

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: - (2009)

Rubrik: Externe Strahlung = Rayonnement externe

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>

Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz

Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse

Ergebnisse 2009 Résultats 2009



3

Externe Strahlung Rayonnement externe

3.1 Mesures in situ et exposition externe	36
Résumé	36
Introduction	36
Méthodologie in situ	37
Résultats in situ 2009	38
Conclusions	39
3.2 Exercice in situ 2009 : Mesures en altitude	40
Résumé	40
Détermination du débit d'équivalent de dose ambiant	41
Mesures durant le trajet entre Grindelwald et Jungfraujoch	41
Mesures sur le glacier	41
Acquisition de spectre gamma par spectrométrie in situ	42
Conclusions	43
3.3 Die automatische Überwachung der Ortsdosisleistung mit NADAM	44
Zusammenfassung	44
Übersicht	45
Jahresmittelwerte und Erfahrungswerte 2009	46
Eine detailliertere Analyse für die Station Disentis	46
3.4 Aeroradiometrische Messungen	51
Zusammenfassung	51
Einleitung	51
Messungen und Messresultate 2009	51



3.1 Mesures in situ et exposition externe

S. Estier, A. Gurtner

Section Radioactivité de l'environnement (URA), OFSP, 3003 Bern

Résumé

En 2009, les examens in situ ont essentiellement porté sur le voisinage des centrales nucléaires et des centres de recherche (PSI et CERN) ainsi que sur le suivi de la contamination rémanente en ^{137}Cs issue des essais nucléaires atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl. Même si cette contamination reste plus importante au Tessin et localement dans les régions montagneuses (Alpes, Jura) par rapport au Plateau suisse, les résultats in situ 2009 n'ont signalé aucune valeur susceptible de représenter un risque pour la santé du public.

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. Les mesures de spectrométrie gamma effectuées en laboratoire sur des échantillons s'orientent, quant à elles, avant tout sur la mise en évidence de traces de radionucléides. Les résultats ont un caractère très ponctuel et ne renseignent pas sur l'exposition ambiante. Pour combler cette lacune, les laboratoires mobiles de l'OFSP (Section URA, Bern), de l'IFSN (Villigen), du Laboratoire de Spiez et de l'IRA (Lausanne) misent sur la spectrométrie gamma directe sur site (in situ). En effet, cette méthode possède l'avantage de permettre l'identification des radionucléides (émetteurs gamma) présents sur le site, d'estimer leurs activités et de calculer leur contribution individuelle à l'exposition du public. La spectrométrie gamma in situ informe ainsi de manière sensible et réaliste sur les concentrations moyennes des radionucléides gamma ainsi que sur l'exposition ambiante qui en résulte.

Méthodologie in situ

L'exploitation de la spectrométrie gamma in situ en Suisse se base largement sur les recommandations ICRU [1], notamment pour la détermination de l'activité des radionucléides présents sur le site. La procédure permettant l'évaluation du débit d'exposition à partir des concentrations radioactives dans le sol a cependant dû être adaptée, car elle ne correspondait plus aux standards actuels. En effet, la grandeur dosimétrique de référence pour la détermination de l'exposition du public (irradiation externe) est aujourd'hui l'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$, exprimé en [nSv/h], et non plus le débit de kerma dans l'air, en [nGy/h], utilisé dans le rapport ICRU53. Les nouveaux coefficients de conversion utilisés au laboratoire de l'OFSP sont détaillés plus bas.

Lors d'une mesure sur le terrain, un spectre gamma est enregistré et l'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ global est mesuré simultanément sur le site à l'aide d'une chambre d'ionisation. L'analyse du spectre gamma in situ permet tout d'abord d'identifier les différents radionucléides naturels et artificiels présents sur le site puis, en se référant à la publication ICRU 53, de calculer leur concentration radioactive respective dans le sol en [Bq/kg] ou [Bq/m²], pour peu que la distribution de chacun d'eux soit connue (déposition en surface, distribution homogène des radionucléides dans le sol, décroissance exponentielle, etc.).

L'étape suivante consiste à évaluer les contributions individuelles au débit de dose ambiante des divers radionucléides identifiés sur le spectre in situ à partir de leur concentration radioactive calculée précédemment. C'est ici qu'interviennent les modifications de procédure mentionnées plus haut. Les facteurs de conversion de l'activité spécifique au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ utilisés par notre laboratoire pour les séries de ²³⁸U et du ²³²Th ainsi que pour le ⁴⁰K et le ¹³⁷Cs, dans le cas d'une distribution homogène de ces radionucléides dans le sol, sont résumés dans le tableau 1. Ces coefficients ont été publiés par l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN) en 2007 [2] et ont été validés par le groupe d'expert en dosimétrie de la Commission fédérale de Protection contre les radiations et de surveillance de la Radioactivité (CPR) dans le document «Recommandations concernant l'utilisation des facteurs de conversion $H^*(10)$ pour la mesure du débit d'équivalent de dose ambiant par spectrométrie in situ», publié en 2009 [3].

La contribution d'origine naturelle au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ s'obtient finalement par sommation des composantes locales du rayonnement terrestre (⁴⁰K, séries ²³⁸U et ²³²Th), évaluées pour une distribution homogène de ces radionucléides dans le sol, avec la part ionisante cosmique calculée à l'altitude du site. Notons que la formule permettant de calculer la contribution du rayonnement cosmique au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ a également dû être adaptée par rapport à celle anciennement utilisée pour le débit de kerma dans l'air [4], et s'écrit :

$$H^*(10)_{\text{cosm}} [\text{nSv/h}] = 37 \cdot \exp(0.38 \cdot Z)$$

où Z est l'altitude en km.

Pour connaître la contribution des radionucléides artificiels au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ il suffit ensuite de soustraire la part d'origine naturelle calculée précédemment à la valeur globale de $H^*(10)$ mesurée par chambre d'ionisation. Cette démarche ne fournira que la contribution artificielle totale au débit d'équivalent de dose ambiant, mais possède l'avantage de ne nécessiter ni échantillonnage, ni hypothèse sur la distribution des radionucléides artificiels dans le sol.

Si, par contre, la distribution dans le sol de chacun des radionucléides artificiels est connue, il sera possible de déterminer leur contribution respective au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$. La somme des contributions naturelles et artificielles, calculées à partir des spectres in situ, est ensuite comparée à la valeur globale mesurée avec la chambre d'ionisation, afin d'évaluer la fiabilité de la méthode de reconstitution.

Tableau 1 :

Facteurs de conversion de l'activité spécifique en débit d'équivalent de dose ambiant $H^(10)$ utilisés par l'OFSP pour les séries naturelles de ²³⁸U et du ²³²Th ainsi que pour le ⁴⁰K et le ¹³⁷Cs, dans le cas d'une distribution homogène de ces radionucléides dans le sol [2].*

Nucléide	[nSv·h ⁻¹ /Bq·kg ⁻¹]
Série ²³⁸ U (total)	0.564
Série ²³² Th (total)	0.749
⁴⁰ K	0.0512
¹³⁷ Cs	0.192

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

[2] Lemerrier et al., «Specific Activity to $H^*(10)$ conversion coefficients for in situ gamma spectrometry», Radiation Protection Dosimetry (2008), Vol 128, No. 1, pp.83-89. Advance Access publication 17 October 2007.

[3] <http://www.bag.admin.ch/ksr-cpr/04340/04784/04843/index.html?lang=fr>

[4] Radioprotection, vol. 22 n° 3, pages 231-239, 1987.

Résultats in situ 2009

En 2009, les examens in situ ont été réalisés principalement au voisinage des centrales nucléaires de Beznau (KKB), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) et Mühleberg (KKM) et des centres de recherche (PSI, CERN) ainsi qu'au Tessin, région de Suisse la plus touchée par les retombées de l'accident de Tchernobyl. En dehors de ce programme annuel de routine, des études de site ont été réalisées à Grangeneuve/FR, ainsi qu'au Tessin en vue de la sélection des futurs sites de référence pour la surveillance de la radioactivité en Suisse. La stratégie de surveillance élaborée par l'OFSP prévoit en effet la création de trois stations de référence en Suisse («Ouest-Plateau», «Est-Plateau» et «Sud des Alpes»), où la radioactivité de l'ensemble des compartiments environnementaux (aérosols, précipitations, sols, herbes, denrées alimentaires) sera analysée avec une grande précision (sparse monitoring network). La spectrométrie in situ est une technique particulièrement adaptée dans ce genre de situation, puisqu'elle permet de donner des informations relatives à l'homogénéité de la répartition des radionucléides sur des sites de quelques km² avec un nombre d'analyses limité.

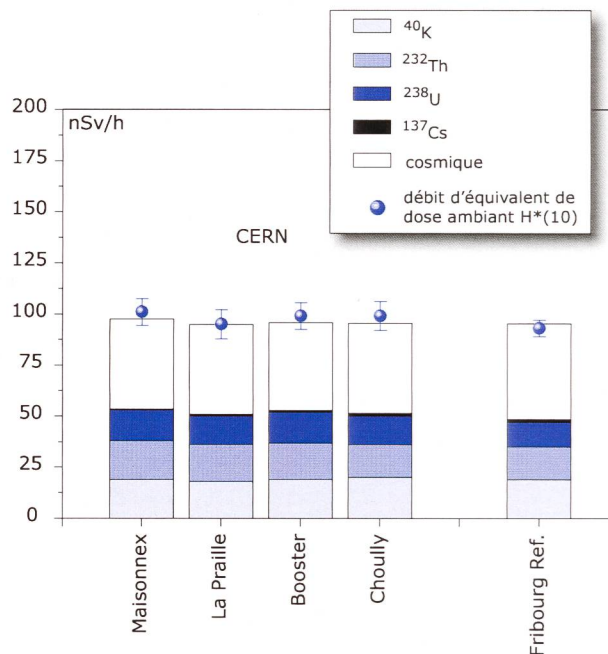


Figure 2: Contributions individuelles au débit d'équivalent de dose ambiant H*(10) calculées à partir des spectres in situ (distribution supposée homogène des radionucléides dans le sol) mesurés en 2009 au voisinage du CERN ainsi qu'au point de référence de Fribourg. La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant H*(10) avec chambre d'ionisation est également représentée.

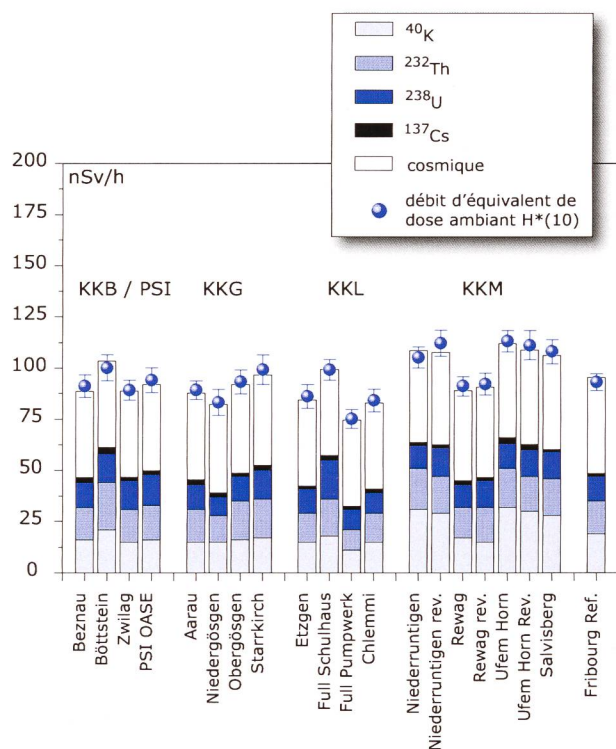


Figure 1: Contributions individuelles au débit d'équivalent de dose ambiant H*(10) calculées à partir des spectres in situ (distribution supposée homogène des radionucléides dans le sol) mesurés au voisinage des centrales nucléaires suisses en 2009. La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant H*(10) avec chambre d'ionisation est également représentée.

Les contributions respectives au débit d'équivalent de dose ambiant H*(10) des différents radionucléides identifiés par spectrométrie gamma in situ (descendants compris pour les séries naturelles) sont représentées sur les figures 1 à 3 pour les principaux sites suisses examinés en 2009. Ces contributions ont été calculées à partir des spectres gamma in situ, en supposant une distribution homogène de tous les radionucléides dans le sol (y compris le ¹³⁷Cs artificiel). La valeur de la mesure globale avec chambre d'ionisation, ainsi que son incertitude, sont également représentées et permettent d'apprécier la fiabilité de la reconstitution.

En comparant les résultats des figures 1, 2 et 3, il apparaît tout d'abord que le débit d'équivalent de dose ambiant H*(10) relevé au voisinage des centrales nucléaires et des centres de recherche (PSI, CERN) ne se distingue pas de manière significative de celui mesuré au point de référence de Fribourg. Le seul radionucléide d'origine artificielle mis en évidence sur les spectres in situ en 2009 est le ¹³⁷Cs. Ce dernier a été enregistré sur tous les sites de mesure. Au Tessin, la contamination rémanente en ¹³⁷Cs, issue des retombées des essais nucléaires des années 50 et 60 et surtout de celles de l'accident de Tchernobyl, est toujours clairement visible, mais les valeurs mesurées ne représentent pas de danger pour la santé du public.

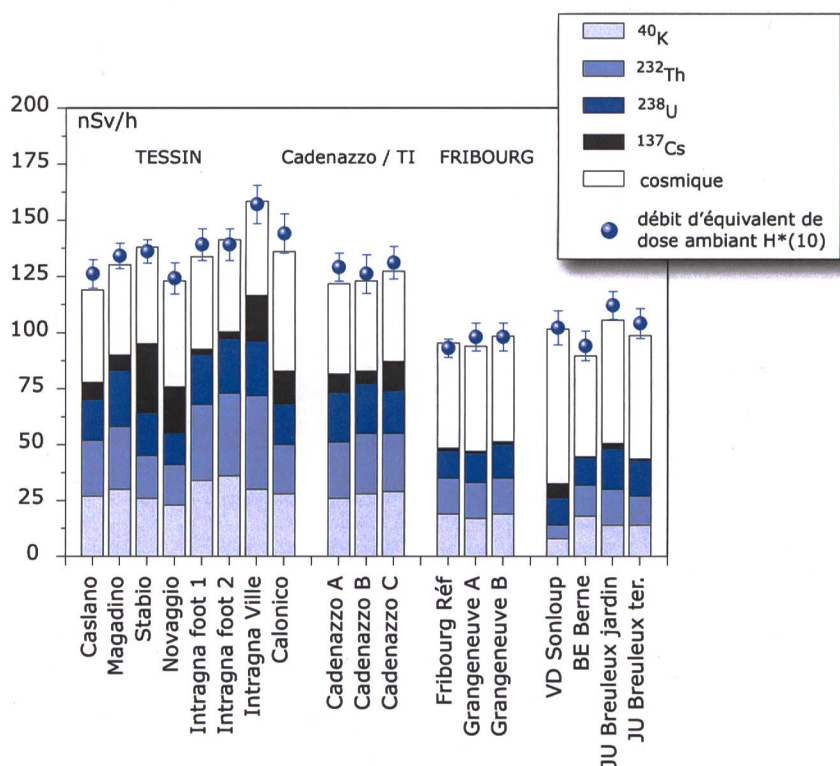


Figure 3:

Contributions individuelles au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ calculées à partir des spectres in situ (distribution supposée homogène des radionucléides dans le sol) mesurés en 2009 au Tessin ainsi que dans le canton de Fribourg. La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ avec chambre d'ionisation est également représentée.

Conclusions

Les études effectuées à Cadenazzo (Agroscope Changins-Wädenswil, station de recherche de Cadenazzo) ont également montré que les concentrations moyennes de ^{137}Cs dans le sol pouvaient varier d'un facteur 2 sur des distances pourtant faibles (moins de 100 m). Ceci peut s'expliquer par des inhomogénéités dans la déposition initiale, ou comme c'est le cas ici, par le fait que les sols des sites Cadenazzo A et B (intérieur de la clôture du centre de recherche) ont été retournés, alors que celui du site C (extérieur) est resté intact. Ces résultats montrent l'importance de l'établissement d'une cartographie (en termes de concentrations radioactives) préliminaire précise des sites de référence ainsi que de l'enregistrement des modifications de la structure du sol qui y sont apportées pour assurer un suivi pertinent de la radioactivité à long terme.

On notera finalement, que pour tous les sites, les différences entre reconstruction in situ et mesures globales n'ont pas dépassées les 7%, attestant ainsi que les résultats obtenus par cette méthode traduisent bien la réalité.

Les mesures de spectrométrie gamma in situ réalisées par l'OFSP en 2009 ont permis de caractériser les sites d'examen du point de vue de leur composition en radionucléides gamma et des contributions individuelles au débit d'exposition qui en résultent pour le public. Le champ d'application de ces mesures a visé à répondre à des objectifs d'ordre réglementaire (voisinage des installations nucléaires suisses) et d'ordre radioécologique (suivi des contaminations ^{137}Cs du fallout et de Tchernobyl, choix de sites de référence).

Cette méthode a permis de distinguer les composantes naturelles et artificielles de la radioactivité gamma et de s'assurer de la pertinence de l'information acquise par confrontation du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ calculé à partir de l'analyse spectrométrique à celui mesuré avec une chambre d'ionisation. Même si les concentrations plus élevées de ^{137}Cs dues aux retombées de Tchernobyl sont toujours plus importantes au Tessin par rapport au plateau Suisse, les résultats, en termes d'exposition du public, n'ont mis en évidence aucune valeur susceptible de représenter un danger pour la santé de la population.

3.2 Exercice in situ 2009 : Mesures en altitude

François Byrde et Christoph Wirz

LABORATOIRE SPIEZ, Office fédéral de la protection de la population, 3700 Spiez

Résumé

Lors des exercices in situ précédents [3], [4], des différences ont été constatées entre les valeurs de débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ des chambres à ionisation Reuter Stokes et les scintillateurs AD-b.

Le site du Jungfrauoch a ainsi été choisi afin d'effectuer des mesures de débit d'équivalent de dose ambiant dans le tunnel (absorption du rayonnement cosmique) et sur le glacier (absorption du rayonnement des chaînes naturelles du thorium et de l'uranium). Parallèlement aux mesures de $H^*(10)$, des mesures in situ ont été effectuées sur le glacier.

Détails de l'exercice:

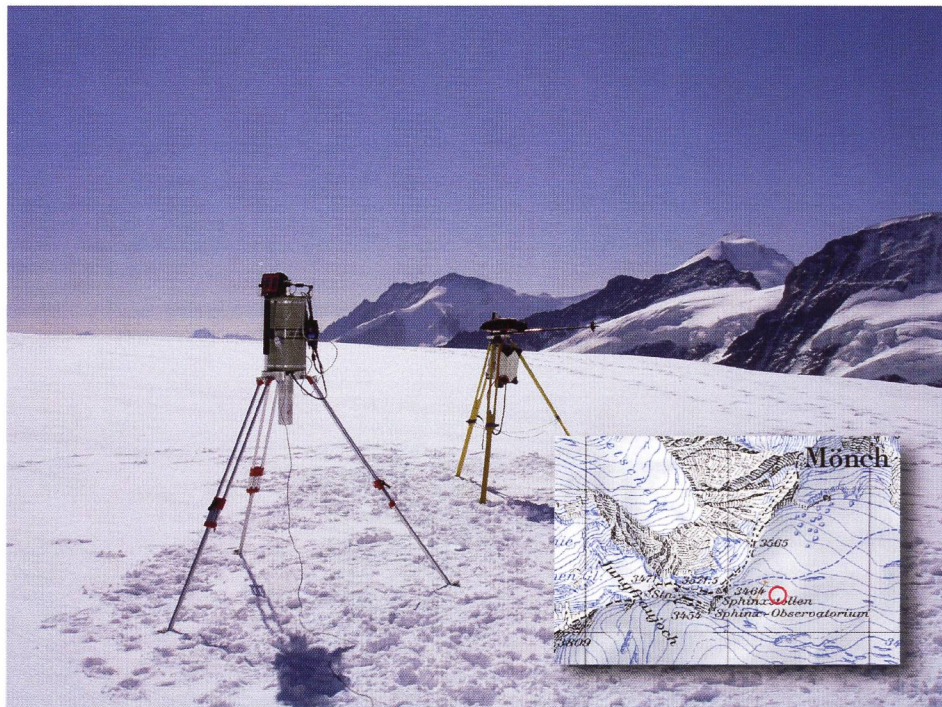
Date : 8 septembre 2009

Site de mesure sur le glacier :

- coordonnées : 642'470 - 155'220
- altitude 3450 m

Participants :

- OFSP, Radioactivité de l'environnement: S. Estier, A. Gurtner
- OFPP, Laboratoire de Spiez: F. Byrde, A. Jakob, S. Röllin, C. Wirz



Détermination du débit d'équivalent de dose ambiant

Instrumentation:

- chambre à ionisation Reuter Stokes
- sonde AD-b (scintillateur)

Les composantes du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$:

- rayonnement cosmique en fonction de l'altitude
- rayonnement du sol (terrestre)

La formule utilisée décrivant le rayonnement cosmique en fonction de l'altitude est la suivante :

$$H^*(10)_{\text{cosmique}} [\text{nSv/h}] = 37 * e^{(0.38 * z)}$$

avec z l'altitude en km [1]

Mesures durant le trajet entre Grindelwald et Jungfrauoch

Hypothèse: dans le tunnel, le rayonnement cosmique est négligeable par rapport au rayonnement des roches.

Lors du trajet aller et retour en train, l'enregistrement des valeurs de $H^*(10)$ a été effectué (figure 1).

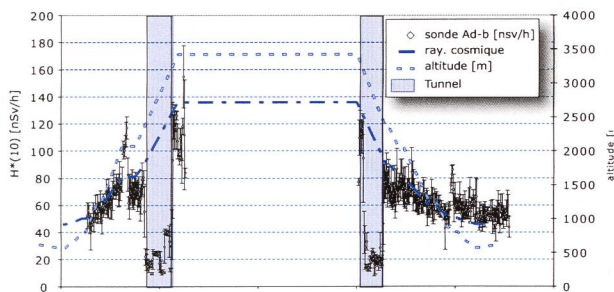


Figure 1: Enregistrement des valeurs de $H^*(10)$ lors du trajet Grindelwald - Jungfrauoch, sur le site de mesure au Jungfrauoch et lors du retour vers Grindelwald.

Les moyennes de $H^*(10)$ enregistrées dans la partie inférieure du tunnel (valeurs < 30 nSv/h) sont représentées dans le tableau ci-dessous.

Instrument	Type	$H^*(10)$ [nSv/h]
AD-b	scintillateur	18.9 +/- 20%
Reuter Stokes	chambre à ionisation	19.6 +/- 20%

La dispersion des valeurs (~ 20%) est sans doute due aux variations du débit de dose durant le trajet. Les données présentées ici sont assez grossières (mesure durant la marche du train, influence du train et des passagers, etc.). L'écart inférieur à 5% entre les moyennes est inférieur à l'incertitude de la

calibration de ces instruments. Les deux débitmètres utilisés donnent des valeurs identiques.

Si la contribution due au rayonnement cosmique est négligeable, on peut en conclure que la réponse de ces deux instruments est identique en présence d'un rayonnement dû aux chaînes naturelles (uranium et thorium).

Pour des conclusions définitives, il faudrait:

- des mesures de $H^*(10)$ à des endroits précis dans un environnement mieux déterminé (épaisseur de roche)
- des mesures avec des spectromètres gamma afin de vérifier que la part du rayonnement cosmique est effectivement négligeable.

Mesures sur le glacier

Le site de mesure choisi est couvert par une couche de glace nettement supérieure à 20 mètres et éloigné de plus de 300 mètres de tout rocher. Les seules sources de rayonnement connues sont donc:

- le rayonnement cosmique
- l'activité propre des instruments
- l'activité propre des utilisateurs



Figure 2: Préparation du matériel à la station du Jungfrauoch.

Les mesures $H^*(10)$ effectuées sur le glacier donnent les résultats suivants:

Instrument	Type	$H^*(10)$ [nSv/h]	Dévi- ation
AD-b	scintillateur	91	< 5%
Reuter-Stokes	chambre à ionisation	155	7%
AD 6/H	Geiger-Müller	136	< 5%

Le $H^*(10)$ du rayonnement cosmique [1] est de 137 [nSv/h].

Les écarts constatés pour les mesures sur le glacier peuvent être expliqués par la prépondérance du rayonnement cosmique sur les autres sources de rayonnement et la différence de réponse des types de détecteurs utilisés. Le rayonnement cosmique ayant une plage d'énergie élevée (> 5 MeV), les chambres d'ionisation Reuter Stokes donnent un résultat trop élevé.

Cette hypothèse reste à confirmer (contrat de recherche avec l'IRA); si tel devait être le cas, la fonction décrivant le H*(10) du rayonnement cosmique en fonction de l'altitude [1] devra être revue car elle se base sur des mesures avec une chambre à ionisation Reuter Stokes.

Acquisition de spectre gamma par spectrométrie in situ

Instrumentation: détecteurs Ge HP de 15 et 30%

Le site de mesure choisi, identique à celui des mesures H*(10), est couvert par une couche de glace nettement supérieure à 20 mètres et éloigné de plus de 300 mètres de tout rocher. Les seules sources de rayonnement connues sont donc :

- le rayonnement cosmique
- l'activité propre des instruments
- l'activité propre des utilisateurs

Les spectres acquis durant 5'000 et 10'000 secondes montrent les structures suivantes:

Energie [keV]	Surface [ips]	Incertitude [%]
511.16	9.71E-02	5
609.89	9.73E-03	18.8
1'462.15	8.11E-03	14.7
2'224.27	6.60E-03	17
2'614.99	3.14E-03	29.4

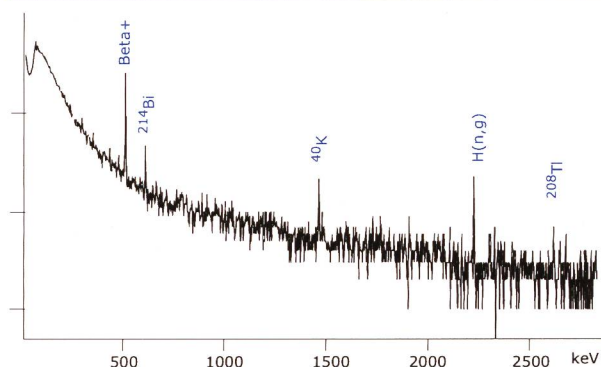


Figure 3: Spectre in situ enregistré sur le glacier.

La quantification des deux spectres ne montre pas de différence significative.

L'identification des structures des spectres est la suivante:

- Pics < 80 keV ⇨ pas significatifs
- Pic de 511 keV ⇨ β⁺
- Pic de 609 keV ⇨ ²¹⁴Bi, présence des utilisateurs et des équipements
- Pic de 1'460 keV ⇨ ⁴⁰K, présence des utilisateurs et des équipements
- Pic de 2'224 keV ⇨ réaction (n,γ) sur l'hydrogène du glacier

En admettant une répartition homogène en profondeur, et en utilisant les facteurs de dose de la référence [2], on obtient les valeurs moyennes d'activité et de H*(10) suivantes:

Energie [keV]	Nuclide ou chaîne	In situ: distribution homogène en profondeur			
		Activité [γ/s]	[Bq]	Erreur [%]	H*(10) [nSv/h]
511.00	β ⁺	6			1
609.31	chaîne ²³⁸ U		1	30	0.6
1'460.82	⁴⁰ K		6	20	0.3
2'223.50	H (n,γ)	0.7			0.5
2'614.51	chaîne ²³² Th		1.1	30	0.9

Le H*(10) du rayonnement cosmique [1] est de 137 [nSv/h].

De ces mesures in situ on peut en conclure les points suivants :

- Par rapport à des mesures effectuées sur le site du laboratoire de Spiez, l'atténuation des chaînes naturelles est supérieure à un facteur 20, respectivement 40 pour le ⁴⁰K.
- Le H*(10) de 3 [nSv/h] dû aux rayonnements γ détectés par les spectromètres in situ est négligeable par rapport aux 91 ou 155 [nSv/h] obtenus avec les débitmètres.
- Aucun détecteur ne montre de contamination
- L'influence de la présence de personne (en outre l'activité en ⁴⁰K du corps humain) lors de telles mesures ne doit pas être négligée.

Conclusions

L'utilisation de la spectrométrie in situ permet de quantifier l'activité des radionucléides présents dans le sol, et de déduire ainsi la contribution à $H^*(10)$ du rayonnement cosmique.

Il est nécessaire de vérifier la réponse des différents débitmètres pour les hautes énergies, les chambres à ionisation Reuter-Stokes montrant des valeurs plus élevées que les scintillateurs AD-b. Les résultats de cette étude supplémentaire connus, la formule de calcul du $H^*(10)$ dû au rayonnement cosmique en fonction de l'altitude devra éventuellement être adaptée.

- [1] Radioactivity measurements in the vicinity of Swiss nuclear power plants. Christophe Murith, Hansruedi Völkle and Otto Huber, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Volume 243, Issues 2-3, 1 March 1986-15 March 1986, Pages 549-560
- [2] Specific activity to $H^*(10)$ conversion Coefficients for in situ gamma spectrometry M. Lemerrier et al, Radiation Protection Dosimetry (2007), pp. 1-7 doi :10.1093/rpd/ncm307
- [3] Mesures d'intercomparaison en spectrométrie gamma in situ dans la région de La Chaux-de-Fonds 2006. S. Estier et al, site OFSP: fichier rapport_IC_CdF_2006_final.pdf
- [4] Exercice in situ 2008: Val Ferret Vallée d'Entremont F. Byrde, LS 2009-02

3.3 Die automatische Überwachung der Ortsdosisleistung mit NADAM

Cristina Danzi

Nationale Alarmzentrale NAZ, Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS, Ackermannstrasse 26, 8044 Zürich

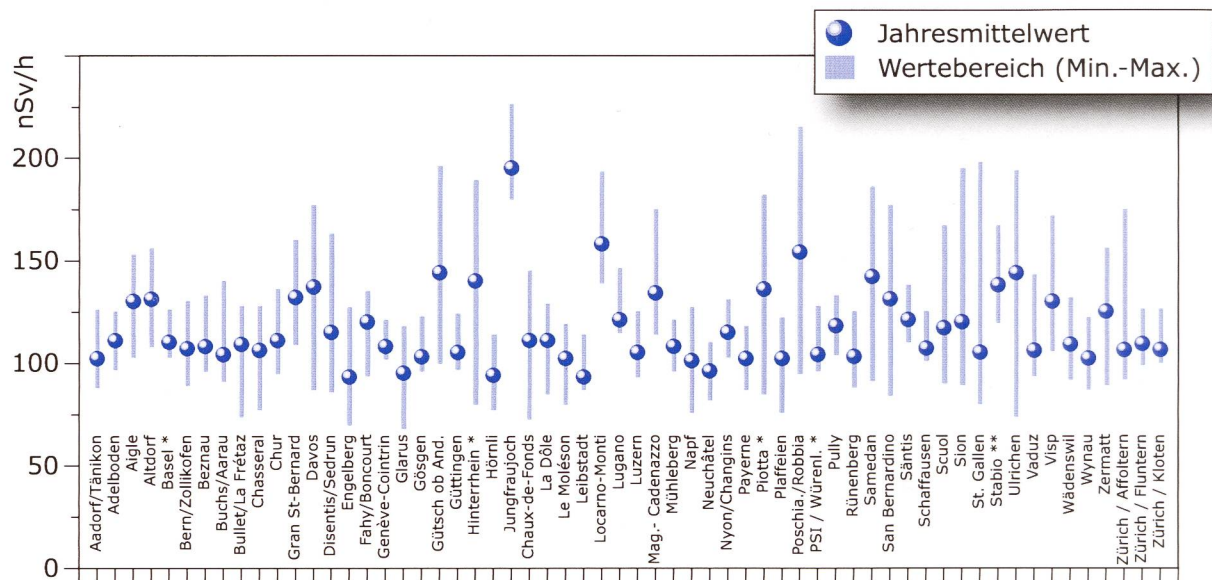
Zusammenfassung

Das Netz für die automatische Dosisleistungs- alarmierung und -messung (NADAM) dient der grossräumigen und permanenten Überwachung der externen Strahlung in der Schweiz. Das Netz ist mit 60 Stationen (Stand 30.03.2010) über die ganze Schweiz verteilt und misst im 10 Minuten Abstand die γ -Ortsdosisleistung (ODL).

Im Jahr 2005 – also nach nahezu 20 Betriebsjahren – wurde die Umrüstung des NADAM-Netzes in Angriff genommen. Dabei wurden die Stationen dem heutigen Stand der Technik angepasst und mit neuen Messsonden ausgerüstet. Im Verlauf von 2009 konnte die Erneuerung des NADAM-Netzes erfolgreich abgeschlossen werden.

Im Jahr 2009 wurden keine Werte gemessen, die auf eine erhöhte Strahlenbelastung der Bevölkerung schliessen liessen.

3.3 Die automatische Überwachung der Ortsdosisleistung mit NADAM - @BAG 2010



Figur 1:

Jahresmittelwerte und Wertebereiche 2009 der NADAM-Sonden. Der dargestellte Wertebereich entspricht dem Bereich zwischen dem minimalen und dem maximalen Tageswert der Sonde im Jahr 2009. Bei den Stationen, die mit einem * bezeichnet sind, handelt es sich entweder um alte Stationen oder wurde der Jahresmittelwert basierend auf den Messwerten der alten Sonden berechnet. Bei der Station Stabio, die mit ** bezeichnet ist, wurde der Jahresmittelwert basierend auf der weniger als 3 Monaten langen Messreihe der neuen Sonde ermittelt, weil die Station bis 07.10. ausser Betrieb war und deswegen keine Daten der alten Sonde verfügbar waren.

Übersicht

Die permanente Überwachung der externen Strahlung in der Schweiz wird von den 60 über die ganze Schweiz verteilten NADAM-Stationen (Stand 30.03.2010) garantiert. Die Stationen befinden sich bei den Wetterstationen von MeteoSchweiz und liefern alle zehn Minuten Daten zur Ortsdosisleistung (ODL). In Ergänzung zu den ODL-Daten sind damit auch Wetterdaten verfügbar, die wichtige Zusatzinformationen für die Interpretation der Messwerte liefern.

Die ODL-Werte der NADAM-Sonden werden täglich auf der Internetseite der NAZ (www.naz.ch) publiziert. Unter der Rubrik «Aktuell» können die Stundenmittelwerte der letzten drei Tage sowie die Tagesmittelwerte vom Vortag abgerufen werden.

Das NADAM-Netz dient auch als Frühwarnsystem. Bei Überschreitung der Alarmschwelle ($1 \mu\text{Sv/h}$) wird in der NAZ sofort eine Alarmmeldung ausgelöst, die ans NAZ Pikett geschickt wird. Bei einem radiologischen Ereignis unterstützt NADAM die NAZ bei der Bestimmung des gefährdeten Gebietes und der Beurteilung der allfällig notwendigen Massnahmen.

In der Berichtsperiode wurden bis auf einzelne technische Störungen bei der Messung oder der Datenübertragung keine besonderen Vorfälle registriert. Einzig bei der Station in Samedan zeigten sich einige technische Probleme: einerseits führte eine fehlerhaften Datenübermittlung zu Lücken im Tagesverlauf, andererseits wurden vier einzelne erhöhte Werte verzeichnet, die auf technische Störungen zurückzuführen sind. Diese Schwierigkeiten hielten

mehrere Monate an, seit Oktober 2009 funktioniert die Station jedoch wieder fehlerfrei.

Im Jahr 2009 wurden keine Werte gemessen, die auf eine erhöhte Strahlenbelastung der Bevölkerung schliessen liessen.

Im Jahr 2005 – also nach nahezu 20 Betriebsjahren – wurde die Umrüstung des NADAM-Netzes in Angriff genommen. Dabei wurden die Stationen dem heutigen Stand der Technik angepasst und mit neuen Messsonden ausgerüstet. Der Umbau erfolgte parallel zur Erneuerung des Messnetzes von MeteoSchweiz. Im Verlauf von 2009 konnte die Erneuerung des NADAM-Netzes erfolgreich abgeschlossen werden. Die letzte 6 Stationen (Adelboden, Basel, Genf, Piotta, Stabio, Kloten) wurden zwischen dem 12. Juni 2009 und dem 08. Dezember 2009 umgerüstet. Zwei Stationen, Hinterrhein und PSI, werden nicht mit neuen Messsonden ausgerüstet, bleiben aber vorläufig im Betrieb. Auf den Ersatz konnte verzichtet werden, weil es in der unmittelbaren Umgebung dieser zwei Stationen bereits andere Messstationen gibt. Im Jahr 2008 wurde die Station San Bernardino neu mit einer NADAM-Sonde ausgerüstet. Diese Station ist in Luftlinie ungefähr 7 km von Hinterrhein entfernt. Die NADAM-Station PSI hat im Umkreis von 500m drei MADUK-Stationen. In beiden Fällen kann man also ohne Verlust auf die Umrüstung verzichten.

Im Jahr 2009 wurden keine zusätzliche Standorte mit Messsonden ausgerüstet, für die nächsten 3 Jahren sind insgesamt sechs neue Standorte geplant.



Figur 2:

Karte der Jahresmittelwerte 2009 der NADAM-Sonden. Der Jahresmittelwert der Ortsdosisleistung variiert je nach Standort zwischen 93 und 195 nSv/h.

Jahresmittelwerte und Erfahrungswerte 2009

Eine Übersicht der Jahres- sowie der extremen Tagesmittelwerte für die einzelnen Stationen ist in den Fig. 1 und 2 dargestellt.

Wie jedes Jahr wurden die bisherigen Erfahrungswerte anhand der aktuellen Messwerte überprüft und bei Bedarf angepasst. Insbesondere bei den 6 Stationen, welche 2009 mit einer neuen Messsonde ausgerüstet wurden, waren Anpassungen an den bisherigen Erfahrungswerten erforderlich. Alle Jahres- und Erfahrungswerte sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Bei den 2009 umgerüsteten Stationen Basel (BS) und Piotta (TI) war die Betriebszeit nach der Umrüstung kürzer als drei Monate. Deshalb wurde an diesen Standorten der Erfahrungs- und Jahresmittelwert noch mit den Werten der alten Sonde berechnet. Für die drei umgerüsteten Stationen Adelboden (BE), Genf (GE) und Zürich/Kloten (ZH) wurden die Erfahrungs- und Jahresmittelwerte basierend auf den Daten seit Inbetriebnahme der neuen Sonde ermittelt (siehe Tabelle 1, fett hervorgehoben). Weil die Station Stabio (TI) bis am 07.10 ausser Betrieb war, mussten die Erfahrungs- und Jahresmittelwert auf einer Datenbasis von weniger als drei Monaten berechnet werden.

Wegen einer Pannenreihe erfolgten an der Station Samedan mehrere Sondenwechsel. Für die Jahresmittel- und Erfahrungswert-Berechnung wurden trotzdem alle Daten benützt.

Berechnung der Jahresmittelwerte und der Erfahrungswerte

Der Erfahrungswert dient als Vergleichswert für die automatische Plausibilisierung der Messwerte und erleichtert somit das rasche Erkennen von erhöhten Messwerten. Er soll für jede Station repräsentativ sein und nicht von besonderen Bedingungen geprägt werden. So kann z.B. im Winter der Anteil der terrestrischen Strahlung durch die Schneedecke stark reduziert werden. Für die Bestimmung des Erfahrungswertes wurden solche Tagesmittelwerte nicht berücksichtigt.

Beim Jahresmittelwert wurden hingegen alle plausiblen Tagesmittelwerte berücksichtigt. Deshalb unterscheiden sich Erfahrungs- und Jahresmittelwert vor allem bei denjenigen Stationen, deren Standorte im Winterhalbjahr über einen längeren Zeitraum unter einer Schneedecke liegen (siehe z.B. Stationen Gütsch und San Bernardino).

Eine detailliertere Analyse für die Station Disentis

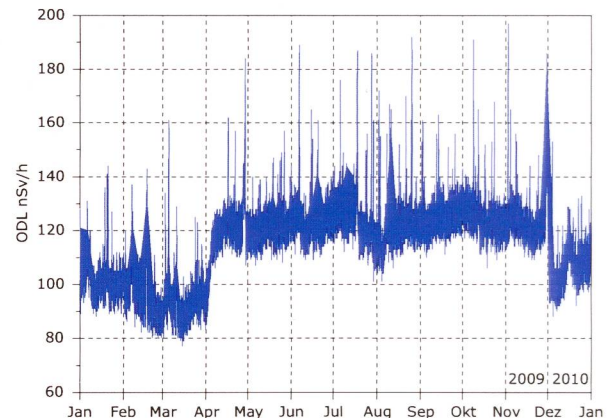
Die natürlich bedingte Ortsdosisleistung wird vom Standort (geologischer Untergrund, Höhe über Meer) und von den meteorologischen Verhältnissen (Regen, Schneedecke) beeinflusst.

Der geologische Untergrund bestimmt den Beitrag der terrestrischen Strahlung zur Ortsdosisleistung. In alpinen Gebieten mit uran- und thoriumhaltigem Gestein ist der Anteil der natürlichen Radioaktivität im Boden höher als z.B. im Mittelland. Dies führt zu einer höheren terrestrischen Strahlung.

Die Höhe des Sondenstandortes über Meer bestimmt den kosmischen Anteil zur ODL. Je höher der Messstandort, desto weniger wird die kosmische Strahlung durch die Atmosphäre abgeschwächt, d.h. um so grösser wird die Intensität der kosmischen Strahlung.

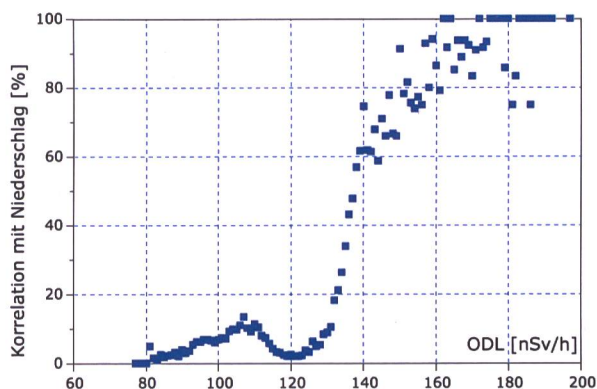
Die Beiträge der terrestrischen und der kosmischen Strahlung führen zu den regional beobachteten Unterschieden bei den Jahresmittelwerten.

Die Schwankungen des ODL-Verlaufs einer Station innerhalb eines Jahres reflektieren dann grösstenteils die variablen meteorologischen Verhältnisse am Standort (siehe Figur 3).



Figur 3: Zeitverlauf 10-Min-ODL-Daten der Station Disentis im Jahr 2009.

In dieser Darstellung kann man die Einflüsse von Regen und Schnee auf die ODL-Daten gut erkennen. Einerseits sieht man, dass in den Wintermonaten die ODL-Daten durchschnittlich tiefer sind als in den Sommermonaten. Die Schneedecke schirmt die terrestrische Strahlung ab. Den gleichen Effekt erkennt man an den minimalen Tagesmittelwerten der Stationen Bullet / La Frêtaz, Davos und Ulrichen (Figur 1).



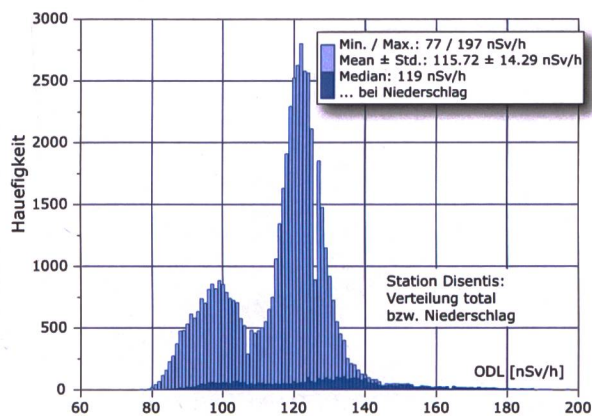
Figur 4:
Korrelation zwischen 10-Min-ODL-Daten mit Niederschlag. Die ODL-Daten über 150 nSv/h korrelieren in 75% - 100% der Fälle mit Niederschlägen.

Andererseits beobachtet man einzelne Spitzen nach oben. Diese sind auf Niederschläge zurückzuführen, welche die Folgeprodukte des natürlich vorkommenden Radons (^{222}Rn) auswaschen und am Boden deponieren. Da die Folgeprodukte eine kurze Halbwertszeit haben, normalisieren sich die ODL-Werte innerhalb weniger Stunden wieder. Nach einer längeren Trockenperiode können die Zehn-Minuten-Werte der ODL bei Gewitter um bis zu einem Faktor zwei erhöht sein.

In Figur 4 ist die Korrelation der ODL-Daten mit dem Niederschlag dargestellt. Die ODL-Daten über 150 nSv/h korrelieren in 75% - 100% der Fälle mit Niederschlägen.

Die ODL-Spitzen, die man in Figur 3 beobachtet, lassen sich sehr gut mit den Niederschlägen erklären. Der Niederschlagseffekt zeigt sich auch sehr gut in den maximalen Tagesmittelwerten der Stationen St. Gallen, Sion und Zürich / Affoltern (Figur 1).

Figur 5 zeigt die Häufigkeitsverteilung der 10-Minuten ODL-Daten.



Figur 5:
Verteilung der ODL-Daten; hellblau: alle Messwerte; dunkelblau: Messwerte während Niederschläge.

Hellblau kennzeichnet die Verteilung aller ODL-Daten, dunkelblau nur diejenigen bei Niederschlägen (Schnee oder Regen).

Bei der hellblauen Kurve sind zwei lokale Maxima gut sichtbar. Das erste Maximum, das ungefähr bei 98 nSv/h liegt, entspricht dem häufigsten Wert an Tagen mit geschlossener Schneedecke. Das zweite Maximum (bei ungefähr 122 nSv/h) entspricht dem häufigsten Wert der Tage ohne Schneedecke. Dieser Wert entspricht auch dem Erfahrungswert für Disentis (siehe Tabelle 1).

Die dunkelblaue Kurve zeigt den Effekt der Niederschläge nochmals gut auf: die höchsten ODL-Messwerte wurden während Niederschlagsperioden gemessen.

Qualitätssicherung

Die neuen Sonden sind vom Hersteller typengeprüft und wurden durch das Institut universitaire de radiophysique appliquée (IRA) geeicht. Im Einverständnis mit der Aufsichtsbehörde wurde die Gültigkeit des Eichzertifikats auf fünf Jahre festgelegt. Nach Ablauf dieser Zeit werden die Sonden neu geeicht.

Während der jährlichen Funktionsprüfungen werden Sonden, welche eine Abweichung von mehr als 7% des gemessenen Wertes zum Sollwert aufzeigen, ausgewechselt.

Die Resultate für 2009 zeigen, dass sowohl die neuen als auch die alten NADAM-Stationen stabil und zuverlässig sind.

Sondentests und Sondenwechsel bei den NADAM-Sonden

Im Jahr 2009 wurde die vollständige Erneuerung der NADAM-Sonden abgeschlossen. Die neuen Sonden sind mit drei Geiger-Müller-Zählrohren ausgerüstet, zwei für den Niederdosis- und eines für den Hochdosisbereich. Dadurch erhöht sich die Genauigkeit der Messungen im Untergrundbereich. Der Messbereich wird auch wesentlich grösser (10 nSv/h - 10 Sv/h) und deckt nun die ganze Spanne bis hin zu Dosisleistungen ab, wie sie z.B. nach einem A-Waffenunfall zu messen wären. Weitere Verbesserungen ergeben sich bei der Eichung der einzelnen Sonden, bei der direkten Berechnung von Impuls/Sekunde auf $\mu\text{Sv/h}$, und beim Abzug des Eigeneffekts. Dieser ist vom Hersteller für jede Sonde einzeln gemessen worden und wird automatisch vom Messwert subtrahiert.

Tabelle 1: Erfahrungswerte und Jahresmittelwerte der NADAM-Stationen

Die im Jahr 2009 mit neuen Sonden ausgerüsteten Stationen sind fett markiert. Bei den mit einem * bezeichneten Stationen wurden nur die Messdaten der alten Sonde berücksichtigt, da die Betriebszeit der neuen Sonde im Jahr 2009 weniger als drei Monate betrug. Die zwei Stationen, welche noch mit alten Sonden ausgerüstet sind (Hinterrhein und PSI) sind mit zwei ** bezeichnet.

Station	Datum der Inbetriebnahme	Jahresmittelwerte [nSv/h] alle Tagesmittelwerte	Erfahrungswerte [nSv/h] Jahresmittelwert ohne Schneetage
Aadorf/Tänikon (TAE)	04.10.06	102	102
Adelboden (ABO)	24.08.09	111	112
Aigle (AIG)	01.09.05	130	130
Altdorf (ALT)	08.12.08	131	132
Basel (BAS)*	09.12.09	110	110
Bern/Zollikofen (BER)	03.08.06	107	108
Beznau (BEZ)	03.06.08	108	108
Buchs/Aarau (BUS)	05.05.08	104	105
Bullet/La Frétaz (FRE)	24.02.06	109	118
Chasseral (CHA)	05.12.06	106	112
Chur (CHU)	23.03.07	111	112
Col du Gd-St Bernard (GSB)	11.11.05	132	137
Davos (DAV)	14.12.06	137	150
Disentis/Sedrun (DIS)	14.12.06	115	122
Engelberg (ENG)	14.12.06	93	96
Fahy/Boncourt (FAH)	12.04.06	120	120
Genève-Cointrin (GVE)	12.06.09	108	108
Glarus (GLA)	13.10.05	95	97
Gösgen (GOE)	03.06.08	103	103
Gütsch ob Andermatt (GUE)	01.09.05	144	171
Güttingen (GUT)	29.08.06	105	105
Hinterrhein (HIR)**	-	140	164
Hörnli (HOE)	03.12.08	94	95
Jungfrauoch (JUN)	29.08.06	195	195
La Chaux-de-Fonds (CDF)	10.11.05	111	120
La Dôle (DOL)	14.12.06	111	117
Le Moléson (MLS)	14.10.08	102	104
Leibstadt (LEI)	03.06.08	93	93
Locarno-Monti (OTL)	23.03.07	158	158
Lugano (LUG)	04.10.06	121	121
Luzern (LUZ)	05.12.06	105	105
Magadino/Cadenazzo (MAG)	15.02.06	134	135
Mühleberg (MUB)	26.05.08	108	108
Napf (NAP)	03.07.07	101	107
Neuchâtel (NEU)	14.07.08	96	96
Nyon /Changins (CGI)	13.10.05	115	115
Payerne (PAY)	05.12.06	102	102
Piotta (PIO)*	21.10.09	136	148
Plaffeien (PLF)	08.08.05	102	105
Poschiavo/Robbia (ROB)	23.01.08	154	163
PSI/Würenlingen (PSI)**	-	104	104
Pully (PUY)	19.01.06	118	118
Rünenberg (RUE)	09.08.06	103	103

Station	Datum der Inbetriebnahme	Jahresmittelwerte [nSv/h] alle Tagesmittelwerte	Erfahrungswerte [nSv/h] Jahresmittelwert ohne Schneetage
Samedan (SAM)	03.07.07	142	158
San Bernardino (SBE)	19.01.06	131	154
Säntis (SAE)	30.11.05	121	121
Schaffausen (SHA)	30.07.08	107	107
Scuol (SCU)	24.02.06	117	121
Sion (SIO)	13.10.05	120	122
St. Gallen (STG)	23.01.08	105	106
Stabio (SBO)	08.10.09	138	139
Ulrichen (ULR)	28.05.08	144	175
Vaduz (VAD)	03.08.06	106	106
Visp (VIS)	29.09.08	130	131
Wädenswil (WAE)	04.06.08	109	110
Wynau (WYN)	29.09.05	102	103
Zermatt (ZER)	01.09.05	125	134
Zürich/Affoltern (REH)	11.09.07	106	106
Zürich/Fluntern (SMA)	11.07.07	109	109
Zürich/Kloten (KLO)	24.09.09	106	106

3.4 Aeroradiometrische Messungen

B. Bucher¹, G. Butterweck², L. Rybach³, G. Schwarz¹

¹ Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Industriestrasse 19, 5200 Brugg

² Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen PSI

³ Institut für Geophysik, ETH Zürich, 8092 Zürich

Zusammenfassung

Bei der jährlichen Messübung des Stab BR NAZ vom 22. bis 26. Juni 2009 wurde turnusgemäss im Auftrag des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (ENSI) die Umgebung der Kernkraftwerke Gösgen (KKG) und Mühleberg (KKM) aeroradiometrisch vermessen. Die Messungen ergaben ähnliche Werte wie in früheren Jahren. So wurde beim KKM Streustrahlung des Aktivierungsprodukts ¹⁶N gemessen. Über dem KKG wurden keine erhöhten Werte festgestellt. Ausserhalb der umzäunten Areale wurde keine künstliche Radioaktivität gemessen, welche nicht auf den Tschernobyl- oder Bombentest-Fallout zurückzuführen wäre.

Einleitung

Aeroradiometrische Messungen in der Schweiz begannen 1986. Methodik und Software für Kalibrierung, Datenerfassung, Datenverarbeitung und Kartendarstellung wurden am Institut für Geophysik der ETH Zürich entwickelt (Schwarz 1991). In der Zeit von 1989 bis 1993 wurde die Umgebung (jeweils rund 50 km²) der schweizerischen Kernanlagen jährlich aeroradiometrisch vermessen. Im Jahre 1994 ging man zu einem Zweijahresrhythmus über, wobei abwechselnd die Umgebung von zwei (KKG und KKM) bzw. vier Kernanlagen (KKB, KKL, PSI und ZWILAG) vermessen werden. 1992 und 1995 wurden ebenfalls am Institut für Geophysik der ETH Zürich zwei neue Messgeräte gebaut (16.8 und 4.0 l Detektoren).

Seit den Messflügen 2001 kommt eine neu entwickelte Online-Datenauswertungs- und Kartierungssoftware zum Einsatz (Bucher 2001).

Im Jahre 1994 wurde die Aeroradiometrie in die Einsatzorganisation Radioaktivität des Bundes integriert. Als mögliche Einsatzfälle stehen Transport- und Industrieunfälle mit radioaktivem Material,

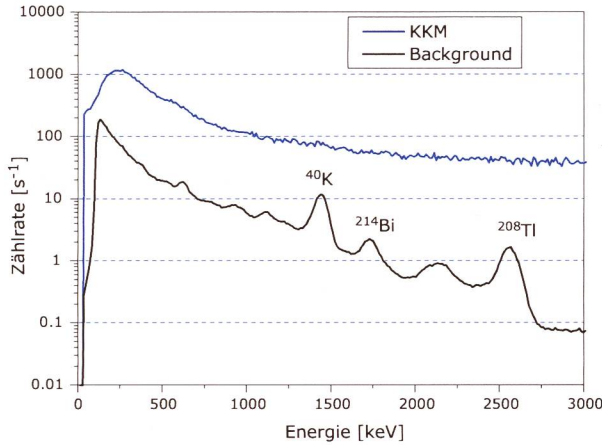
KKW-Störfälle, Abstürze von Satelliten mit Nuklearreaktoren und «Dirty» Bombs im Vordergrund. Die jährlichen Messprogramme werden durch die Fachgruppe Aeroradiometrie festgelegt. Der Einsatz erfolgt unter der Regie der Nationalen Alarmzentrale (NAZ). Unterhalt und Bereitstellung des Messsystems erfolgen seit 2004 durch das Paul Scherrer Institut (PSI).

Während der Jahre 2004 und 2005 wurden die Messsysteme erneuert und dabei die Online-Datenauswertungs- und Kartierungssoftware in die Messsysteme integriert. 2006 wurde ein zweiter Detektor mit 16.8 l Volumen beschafft, kalibriert und bei den Messflügen 2007 erstmals eingesetzt.

Messungen und Messresultate 2009

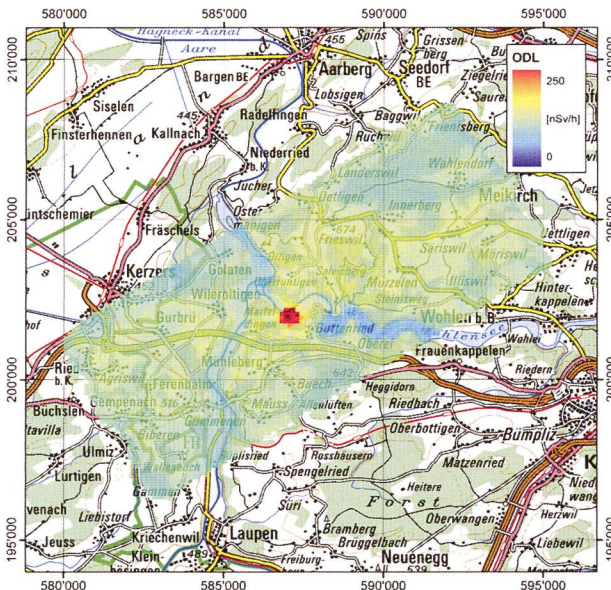
Die Messflüge 2009 fanden vom 22. bis 26. Juni unter der Leitung von G. Scharding (Nationale Alarmzentrale) statt. Turnusgemäss wurde das Messgebiet um die Kernkraftwerke Gösgen (KKG) und Mühleberg (KKM) aeroradiometrisch vermessen. Als Schwerpunkt der Übung 2009 nahm die Schweiz zusammen mit Frankreich an einer trinationalen Übung in Deutschland teil.

Die Ergebnisse im Messgebiet KKG und KKM zeigten ein ähnliches Bild wie in früheren Jahren. Einmal mehr konnte das KKM anhand der gestreuten Photonenstrahlung des Aktivierungsproduktes ¹⁶N (Gammahauptlinie bei 6.1 MeV) detektiert werden (Figur 1). Das Aktivierungsprodukt ¹⁶N gelangt bei Siedewasserreaktoren durch die Frischdampfleitung ins Maschinenhaus. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise gering abgeschirmt ist, kann die gestreute Gammastrahlung des ¹⁶N im Energiebereich von 0 – 3 MeV aus der Luft gut gemessen werden.



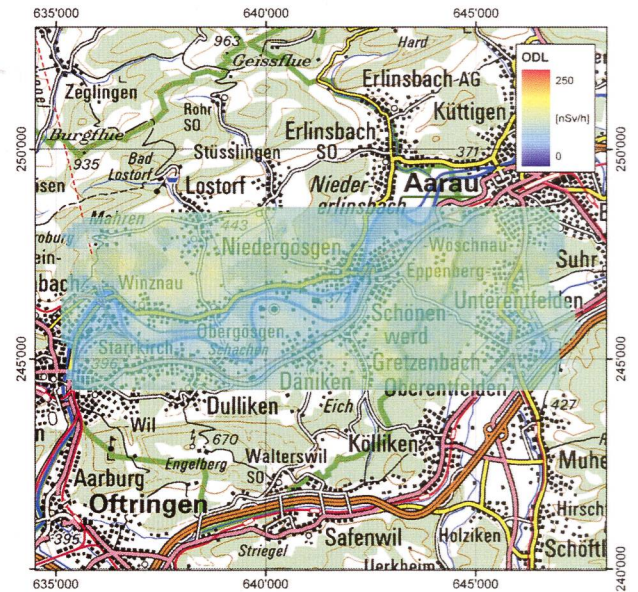
Figur 1: Photonenspektrum über dem KKM im Vergleich zum Untergrund. Das KKM-Spektrum wird dominiert durch die gestreute, hochenergetische Photonenstrahlung des ^{16}N (Photopeak bei 6.1 MeV). Beim Untergrundspektrum können die Photonenmissionen der natürlichen Radionuklide ^{40}K , ^{214}Bi und ^{208}Tl erkannt werden.

In der Karte der Ortsdosisleistung (Figur 2) ist das KKM deutlich anhand erhöhter Werte erkennbar. Ausserhalb des umzäunten Werksareals sind keine erhöhten Werte festzustellen. Die Wertevariation ist auf variable natürliche Radioelementgehalte im Untergrund zurückzuführen. Die tiefsten Werte werden über den Gewässern gemessen, da die terrestrische Strahlung dort durch den Wasserkörper abgeschirmt wird.



Figur 2: Karte der Ortsdosisleistung im Messgebiet KKM. Kartendaten PK200 © swisstopo (DV084391).

In der Karte der Ortsdosisleistung für das Messgebiet KKG sind keine erhöhten Werte erkennbar (Figur 3). KKG ist wie bereits in allen vorausgehenden Jahren aeroradiometrisch nicht zu erkennen.



Figur 3: Karte der Ortsdosisleistung im Messgebiet KKG. Kartendaten PK200 © swisstopo (DV084391).

Literatur

- Bucher, B., 2001: Methodische Weiterentwicklungen in der Aeroradiometrie. Dissertation Nr. 13973, ETH Zürich.
- Bucher, B., Butterweck, G., Rybach, L., Schwarz, G., Strobl, Ch., 2010: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM09. PSI-Bericht Nr. 10-01, ISSN 1019-0643.
- 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.