante naturelle permanente, les contaminations du sol occasionnent actuellement entre 1 et 50 nSv/h. Cette composante artificielle, qui se limite essentiellement au  $^{137}\text{Cs}$  de Tchernobyl et des essais nucléaires passés, ne représente fréquemment que quelques nSv/h. Les valeurs accrues s'observent encore au Tessin ainsi que dans certains sites où le  $^{137}\text{Cs}$  est fortement fixé dans la couche supérieure du sol. Les mesures de l'exposition externe globale, enregistrée 1 m au-dessus du sol avec une chambre d'ionisation, ont indiqué en 1996 des valeurs comprises entre 80 et 170 nSv/h. La valeur maximale a été relevée au San Bernardino (2000m) en raison de la composante gamma accrue du rayonnement cosmique voisine de 80 nSv/h.*

##### 3.1.2. Méthode

Les laboratoires mobiles impliqués en Suisse dans la spectrométrie gamma in situ se basent pour l'étalonnage, la mesure et l'évaluation sur les recommandations du rapport ICRU-53 [1]. Depuis 1992 une équipe suisse de mesure participe régulièrement aux exercices internationaux d'intercomparaison. Dans l'exercice 1996 [2], la délégation suisse a confirmé une bonne qualité des résultats et des performances dans l'utilisation conventionnelle de la spectrométrie gamma in situ comme dans les interventions spéciales. Le prochain exercice se déroulera en Suisse du 6.10. au 10.10.97.

[1] ICRU-Report 53 "Gamma-Ray Spectrometry in the Environment" Dec. 94, ISBN 0-913394-52-1.

[2] IJS Report, IJS-DP-7462 October 1996 J.Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia

### 3.1.3. Résultats 1996

La figure 1 récapitule les concentrations des radionucléides naturels présents dans le sol et les débits d'exposition qui en résultent 1 m au-dessus du sol pour une distribution homogène des radioéléments dans les sites examinés en 1996 (erreur  $\pm 10\%$ ).

Liste des sites examinés en 1996

1. Niederruntigen 2. Rewag 3. Salvisberg 4. Ufem Horn. 5. Etzgen 6. Full-Pumpwerk 7. Full Schulhaus 8. Chlemmi 9. Aarau 10. Niedergösigen 11. Obergösigen 12. Starrkirch 13. Böttstein 14. Beznau 15. PSI-Oase 16. PSI-Est 17. Capolago 18. Gordola 19. Caslano 20. Magadino 21. San Pietro 22. Piotta 23. Stabio 24. Hinterrhein 25. San Bernardino 26. CERN 27. Hergiswil 28. L. C. de Fonds

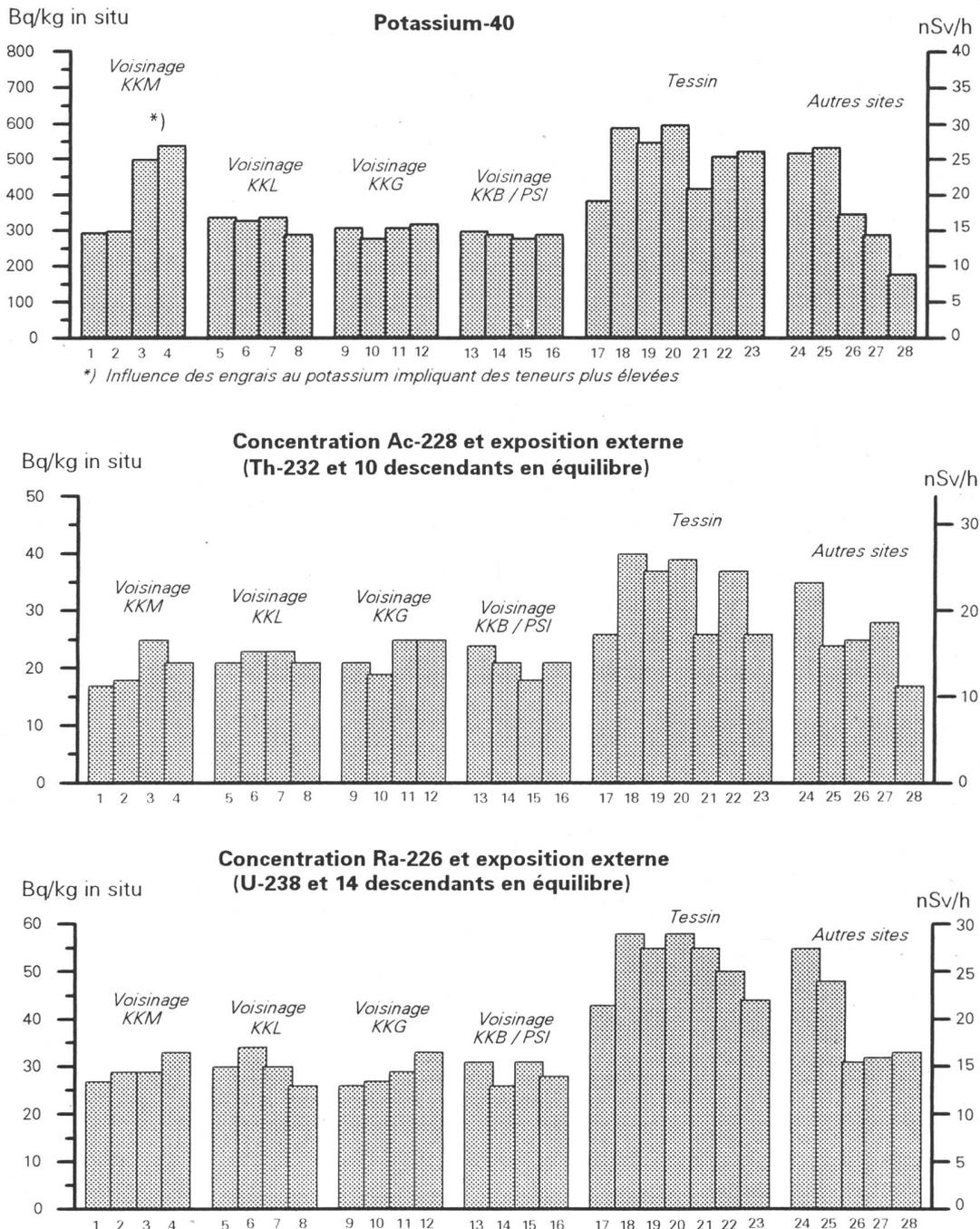
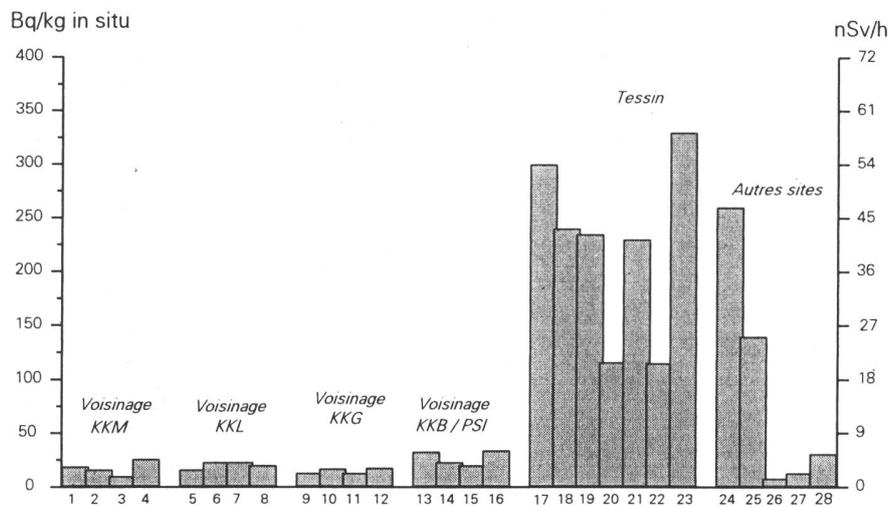


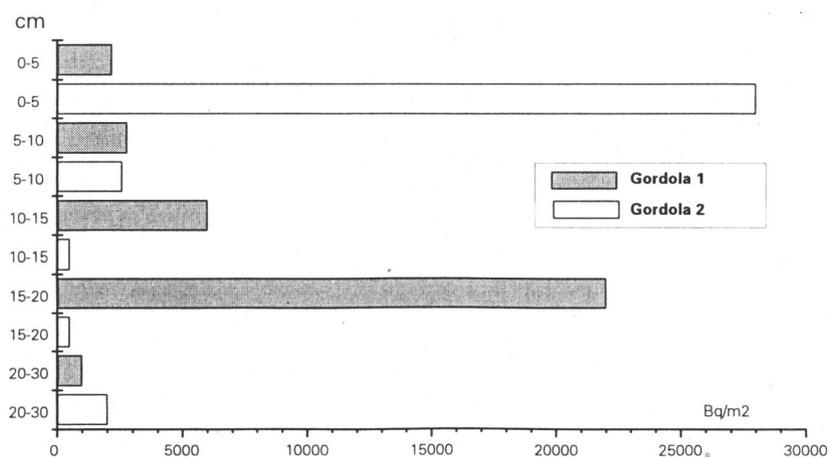
Figure 1 : Concentrations et exposition externe des radionucléides naturels du sol

La figure 2 indique les concentrations du  $^{137}\text{Cs}$  dans le sol et l'exposition externe qui en résulte 1 m au-dessus du sol sous l'hypothèse d'une distribution homogène du radiocésium dans les sites examinés en 1996 (erreur  $\pm 10\%$ ).



**Figure 2 :** Concentration  $^{137}\text{Cs}$  et exposition externe sous l'hypothèse, d'une distribution homogène

L'hypothèse d'une distribution homogène des contaminations dans le sol permet certes une détection sensible d'un apport artificiel d'un an sur l'autre ainsi que le suivi du transfert des contaminations [3]. Leur distribution réelle qui est requise si l'on s'intéresse à l'inventaire des contaminations surfaciques ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ), peut néanmoins considérablement différer dans l'espace et dans le temps. A titre d'exemple, la figure 3 montre sur un même site à la même époque (15.7.96), deux distributions largement distinctes du césium-137 néanmoins représentatives d'un inventaire identique. Cela explique aussi les écarts importants au niveau des activités massiques ( $\text{Bq}/\text{kg}$ ) in situ de la figure 2 en particulier au Tessin. Les débits d'exposition correspondants calculés sur la base d'une distribution homogène surestiment d'autant plus la situation réelle que les contaminations sont distribuées dans les couches superficielles du sol.



**Figure 3 :** Inventaire et distribution  $^{137}\text{Cs}$  de 2 carottages de sol du 15.7.96 à Gordola / TI

[3] 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.

### 3.1.4. Conclusions

Les concentrations individuelles des radionucléides présents dans le sol ainsi que l'exposition externe qui en résulte 1 mètre au-dessus du sol (figure 4), qui ont été déterminées en 1996 par spectrométrie gamma in situ, ont indiqué pour la radioactivité naturelle des valeurs qui se situent dans le domaine habituel de cette composante et pour la part artificielle des contributions en concordance avec les valeurs représentatives des retombées de Tchernobyl. Dans le voisinage des installations nucléaires (KKM / Mühleberg, KKL / Leibstadt, KKG / Gösigen-Däniken, KKB / Beznau, PSI / Paul Scherrer Institut et CERN / Genève), aucune incidence de leur exploitation en 1996 n'a été constatée. On enregistre aussi en général un recul plus prononcé des anciennes contaminations par rapport à la décroissance des radionucléides impliqués, en raison de leur transfert progressif dans le sol. Ainsi les traces du rejet de poussières radioactives de 1986 à la centrale de Mühleberg ne représentent actuellement qu'au plus environ 3 nSv/h du point de vue de l'exposition externe. Au niveau de l'inventaire des contaminations présentes dans les sols suisses dominées par le  $^{137}\text{Cs}$ , les concentrations globales s'échelonnent de près de 2000 jusqu'à 50000 Bq/m<sup>2</sup>. Le rapport de concentration  $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$  (Tchernobyl) voisin de 40 en 1996 permet encore de distinguer la part Tchernobyl des essais nucléaires dans les sites où la déposition de Tchernobyl a été importante (Tessin). Pour les autres endroits, il est le plus souvent requis de se baser sur les mesures antérieures en raison de la disparition du  $^{134}\text{Cs}$ . On estime ainsi pour la retombée des essais nucléaires des inventaires  $^{137}\text{Cs}$  compris entre 1800 et 7000 Bq/m<sup>2</sup> avec les valeurs les plus élevées au Tessin et sur les reliefs. Pour une exposition annuelle permanente, on obtient sur les sites examinés en 1996 des valeurs globales situées entre 0.7 et 1.5 mSv, dont 0.01 à 0.5 mSv sont encore attribuables à la composante artificielle subsistante. Du point de vue de son impact radiologique, cette contribution représente en général quelques pour-cent et jusqu'au maximum 30% (Tessin) de l'exposition externe globale.

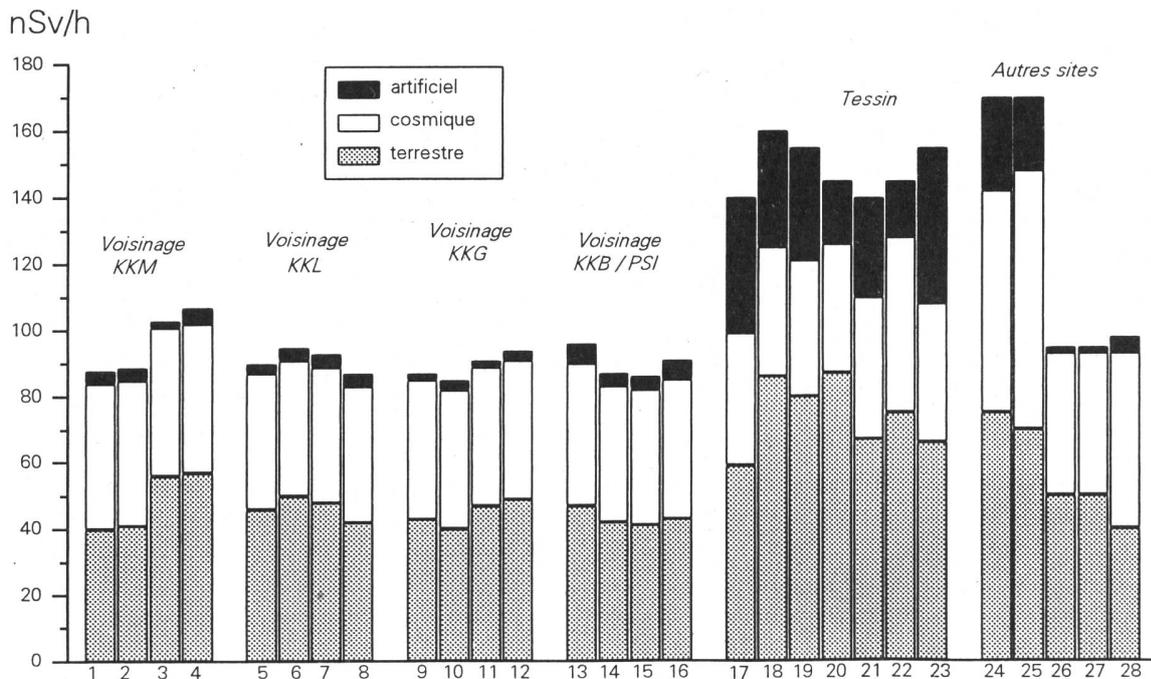


Figure 4: Contributions naturelles et artificielles à l'exposition externe

## 3.2. Die automatische Überwachung der Ortsdosen mit NADAM

**A. Leonardi, D. Rauber**      NAZ, Nationale Alarmzentrale, Eidg. Departement des Innern  
Postfach, 8044 ZÜRICH

### 3.2.1. Übersicht

Das Netz für die automatische Dosisleistungsmessung und -alarmierung NADAM wurde im Verlaufe des Jahres 1986 in Betrieb genommen und dient der grossräumigen und permanenten Überwachung der externen Strahlung. Auch 1996 konnte eine praktisch lückenlose Überwachung gewährleistet werden. In der Berichtsperiode wurden bis auf einzelne Störungen bei der Messung oder Datenübertragung keine besonderen Vorfälle registriert.

Mit den Atomwarnposten (AWP) werden seit 1991 regelmässig Übungen durchgeführt. Das dabei erhaltene umfangreiche Datenmaterial wurde nun gesamthaft ausgewertet. Daraus konnte auch für die AWP ein Satz von Erfahrungswerten bereitgestellt werden.

### 3.2.2. NADAM

#### Spezielle Ereignisse

In der Berichtsperiode wurden keine Werte registriert, die auf eine erhöhte Strahlenbelastung der Bevölkerung schliessen liessen. Einige besondere Vorkommnisse, die zu Störungen oder zu einer Zunahme der Messwerte führten, werden im folgenden kurz geschildert:

*Sonde Beznau, 7. - 11. 10. 1996: Vereinzelt erhöhte Werte bei Röntgenuntersuchungen*  
Während des Stillstands des KKW Beznau 2 wurden in der Maschinenhalle Röntgenuntersuchungen durchgeführt. Diese Arbeiten, die vom Werk jeweils im voraus angekündigt wurden, hatten eine Erhöhung einzelner Zehnminutenwerte zur Folge.

*Störung der Sonde Gösgen, 16. - 22. 10. 1996:* Wegen eines Kurzschlusses in der Datenleitung wurde ein stark schwankendes Signal registriert. Der Fehler konnte von der Unterhaltsequipe der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt SMA erkannt und behoben werden.

#### Erfahrungswerte und Mittelwerte

Die Erfahrungswerte wurden anhand der Messwerte 1996 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 1996 um mehr als 5 nSv/h vom bisherigen Erfahrungsbereich abweicht, wurden entsprechende Anpassungen vorgenommen. Der Erfahrungsbereich der Sonde PSI musste ebenfalls angepasst werden, weil nach einem Sondenwechsel Anfang Januar 1997 eine plötzliche Abnahme des Signals registriert wurde. Solche Unterschiede zwischen einzelnen Sonden sind nicht ungewöhnlich und können durch den Eigennulleffekt

der NADAM-Sonden erklärt werden. Die vorgenommenen Änderungen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

<b>Station</b>	<b>Erfahrungswerte<sup>*)</sup> 1995 [nSv/h]</b>	<b>Erfahrungswerte<sup>*)</sup> 1996 [nSv/h]</b>	<b>Mittelwert Januar - März 1997 [nSv/h]</b>	<b>Neue Erfahrungsbereiche<sup>*)</sup> [nSv/h]</b>	<b>Ursache der Änderung des Erfahrungswerts</b>
Jungfrauoch	197	204	-	170 - 240	Sondenwechsel
Leibstadt **)	92	98	-	80 - 120	Sondenwechsel
Locarno	193	178	-	150 - 210	Sondenwechsel Ende 1995
PSI ***)	106	107	93	70 - 110	Sondenwechsel Anfang 1997

\*) unter Berücksichtigung des Eigennulleffekts

\*\*) Erfahrungsbereich bereits im April 96 angepasst

\*\*\*) Neuer Erfahrungsbereich aus den Daten Januar - März 1997

### Zehn Jahre NADAM-Sonden

Einige NADAM-Sonden sind bereits seit 10 Jahren in Betrieb. Dies ermöglicht eine Übersicht über den Verlauf der Messwerte während längerer Zeit, aus der man verschiedene Einflüsse sowohl natürlichen als auch künstlichen Ursprungs erkennen kann.

Beispiele dafür sind die Abschirmung der Bodenstrahlung durch die winterliche Schneedecke, erkennbar an der wiederkehrenden Abnahme der Ortsdosisleistung der Sonde Samedan, sowie der kontinuierliche Abfall der Ortsdosisleistung in den Regionen, die 1986 stärker vom radioaktiven Niederschlag von Tschernobyl betroffen waren. Dieser ist in erster Linie durch den physikalischen Zerfall und das langsame Eindringen der langlebigen Radionuklide in den Boden bedingt und kann am Verlauf der Messwerte der Sonde Lugano beobachtet werden (Fig. 2a und 2b).

### 3.2.3. Atomwarnposten

Das Netz der Atomwarnposten (AWP) besteht aus 108 Messposten, die über die ganze Schweiz verteilt sind. Es handelt sich vorwiegend um Stellen der Kantonspolizei, aber auch der Feuerwehr oder der Grenzwachtposten, die mit Geräten zur Messung der Ortsdosisleistung in einem Messbereich von 50 nSv/h bis 10 mSv/h (Automess AD2 / EG 90) ausgerüstet sind.

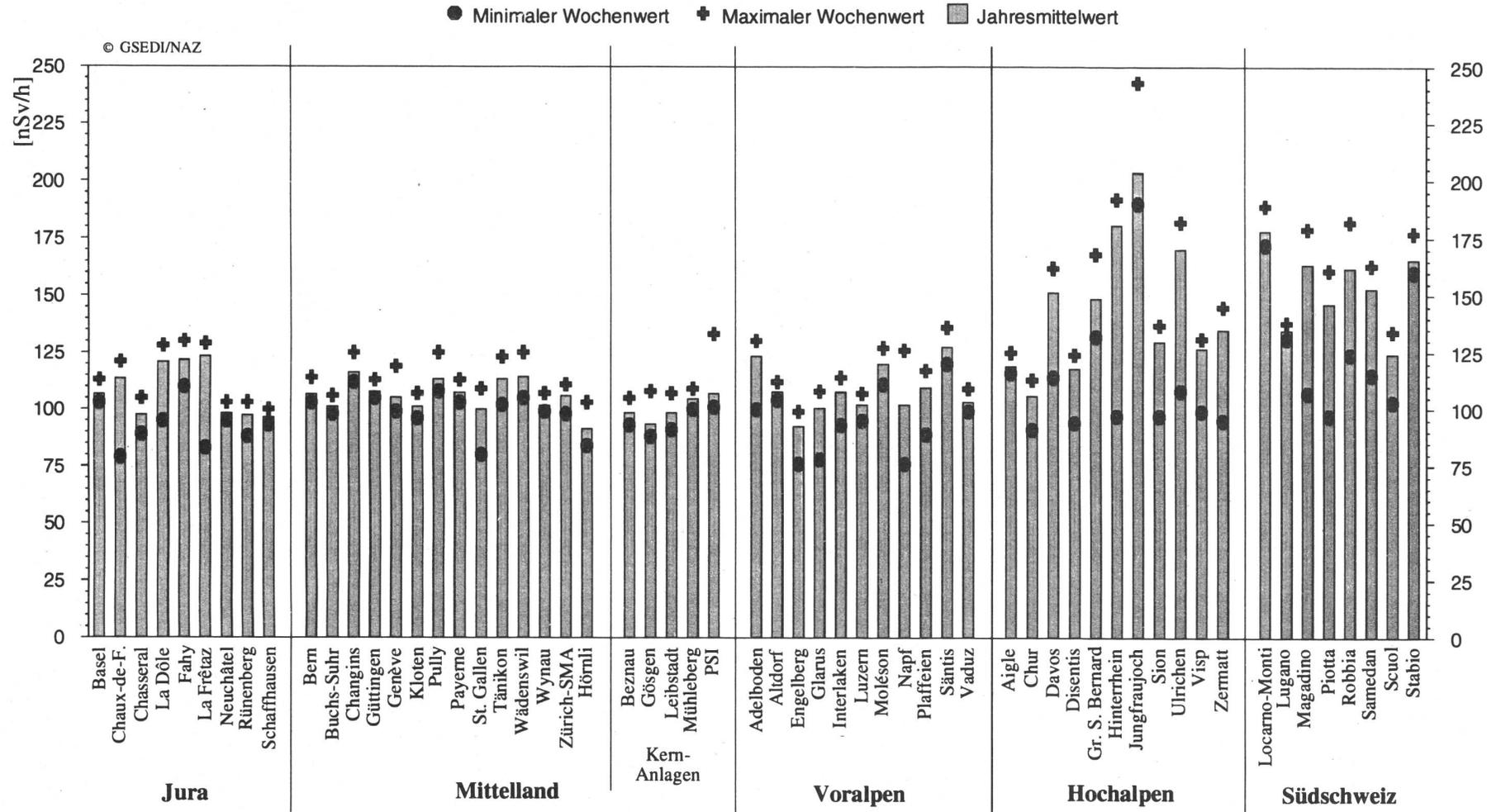
Diese Posten können jederzeit von der Nationalen Alarmzentrale (NAZ) alarmiert und eingesetzt werden und helfen so, bei einer Gefährdung durch Radioaktivität die automatischen Messnetze gezielt zu verdichten. Die Resultate werden elektronisch an die NAZ gemeldet.

Im Verlauf der letzten Jahre wurden mit den Atomwarnposten regelmässige Übungen durchgeführt. Ziel dieser Übungen war einerseits die Überprüfung der Einsatzbereitschaft und die Wahrung des Ausbildungsstands und andererseits die Bereitstellung von

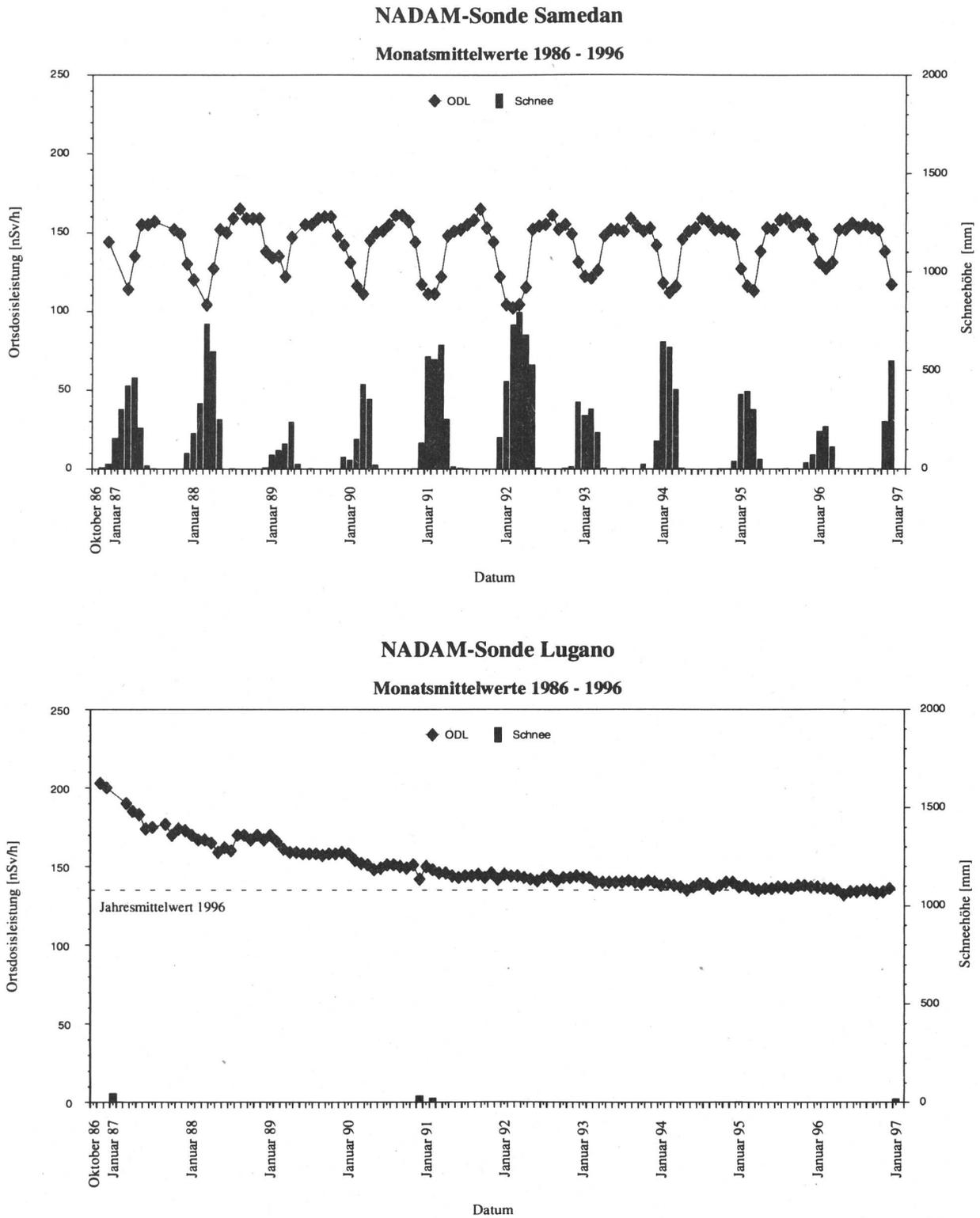
Erfahrungswerten für die einzelnen Standorte. Diese Erfahrungswerte dienen der NAZ in einem Ereignisfall als Vergleichsbasis für die Interpretation der Messwerte.

Eine Darstellung der geographischen Verteilung der so erhaltenen Erfahrungswerte ist in Fig. 3 abgebildet. Wie bei NADAM erkennt man auch hier ein sehr einheitliches Bild mit einer homogenen Verteilung im Mittelland und höheren Werten im Alpengebiet.

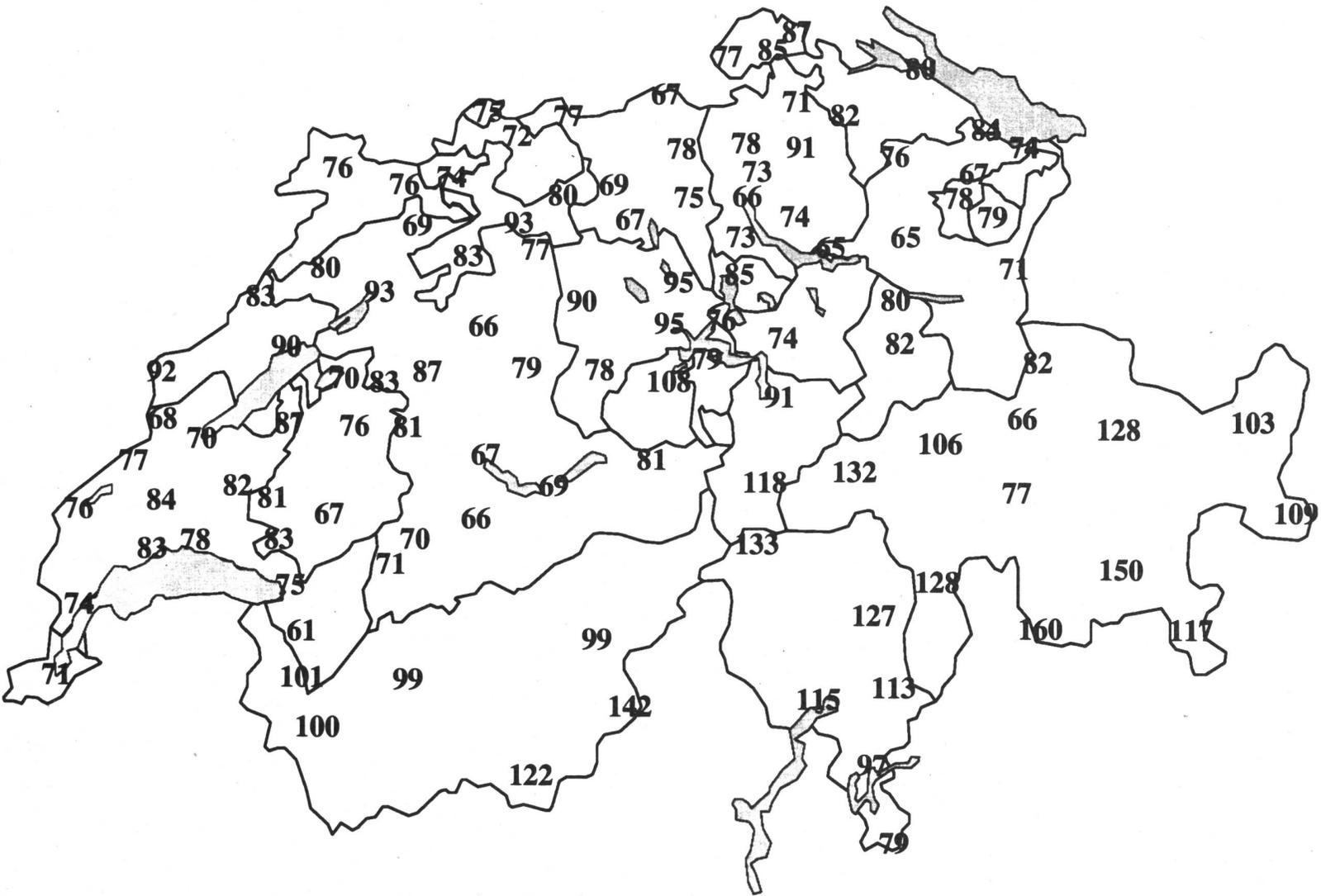
# Jahresmittelwert 1996 nach Regionen



**Fig. 1:** Jahresmittelwerte der NADAM-Sonden 1996, 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. Die grössere Streuung der Station PSI ist auf den Alterungsprozess der Messsonde zurückzuführen. Die Sonde wurde Anfang 1997 ersetzt.



**Fig. 2:** Verlauf der Monatsmittelwerte der Stationen Samedan und Lugano für die Periode von Oktober 1986 bis Dezember 1996 (unter Berücksichtigung des Eigennulleffekts).



**Fig. 3:** Erfahrungswerte der Atomwärmeposten [nSv/h]. Diese Werte wurden aus den Resultaten von 12 Tests ermittelt, die in der Zeit von 1991 bis 1995 stattgefunden haben.

### 3.3. Natürliche Strahlung in der Schweiz

H. U. Johner, H. Völkle

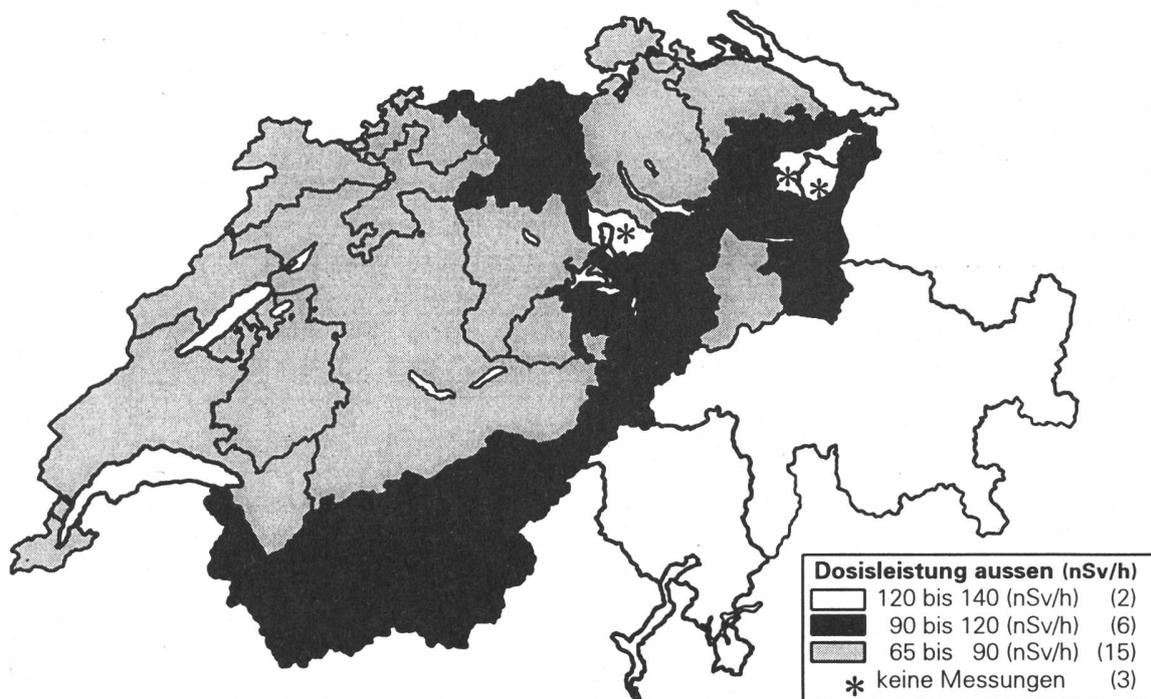
Sektion Überwachung der Radioaktivität  
Bundesamt für Gesundheit  
ch. du Musée 3, 1700 FRIBOURG

#### Zusammenfassung

Die kosmische Strahlung und das Vorkommen von natürlichen Radionukliden unterschiedlicher Konzentration im Boden und in Baumaterialien führt zu einer natürlichen, örtlich variablen Strahlenexposition. Im Hausinnern wird die terrestrische und kosmische Strahlung durch die Hauswände und Decken zwar abgeschwächt, aber der Beitrag der Baumaterialien führt in der Schweiz zu einer leichten Erhöhung der Dosisleistung im Innern um ca. 10%.

#### 3.3.1. Einleitung

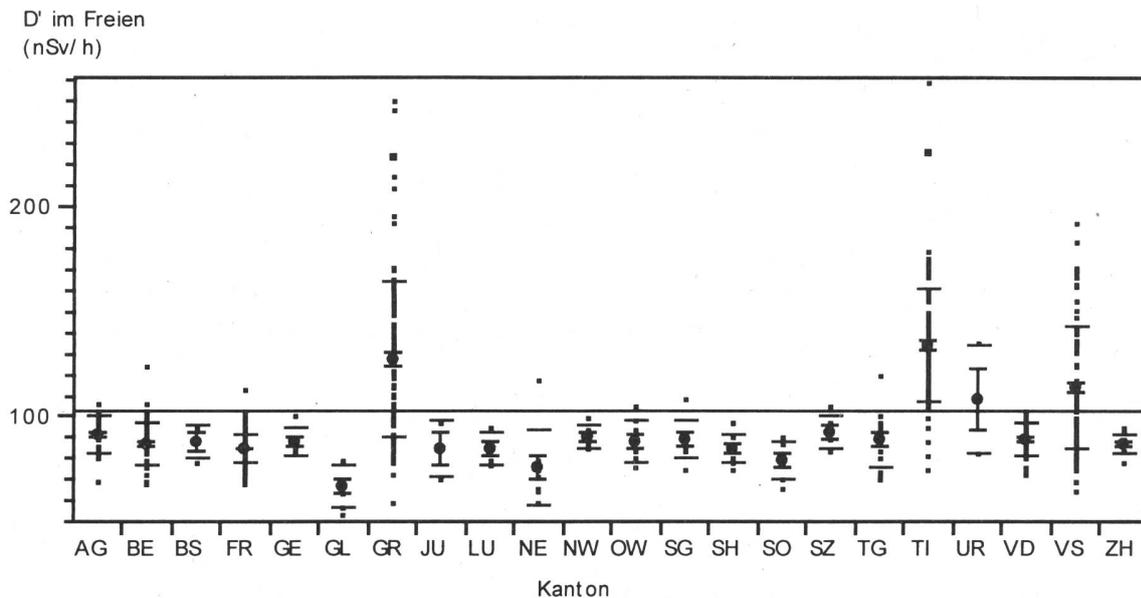
Im Rahmen des BAG-Projektes "Natürliche Strahlung in der Schweiz" wurden die Beiträge der natürlichen Radionuklide und der kosmischen Strahlung zur externen Dosis im Freien und im Hausinnern erfasst. Ein weiteres Ziel ist die Ermittlung der zivilisationsbedingten Einflüsse wie z.B. den Beitrag der Baustoffe und die Abschirmung der kosmischen und terrestrischen Strahlung durch die Gebäudehülle.



Figur 1: Karte der Dosisleistung in der Schweiz

### 3.3.2. Messungen im Freien

Die Messungen im Freien decken mittlerweile das Gebiet der ganzen Schweiz ab. Obwohl in den Berggebieten ein besonders dichtes Messnetz erstellt wurde, fanden sich keine Gebiete mit stark erhöhten Werten. Da sich die Messungen auf die bewohnten Regionen beschränken, ist die Schwankungsbreite der Werte kleiner als anhand des Radionuklidgehaltes ausgewählter Gesteine zu erwarten wäre. Figur 1 zeigt eine Karte der Schweiz mit den Kantonsmittelwerten und Figur 2 die Häufigkeitsverteilung nach Kantonen.

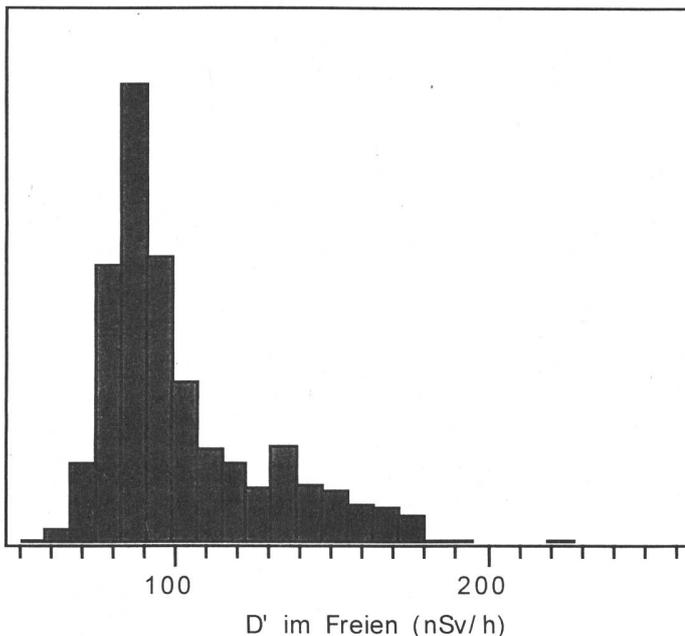


**Figur 2:** Häufigkeitsverteilung der Messwerte aussen nach Kantonen mit Mittelwerten, Standardfehlern und Standardabweichung.

Der grösste Einfluss auf die Dosisleistung hat der Radionuklidgehalt des Bodens und somit die geologischen Verhältnisse. Der deutlichste Unterschied zeigt sich bei einer Klassierung in kristallin und nichtkristallin. Eine Einteilung in geologische Einheiten erscheint sinnvoller als nach politischen, da es etliche Kantone mit geologisch grundsätzlich verschiedenen Gebieten gibt. Diese Einteilung wird für den Schlussbericht erstellt. Figur 3 zeigt die Häufigkeitsverteilung aller Messwerte im Freien. Der Mittelwert beträgt  $102 \pm 1$  nSv/h. Die Verteilung ist weder normal noch lognormal. Am ehesten kann sie als Überlagerung von zwei Normalverteilungen, eine um 85 nSv/h und eine um ca. 140 nSv/h, betrachtet werden.

**Figur 3:**

Häufigkeitsverteilung der Messwerte im Freien.

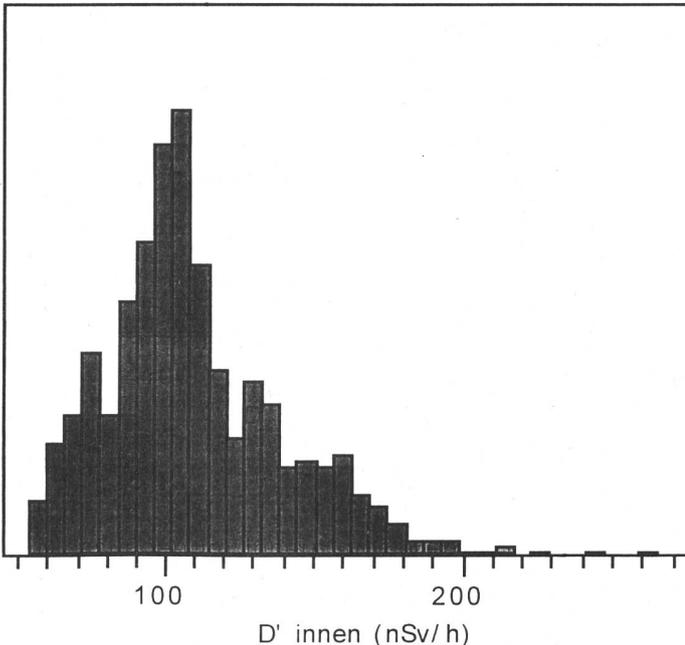


### 3.3.3. Messungen im Haus-Innern

In den meisten Kantonen wurden auch Messungen im Innern, vor allem im Wohnbereich ausgeführt. Die Daten einiger Kantone sind noch nicht in diesem Bericht enthalten. Figur 4 zeigt die Häufigkeitsverteilung dieser Werte.

**Figur 4:**

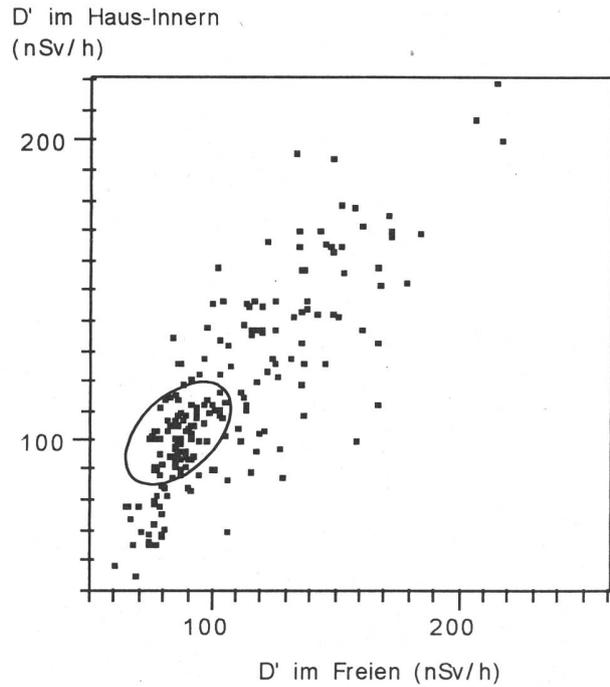
Häufigkeitsverteilung der Messwerte im Innern.



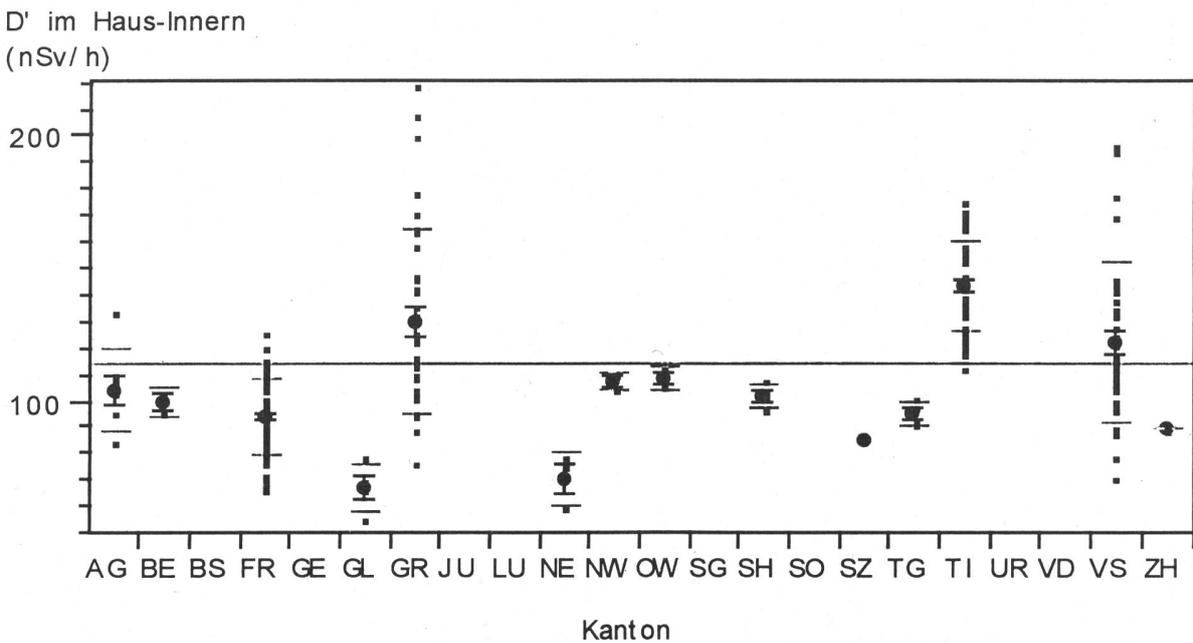
Der Mittelwert beträgt  $111 \pm 1$  nSv/h und liegt somit um ca. 10% höher als im Freien. Die Verteilung ist flacher, was auf eine grössere Streuung durch Einflüsse wie Haustyp oder Bauweise zurückgeführt werden kann. Figur 5 zeigt den Zusammenhang zwischen den Messwerten innen und aussen und Figur 6 die Häufigkeitsverteilung der Messwerte im Haus-Innern nach Kantonen.

**Figur 5:**

Korrelation zwischen den Messwerten im Freien und im Haus-Innern. Hervorgehoben ist die Lage der Werte des Kantons Freiburg.



**Figur 6:**



**Figur 6:** Häufigkeitsverteilung der Messwerte im Haus-Innern nach Kantonen mit Mittelwerten, Standardfehlern und Standardabweichung.

Es besteht eine deutliche Korrelation zwischen den Messwerten im Freien und jenen im Innern, mit einem Korrelationskoeffizienten von 0.82. Ein linearer Fit ergibt folgendes Resultat:

$$D' (\text{innen}) = 0.0 + 1.076 \pm 0.005 * D' (\text{aussen})$$

Dabei wurde das konstante Glied Null gesetzt, weil es durch die vielen Werte im Kanton Freiburg stark beeinflusst wird. (Das Resultat ist unempfindlich auf das konstante Glied.) Erstaunlicherweise kann im Mittel die Dosisleistung im Innern mit einem Fehler von 15% direkt aus der Messung im Freien berechnet werden.

Um weitere Einflüsse quantitativ einzubeziehen, wurden die Daten mit einem statistischen Modell analysiert. Als wichtige Parameter erwiesen sich das Stockwerk (von oben gezählt: "Anzahl Stockwerke - Stockwerk"), der Haustyp, der Bautyp, Deckenmaterial und Bodenmaterial. Formel 1 zeigt das Resultat der statistischen Modellierung.

Messwert im Hausinnern (nSv/h) = 16.43 + 0.874 * Messwert aussen +	
falls Anzahl Stockwerke-Stockwerk =	
0	+2.37
1	+1.87
2	-0.62
3 und mehr	-3.63
falls Bodenmaterial =	
Beton	-3.90
Teppich oder Parkett	+1.75
Andere	+2.15
falls Deckenmaterial =	
Hohlkörper (Hurdisdecke)	+11.48
Leichtbau	-8.23
Andere	-3.25
falls Haustyp =	
Einfamilienhaus	+3.21
Mehrfamilienhaus	+1.51
Arbeitsgebäude	-4.72
falls Bauweise =	
Backstein	+10.14
Beton	+0.84
Naturstein	+3.26
Holz	-14.23

Formel 1: Berechnung der Dosisleistung im Haus-Innern anhand der wichtigsten Einflussgrößen. ( Zu der Summe in der ersten Zelle der Tabelle ist ein Glied aus jeder der fünf Gruppen zu summieren.)

Der Fehler der Voraussage reduziert sich mit dem statistischen Modell auf 12%. Andere Einflussgrößen wie z.B. Wandmaterial fallen weg, weil sie stark mit anderen Variablen, wie dem Bautyp korrelieren.

### 3.3.4. Mittlere Jährliche Dosis

Da die Messpunkte nicht regelmässig über die Schweiz verteilt sind und die Bevölkerungsdichte stark schwankt, können die oben angegebenen "direkten" Mittelwerte nicht zur Bestimmung einer mittleren Strahlenexposition herangezogen werden. Es wird deshalb eine Gewichtung nach Aufenthaltswahrscheinlichkeit in den verschiedenen Räumen, Bevölkerung und Haustyp vorgenommen. Für die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten wurde folgende Annahme gemacht:

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

Für die Gewichtung nach Bevölkerung und Haustyp wurden die Angaben über die Anzahl der verschiedenen Haustypen pro Bezirk verwendet. Mit der Annahme, dass sich im Mittel 3 Leute in einer Wohneinheit aufhalten, wurde die Bevölkerung pro Haustyp und Bezirk berechnet. Die mittlere gewichtete Dosisleistung bleibt im Fehlerbereich wenn diese Anzahl zwischen 1 und 6 variiert wird. (Die Annahme kann somit als in diesem Rahmen gültig angenommen werden.)

Dosisleistung im Haus-Innern: (95 ± 2) nSv/h  
Dosisleistung im Freien: (91 ± 2) nSv/h

Mit 20% Aufenthalt im Freien ergibt sich eine mittlere **natürliche Strahlenexposition** von:  
(94 ± 2) nSv/h oder **(0.82 ± 0.02) mSv/a**

### 3.3.5. Weiteres Vorgehen

Es werden noch einige ergänzende Messungen in schlecht erfassten Gebieten ausgeführt und ein Abschlussbericht verfasst.

## **3.4. Aeroradiometrische Aufnahmen in der Schweiz**

**G. Schwarz<sup>1</sup>, L. Rybach<sup>2</sup>, Chr. Bärlocher<sup>2</sup>**

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

### **3.4.1. Zusammenfassung**

*Die Aeroradiometrieübung ARM96 vom 20. bis 24. Mai 1996 hatte neben der Festigung des Ausbildungsstandes der Messteams, drei Schwerpunktthemen: die praktische Erprobung des neu entwickelten Messgerätes, die Vermessung der Magadinoebene und Stichprobenmessungen über ausgewählten Schrottlagern im Hinblick auf radioaktive Teile.*

*Im Rahmen der zweijährlichen aeroradiometrischen Überwachung der Kernanlagen wurden diesmal die Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt sowie das Paul Scherrer Institut vermessen.*

### **3.4.2. Einleitung**

#### **Grundsätzliches**

Aeroradiometrische Helikoptermessungen erlauben eine schnelle und flächendeckende Erfassung der künstlichen und natürlichen Radioaktivität des Bodens. Die Messungen erfolgen mit einem hochempfindlichen Detektor für Gamma-Strahlen. Neben der Bestimmung der Strahlungsstärke, können anhand der Energie der ausgesandten Strahlung auch künstliche und natürliche Strahlenquellen unterschieden werden.

In der Zeit von 1989 bis 1993 wurde die Umgebung der schweizerischen Kernanlagen jährlich aeroradiometrisch vermessen. Dazu wurde eine spezielle Methodik (Datenakquisition, Datenverarbeitung, Kartierung) entwickelt und angewandt.

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 die Bereitstellung des Messsystems werden weiterhin vom Institut für Geophysik der ETHZ übernommen.

#### **Messgerät**

Für die Messflüge wird ein Super-Puma-Helikopter der Armee eingesetzt. Dieser Helikoptertyp bietet sehr gute Navigationsmöglichkeiten und erlaubt durch seine Blindflugtauglichkeit auch Notfalleinsätze bei schlechtem Wetter.

Das Messsystem besteht aus einem NaI-Detektor mit einem Volumen von 17 Litern. Als Spektrometer wird ein für Luftaufnahmen ausgelegtes 256-Kanal-Spektrometer verwendet.

Die Steuerung des Systems erfolgt mit einem Industrie-PC. Die Daten werden auf PCMCIA-Memorykarten gespeichert.

Die Positionsbestimmung des Helikopters erfolgt mit dem satellitengestützten Positionierungssystem GPS. Zusätzlich zu den Radioaktivitätsdaten werden laufend Radarhöhe, Luftdruck, Aussentemperatur und Lagewinkel des Helikopters aufgezeichnet.

### **Messflüge**

Gammaspektrometrische Messungen können auch am Boden durchgeführt werden. Der Hauptgrund warum sie aus der Luft gemacht werden ist die Messgeschwindigkeit. Mit luftgestützten Messungen kann in derselben Zeit eine rund 2'500 mal grössere Fläche abgedeckt werden als mit vergleichbaren Bodenmessungen und dies auch in unzugänglichen Gebieten.

Um das Messgebiet gleichmässig abzudecken, werden die Flüge in einem regelmässigen Raster durchgeführt. Der Abstand zwischen den einzelnen Fluglinien beträgt 250m, die Flughöhe 90m über Grund.

### **Auswertung**

Das Auswerteverfahren für aeroradiometrische Daten ist in Schwarz (1991) beschrieben. Bei der Interpretation von aeroradiometrischen Karten ist zu beachten, dass die Messungen aus der Luft immer einen Mittelwert über ein Gebiet von 300m x 300m darstellen. Zum Vergleich: Bodenmessungen decken nur eine Fläche von rund 100 m<sup>2</sup> ab.

### **3.4.3. Test des neuen Messgerätes**

Um die Einsatzbereitschaft der Aeroradiometrie zu erhöhen, wurde 1995 vom Institut für Geophysik der ETHZ im Auftrag der NAZ ein zweites Messsystem gebaut. Es weist weniger Detektorleistung als das bisherige System auf und ist vor allem für Fälle mit starker Gelände-Verstrahlung vorgesehen. Ansonsten enthält es die gleichen Komponenten. Dadurch ist sichergestellt, dass im Notfall immer eine Redundanz vorhanden ist.

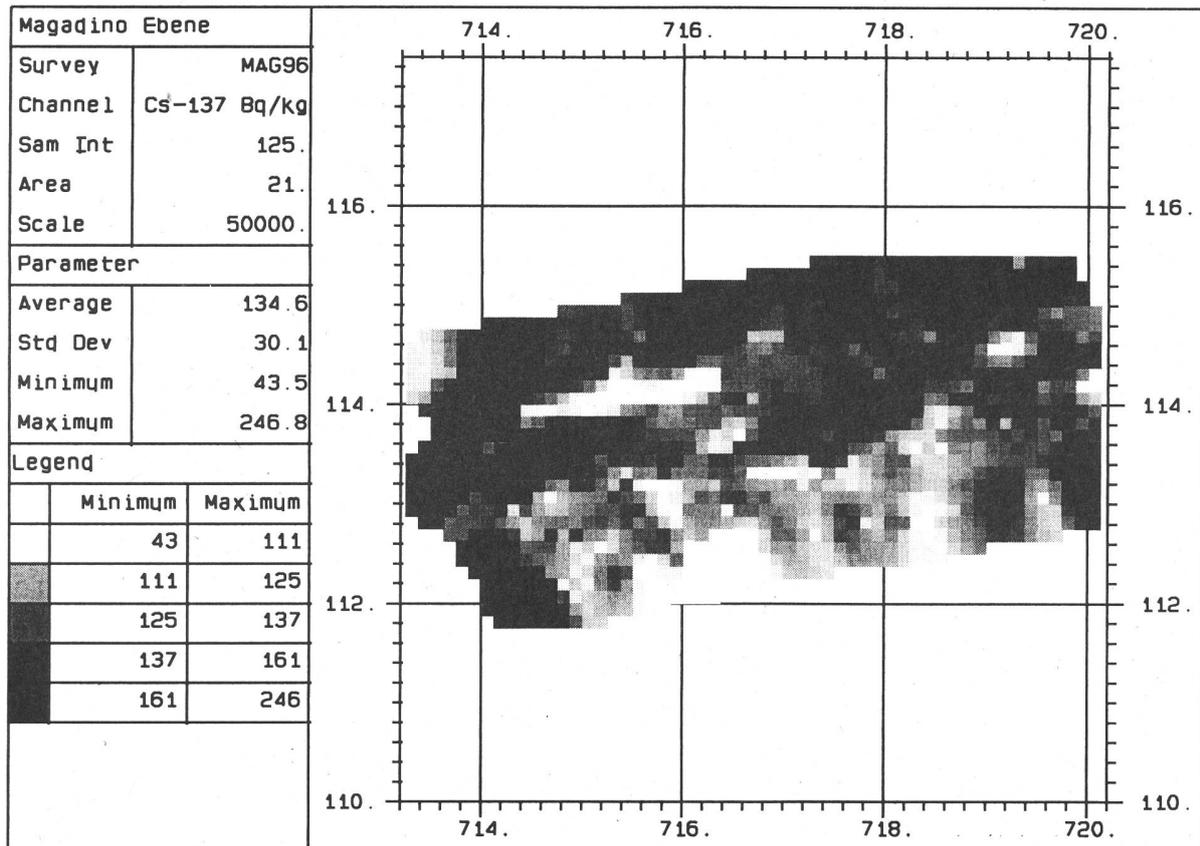
1996 konnte das neue Messsystem erstmals produktiv eingesetzt werden. Für die Tests wurden zwei bereits mit dem Standardsystem vermessene Gebiete nochmals mit dem neuen System vermessen. Das neue Messgerät hat sich in diesem Einsatz bewährt und lieferte im Rahmen der reduzierten Detektorempfindlichkeit vergleichbare Ergebnisse.

### **3.4.4. Magadinoebene**

Das Tessin war wegen der Wettersituation im Mai 1986 am meisten vom Fallout von Tschernobyl betroffen. Auch heute noch weist das Gebiet die höchsten Konzentrationen von künstlichen radioaktiven Isotopen in der Schweiz auf.

Erste aeroradiometrische Messungen in der Magadinoebene wurden 1991 organisiert. Dabei wurden an fünf in-situ-gammaspektrometrisch vermessenen Punkten, Steigflüge zu Kalibrierzwecken durchgeführt (Schwarz et al. 1991). 1996 wurde das Gebiet nun flächendeckend vermessen.

Das Messgebiet deckt die Gegend zwischen Cugnasco, Cadenazzo, St. Antonio und Gubiasco ab. In Figur 1 ist die Karte der Cs-137-Konzentration abgebildet. Die höchsten Cs-137-Werte mit einem Maximum von 250 Bq/kg treten im Westen des Messgebietes im Bereich der Sümpfe entlang des Ticino auf. Die Cs-137-Verteilung korreliert mit der Landnutzung. In landwirtschaftlich genutzten Flächen wurde das 1986 abgelagerte Cs-137 untergepflügt. Durch diese vertikale Durchmischung wurde die Konzentration erniedrigt. In ungenutzten Flächen liegt das Cs-137 immer noch nahe der Erdoberfläche. Dies äussert sich in relativ hohen Konzentrationen von über 200 Bq Cs-137 pro kg Boden.



**Figur 1: Karte der Cs-137 Konzentration (Bq/kg) der Magadinoebene**

Die Karte deckt das Gebiet zwischen Cugnasco, Cadenazzo, St. Antonio und Gubiasco ab (Schweizer Landeskoordinaten in [km]). Die höchsten Cs-137-Werte mit einem Maximum von 250 Bq/kg treten im Westen des Messgebietes im Bereich der Sümpfe entlang des Ticino auf.

### 3.4.5. Schrottplätze

Nach Angaben von Nuclear News ereignen sich weltweit im Mittel fünf Fälle von unsachgemässer Entsorgung von radioaktiven Quellen pro Jahr. Diese Quellen gelangen meist zusammen mit Schrott in die Stahlwerke. Bei der Aufschmelzung des Schrottes wird diese Radioaktivität freigesetzt und kann sehr grosse Stahlmengen kontaminieren.

So wurde 1984 in einem Stahlwerk in Juarez (Mexico) eine Co-60 Quelle eingeschmolzen. Die Kontamination wurde erst drei Monate später entdeckt, als ein mit Baustahl beladener Lastwagen die Detektoren des Los Alamos Testgeländes passierte. Der kontaminierte Stahl musste unter enormen Kosten in ganz Nordamerika zusammengesucht werden. Dabei mussten auch mehrere Häuser abgebrochen werden.

Die frühzeitige Lokalisierung solcher Quellen im Schrott ist deshalb nicht zuletzt aus wirtschaftlichen Gründen von grosser Bedeutung. Viele Stahlwerke haben grosse Detektoren installiert, um das eingehende Material auf Radioaktivität zu untersuchen. Die Detektion gestaltet sich in der Praxis jedoch sehr schwierig, weil die Quellen meist in ihren Abschirmbehältern vorliegen und deshalb nur wenig Strahlung nach aussen abgeben. Nähere Angaben zur Problematik finden sich in Cox (1995).

Ist die Quelle nicht im Abschirmbehälter oder liegt eine oberflächliche Kontamination des Schrottes vor, ist die Detektion prinzipiell auch mittels Aeroradiometrie möglich. Die aeroradiometrischen Messungen können somit erste grobe Hinweise auf eine Kontamination bringen, sie können jedoch die regelmässige Kontrolle am Boden nicht ersetzen.

Auf Anregung der SUVA wurden versuchsweise drei schweizerische Schrottplätze untersucht. Als Testfälle wurden die Max Maag AG in Winterthur, die Neomontana AG in Zürich-Altstetten und die Von Moos Stahl AG in Emmenbrücke ausgewählt. Über jedem Standort wurden drei kurze Fluglinien in einem Abstand von je 125 m vermessen.

Erwartungsgemäss konnte an keinem Standort eine erhöhte Aktivität festgestellt werden. Die gemessenen Werte liegen alle im Bereich des natürlichen Untergrundes.

### **3.4.6. Flugaufnahmen 1996**

Die weiteren Flugaufnahmen von 1996 erfolgten wie auch die bereits erwähnten Messflüge in der Zeit vom 20.5.1996 bis zum 24.5.1996. Im Auftrag der HSK wurden die beiden Messgebiete KKB und KKL bereits mehrmals vermessen. Auch 1996 wurden für die Messungen dieselben Flugparameter verwendet. Schliesslich wurde im Rahmen der NARASG-Übung des Zivilschutz Sankt Gallen je ein Gebiet bei Rorschach und Altstätten befliegen.

Figur 2 zeigt eine 3D-Darstellung der Ortsdosisleistung (ODL) in den Messgebieten KKB und KKL. Die ODL wurde anhand der Totalzählraten mittels eines einfachen Modells abgeschätzt. Dabei blieben spezielle Nuklidzusammensetzungen und Quellgeometrien unberücksichtigt. Dies führt insbesondere bei den Spitzenwerten beim KKL und beim PSI zu relativ grossen Fehlern (+/- 50%).

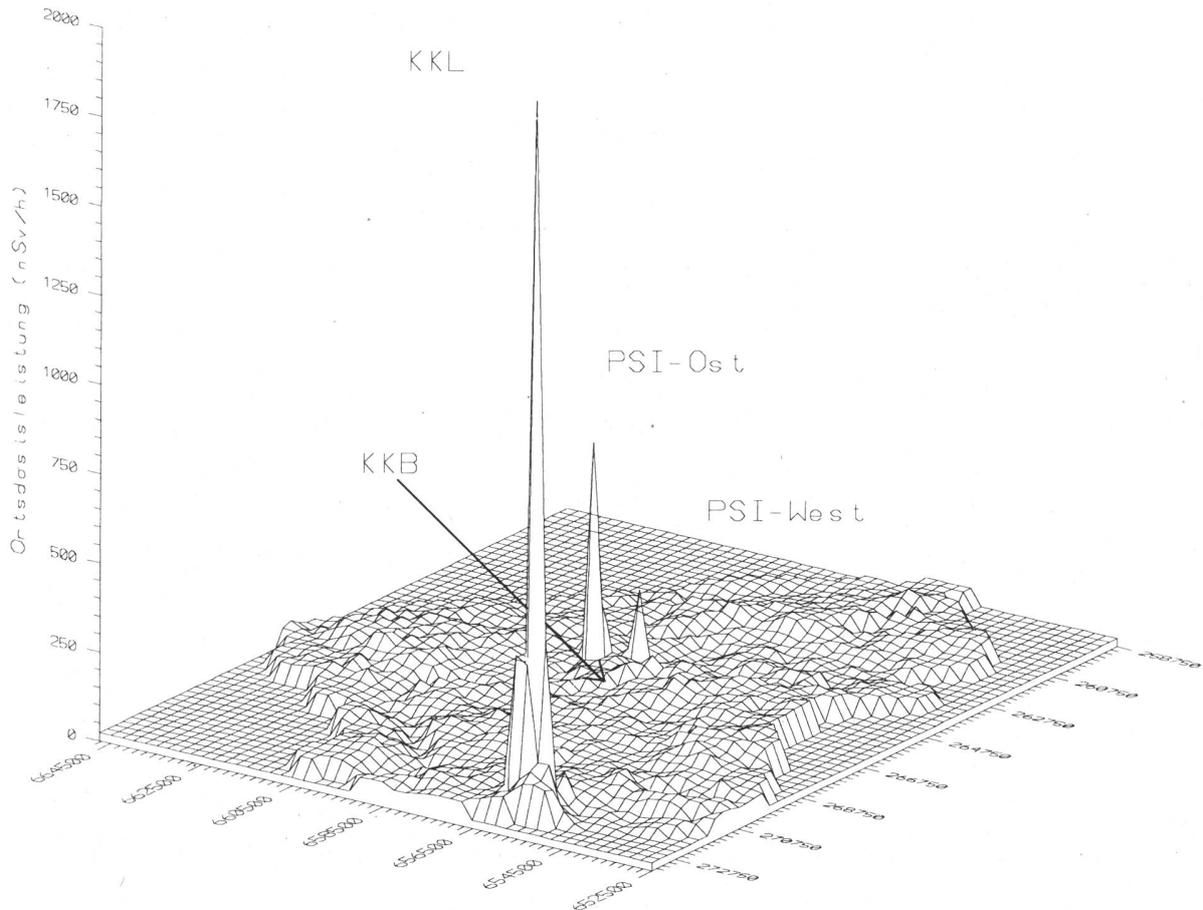
Das KKL, das während der aeroradiometrischen Messungen im Betrieb war, konnte anhand der N-16 Strahlung sehr gut detektiert werden. Diese Strahlung wird bei Siedewasserreaktoren durch das Aktivierungsprodukt N-16 erzeugt, welches im Betrieb durch die Frischdampfleitung ins Maschinenhaus gelangt. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise wenig abgeschirmt ist, kann die hochenergetische Gammastrahlung des N-16 aus der Luft gut detektiert werden.

Die direkte Strahlung des KKB ist sehr schwach und konnte bei den Messungen von 1996 nicht eindeutig detektiert werden. Beim PSI konnten zwei eindeutige Peaks kartiert

werden. Sie werden von der Direktstrahlung der Lagerstätten für radioaktive Komponenten (PSI-West) resp. Abfälle (PSI-Ost) verursacht.

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

Die Messungen im Rahmen der Übung NARASG zeigten an beiden Messgebieten (Rorschach und Altstätten) durchwegs durchschnittliche Werte und bestätigten die gleichzeitig durchgeführten Ortsdosisleistungsmessungen am Boden.



**Figur 2: 3D-Darstellung der Ortsdosisleistung (nSv/h) Messgebiet KKB/KKL**

Die Karte stellt den Blick nach Südosten dar. Dargestellt ist die Direktstrahlung nach oben. Für Details siehe Text.

### 3.4.7. Perspektiven

Aerogammaspektrometrie wird in Europa gegenwärtig in acht Ländern eingesetzt, wobei hinsichtlich Messeinrichtungen, Methodologie und Erfahrung noch erhebliche Unterschiede bestehen. Die rasche und flächendeckende Aerogammaspektrometrie kann insbesondere bei grenzübergreifenden Verstrahlungssituationen erfolgreich eingesetzt werden. Die Voraussetzung ist allerdings eine einheitliche Vorgehensweise. Während die Kalibrierung der natürlichen Radioelemente (K, U, Th) international standardisiert ist, fehlen bislang

diesbezügliche Grundlagen für künstliche Radionuklide. Deshalb wurde zur Entwicklung standardisierter Mess-, Auswerte- und Kartierungsmethoden, zur Verbesserung transnationaler Datenkompatibilität sowie für den koordinierten Datenaustausch das EU-Forschungsprojekt "European Coordination of Environmental Airborne Gamma Ray Spectrometry (ECEAGS)" initiiert. Die Schweiz wird zu den Forschungsschwerpunkten Datenakquisition, Spektrumsanalyse und Bildverarbeitung mit vertiefenden Arbeiten beitragen. Die Projektarbeiten werden von der HSK finanziert und von der Forschungsgruppe Geothermik und Radiometrie, Institut für Geophysik der ETHZ durchgeführt.

1997 soll in einer grenzüberschreitenden Übung gemeinsam mit dem österreichischen Aeroradiometrieteam, ein Messgebiet in der Nähe von Nauders (östlich Unterengadin) befliegen werden. Mit zusätzlichen Steigflügen sollen auch die Grundlagen für einen Kalibrationsvergleich geschaffen werden. Zusätzlich sind in situ-Gammaskpektrometrie-Bodenmessungen vorgesehen (HSK und SUEr-Geräte).

### **3.4.8. Literatur**

COX, J.R., 1995: Radiation detection of buried shielded sources in vehicles loaded with scrap steel, Application of uranium exploration data and techniques in environmental studies, Proceedings of a technical Committee meeting held in Vienna, 9-12 November 1993, IAEA-TECDOC-827.

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

SCHWARZ, G.F., RYBACH, L., KLINGELE, E.E.: 1991: Aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen; Bericht für das Jahr 1991 zuhanden der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK). Interne Berichte, Institut für Geophysik ETHZ, Zürich.