

<b>Zeitschrift:</b>	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
<b>Herausgeber:</b>	Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz
<b>Band:</b>	- (2010)
<b>Rubrik:</b>	Externe Strahlung = Rayonnement externe

### **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:** 09.01.2026

**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 2010

### Résultats 2010



## 3

### Externe Strahlung

### Rayonnement externe

<b>3.1 Mesures in situ et exposition externe</b>	<b>36</b>
Résumé	36
Introduction	36
Méthodologie in situ	37
Résultats in situ 2010	38
Conclusions	39
<b>3.2 Die automatische Überwachung der Ortsdosisleistung mit NADAM</b>	<b>40</b>
Zusammenfassung	40
Übersicht	41
Jahresmittelwerte und Erfahrungsbereiche 2010	42
<b>3.3 Aeroradiometrische Messungen</b>	<b>47</b>
Zusammenfassung	47
Einleitung	47
Messungen und Messresultate 2010	48



## 3.1

# Mesures in situ et exposition externe

**S. Estier, A. Gurtner**

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

## Résumé

En 2010, 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  $^{137}\text{Cs}$  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 2010 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<sup>1</sup>, notamment pour la détermination de l'activité des radionucléides présents sur le site. Les coefficients de conversion permettant l'évaluation des diverses contributions au débit d'exposition à partir des concentrations radioactives dans le sol ont par contre été revus par rapport à ceux de la publication ICRU 53, car ils ne correspondaient 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]. 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/m<sup>2</sup>], 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 ambiant des divers radionucléides identifiés sur le spectre in situ à partir de leur concentration radioactive calculée précédemment. 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 l'<sup>238</sup>U et du <sup>232</sup>Th ainsi que pour le <sup>40</sup>K et le <sup>137</sup>Cs, dans le cas d'une distribution homogène de ces radionucléides dans le sol, sont résumés dans le tableau 1. Ces coefficients ont été publiés dans un journal scientifique de référence en 2007<sup>2</sup> et ont été validés en 2009 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»<sup>3</sup>.

La contribution d'origine naturelle au débit d'équivalent de dose ambiant  $H^*(10)$  s'obtient par sommation des composantes locales du rayonnement terrestre (<sup>40</sup>K, séries <sup>238</sup>U et <sup>232</sup>Th), 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 été adaptée par rapport à celle anciennement utilisée pour le débit de kerma dans l'air<sup>4</sup>, 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  $H^*(10)$ , deux approches sont possibles. La première consiste à soustraire la contribution 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 globale 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 présents sur le site est connue, on choisira plutôt de calculer leur contribution respective à l'exposition à partir de leur concentration radioactive dans le sol.

La somme des contributions naturelles et artificielles calculées à partir des spectres in situ est finalement 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 l'<sup>238</sup>U et du <sup>232</sup>Th ainsi que pour le <sup>40</sup>K et le <sup>137</sup>Cs, dans le cas d'une distribution homogène de ces radionucléides dans le sol<sup>2</sup>.

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

<sup>1</sup> ICRU-Report 53 «Gamma-Ray Spectrometry in the Environment» 1994, ISBN 0-913394-52-1.

<sup>2</sup> Lemercier 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

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

<sup>4</sup> Radioprotection, vol. 22 n° 3, pages 231-239, 1987.

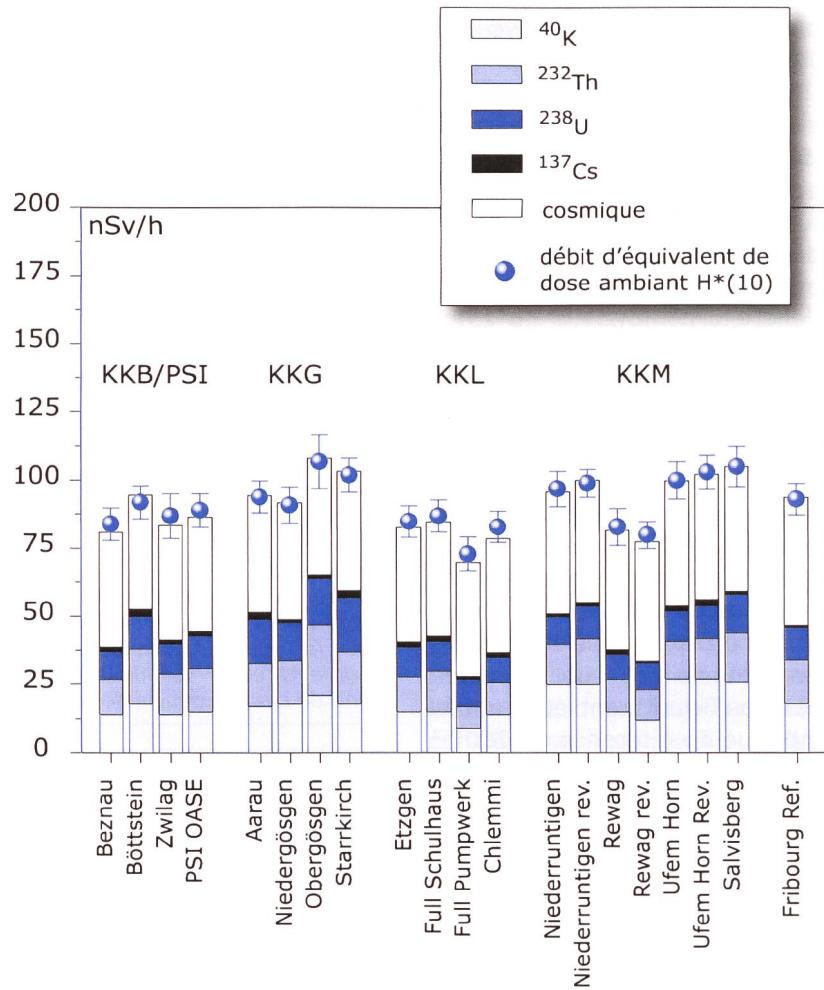
## Résultats in situ 2010

En 2010, les examens in situ ont été réalisés principalement au voisinage des centrales nucléaires de Beznau (KKB), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) et Mühlberg (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 mesures complémentaires ont été réalisées dans les Grisons en vue de l'organisation par la Suisse d'un exercice international d'intercomparaison en spectrométrie gamma in situ qui se déroulera dans la région de Davos/GR en automne 2011 (Exercice ISIGAMMA 2011, <http://www.isigamma.ch>, comité d'organisation : OFSP, IFSN, Labor Spiez).

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 2010. 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  $^{137}\text{Cs}$  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.

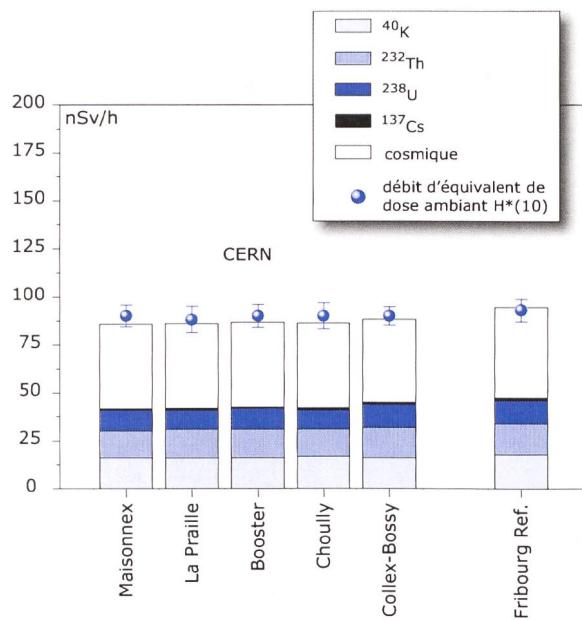
En comparant les résultats des figures 1, 2 et 3 il apparaît tout d'abord que le débit d'équivalent de dose ambiant  $H^*(10)$  relevé au voisinage des centrales nucléaires et des centres de recherche (PSI, CERN) ne se distingue pas de manière significative de celui mesuré au point de référence de Fribourg. Le seul radionucléide d'origine artificielle mis en évidence sur les spectres in situ en 2010 est le  $^{137}\text{Cs}$ . Ce dernier a été enregistré sur tous les sites de mesure. Au Tessin, la contamination rémanente en  $^{137}\text{Cs}$ , issue des retombées des essais nucléaires des années 50 et 60 et surtout de celles de l'accident de Tchernobyl, est toujours présente et contribue à la dose ambiant mesurée.



**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 2010. La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant  $H^*(10)$  avec chambre d'ionisation est également représentée.

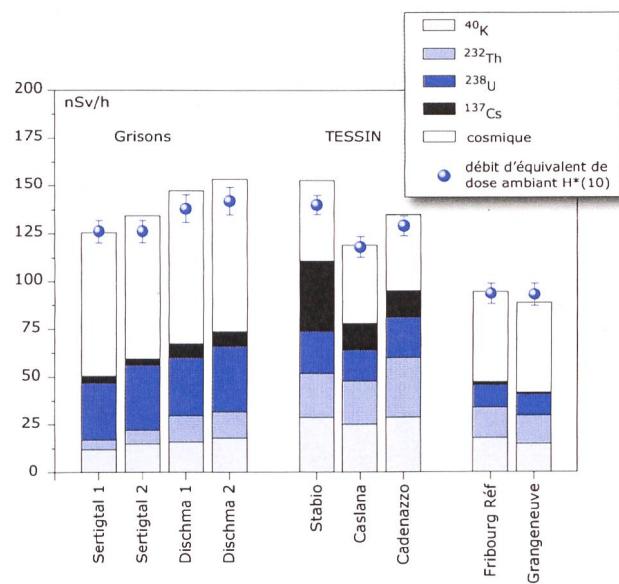
dent de Tchernobyl, est toujours clairement visible, mais les valeurs mesurées ne représentent pas de danger pour la santé du public. Sans atteindre les niveaux enregistrés au Tessin, on observe également des valeurs légèrement plus élevées pour le  $^{137}\text{Cs}$  aux Grisons que sur le plateau suisse ; ce phénomène est connu et s'explique par le fait que les retombées des essais nucléaires et de l'accident de Tchernobyl ont été plus importantes en altitude.



**Figure 2:**

Contributions individuelles au débit d'équivalent de dose ambiant  $\text{H}^*(10)$  calculées à partir des spectres *in situ* (distribution supposée homogène des radionucléides dans le sol) mesurés en 2010 au voisinage du CERN ainsi qu'au point de référence de Fribourg. La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant  $\text{H}^*(10)$  avec chambre d'ionisation est également représentée.

Pour tous les sites examinés, les différences entre reconstruction *in situ* et mesures globales par chambre d'ionisation sont restées inférieures à 10%, attestant ainsi que les résultats obtenus par cette méthode traduisent bien la réalité. A Stabio, site où les dépôts en  $^{137}\text{Cs}$  sont plus importants, on constate tout de même que la reconstruction *in situ* semble surestimer de manière significative l'exposition par rapport à la mesure globale de  $\text{H}^*(10)$ . Cet écart doit conduire à remettre en question la distribution homogène admise pour le  $^{137}\text{Cs}$  résultant du fallout de Tchernobyl. En effet, l'hypothèse d'une distribution homogène pour un radionucléide qui, en réalité, est situé en surface ou qui n'a que partiellement migré en profondeur, conduira à une surestimation de sa contribution au débit d'équivalent de dose ambiant. Plus la concentration radioactive de ce radionucléide sera élevée, plus cette surestimation sera par ailleurs visible dans la reconstitution *in situ*.



**Figure 3:**

Contributions individuelles au débit d'équivalent de dose ambiant  $\text{H}^*(10)$  calculées à partir des spectres *in situ* (distribution supposée homogène des radionucléides dans le sol) mesurés en 2010 au Tessin, dans les Grisons ainsi que dans le canton de Fribourg. La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant  $\text{H}^*(10)$  avec chambre d'ionisation est également représentée.

## Conclusions

Les mesures de spectrométrie gamma *in situ* réalisées par l'OFSP en 2010 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  $^{137}\text{Cs}$  du fallout et de Tchernobyl).

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  $\text{H}^*(10)$  calculé à partir de l'analyse spectrométrique à celui mesuré avec une chambre d'ionisation. Même si les concentrations plus élevées de  $^{137}\text{Cs}$  dues aux retombées de Tchernobyl sont toujours plus importantes au Tessin et localement dans les régions montagneuses 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

## Die automatische Überwachung der Ortsdosisleistung mit NADAM

**Cristina Danzi**

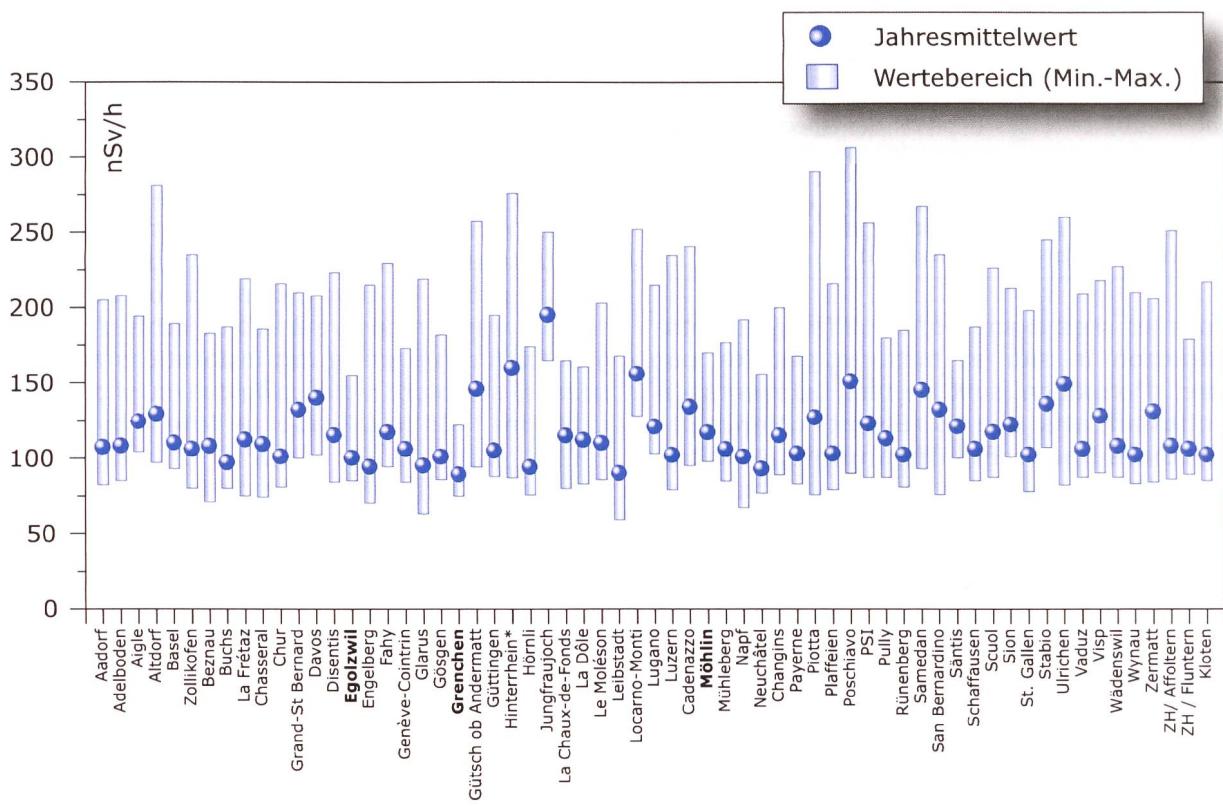
Nationale Alarmzentrale NAZ, Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS,  
Ackermannstrasse 26, 8044 Zürich

### Zusammenfassung

Das Netz für die automatische Dosisleistungsalarierung und -messung (NADAM) dient der grossräumigen und permanenten Überwachung der externen Strahlung in der Schweiz. Das Netz besteht aus 63 Stationen (Stand 14.04.2011), die über die ganze Schweiz verteilt sind. Alle Stationen messen in 10 Minuten Intervallen die  $\gamma$ -Ortsdosisleistung (ODL).

Um das schweizerische Gebiet noch besser abzudecken, wurden im Jahr 2010 drei neue Stationen (Egolzwil, Grenchen und Möhlin) gebaut und in Betrieb genommen.

Im Jahr 2010 wurden keine Werte gemessen, die auf eine erhöhte Strahlenbelastung der Bevölkerung schliessen liessen.



**Figur 1:**

Jahresmittelwerte und Erfahrungsbereiche 2010 der NADAM-Sonden. Der dargestellte Erfahrungsbereich entspricht dem Bereich zwischen dem minimalen und dem maximalen 10-Minuten-Wert der Sonde im Jahr 2010. Bei den Stationen, die fett markiert sind, handelt es sich um neue Stationen, die im Verlauf von 2010 neu in Betrieb genommen wurden. Bei diesen Stationen sind die 10-Minuten Werte (Maximum, Minimum und Mittelwert) nicht unbedingt repräsentativ, weil die Stationen nicht das ganze Jahr im Betrieb waren (\*: alter Sondentyp).

## Übersicht

Die permanente Überwachung der externen Strahlung in der Schweiz wird von den 63 über die ganze Schweiz verteilten NADAM-Stationen (Stand 14.04.2010) garantiert. Die Stationen befinden sich bei den Wetterstationen von MeteoSchweiz und liefern alle zehn Minuten Daten zur Ortsdosiseleistung (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 zweimal täglich auf der Internetseite der NAZ ([www.naz.ch](http://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 ( $1 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ) wird in der NAZ sofort eine Alarmsmeldung ausgelöst, die ans NAZ Pikett geschickt wird. Bei einem radiologischen Ereignis unterstützt das NADAM-Netz die NAZ bei der Bestimmung des gefährdeten Gebietes und der Beurteilung der allfällig notwendigen Massnahmen.

Nach nahezu 20 Betriebsjahren, wurde eine vollständige Erneuerung des NADAM-Netzes zwischen 2005 und 2009 durchgeführt. Der Umbau erfolgte

parallel zur Erneuerung des Messnetzes von Meteo-Schweiz. Dabei wurden die Stationen dem heutigen Stand der Technik angepasst und mit neuen Messsonden ausgerüstet. Die neuen Sonden sind mit drei Geiger-Müller-Zählrohren bestückt, zwei für den Niederdosis- und eines für den Hochdosisbereich. Dadurch erhöht sich die Genauigkeit der Messungen im Untergrundsbereich. Der Messbereich wird auch wesentlich grösser ( $10 \text{ nSv}/\text{h} - 10 \text{ Sv}/\text{h}$ ) und deckt nun die ganze Spannweite bis hin zu Dosisleistungen ab, wie sie z.B. nach einer A-Waffenexplosion zu messen wären. Weitere Verbesserungen ergeben sich bei der Eichung der einzelnen Sonden, bei der direkten Berechnung von Impuls/Sekunde auf  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ , und beim Abzug des Eigenefekts. Dieser ist vom Hersteller für jede Sonde einzeln gemessen worden und wird automatisch vom Messwert subtrahiert.

Nur noch an zwei Standorten (Paul Scherrer Institut (PSI) und Hinterrhein) messen noch alte Sonden. Die Station Hinterrhein wird im Verlauf von 2011 abgeschafft, weil seit 2008 die Station San Bernardino im Betrieb ist und diese Station in Luftlinie ungefähr 7 km von Hinterrhein entfernt ist. Die NADAM-Station am PSI hat im Umkreis von 500m drei MADUK-Stationen. Auf den Ersatz dieser Station konnte deshalb verzichtet werden. Im Moment besteht aber das Interesse seitens des PSI diese



**Figur 2:**

Karte der Jahresmittelwerte, basierend auf allen 10-Min-Werten 2010 der NADAM-Sonden. Der Jahresmittelwert der Ortsdosiseleistung variiert je nach Standort zwischen 89 und 195  $\text{nSv}/\text{h}$ .

Station zu behalten. Im Jahr 2011 wird über den weiteren Verlauf definitiv entschieden. Bei beiden Stationen (PSI und Hinterrhein) konnte ohne Verlust auf die Umrüstung verzichtet werden, da in der unmittelbaren Umgebung andere Stationen in Betrieb sind.

Im Jahr 2010 wurden 3 neue Stationen gebaut, nämlich Egolzwil, Grenchen und Möhlin.

Für das Jahr 2011 (spätestens 2012) sind zusätzlich noch 4 neue Standorte geplant.

In der Berichtsperiode wurden, neben einem interessanten Vorfall (siehe: «Vorfall Adelboden»), nur einzelne technische Störungen bei der Messung oder der Datenübertragung registriert.

Im Jahr 2010 wurden keine Werte gemessen, die auf eine erhöhte Strahlenbelastung der Bevölkerung schliessen liessen.

## Jahresmittelwerte und Erfahrungsbereiche 2010

Übersichten der Jahresmittelwerte und der extremen 10-Minuten-Werte für die einzelnen Stationen sind in den Fig. 1 und 2 dargestellt.

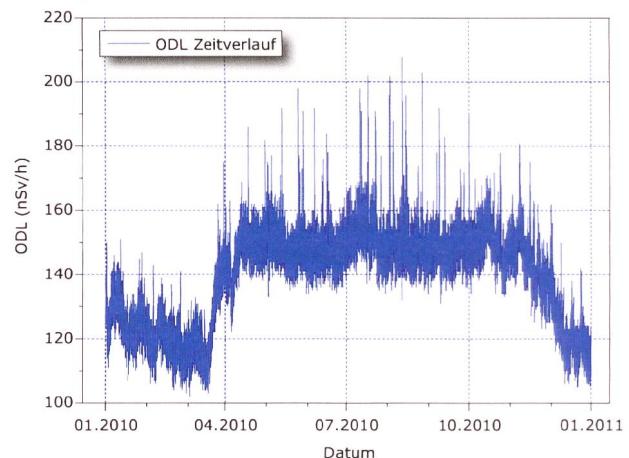
Wie jedes Jahr wurden die bisherigen Erfahrungsbereiche anhand der aktuellen Messwerte überprüft und bei Bedarf angepasst. Der Erfahrungsbereich hilft bei der automatischen Plausibilisierung der Messwerte und erleichtert somit das rasche Erkennen von erhöhten Messwerten, die unter der Schwelle von  $1 \mu\text{Sv}/\text{h}$  liegen.

## Eine detailliertere Analyse für die Station Davos

Die natürlich bedingte Ortsdosiseleistung 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 Ortsdosiseleistung. 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.

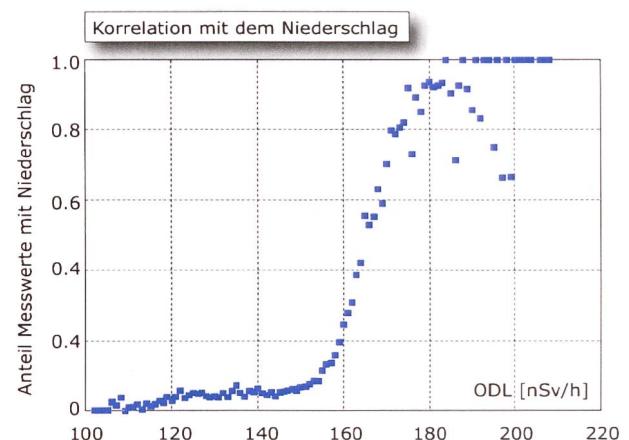
Die Höhe des Sondenstandortes über Meer bestimmt den kosmischen Anteil zur ODL. Je höher der Messstandort, desto weniger wird die kosmische Strahlung durch die Atmosphäre abgeschwächt, d.h. um so grösser wird die Intensität der kosmischen Strahlung.



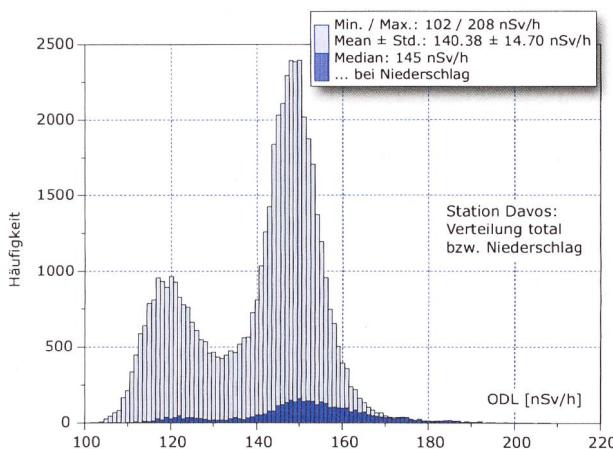
**Figur 3:**  
Zeitverlauf 10-Min-ODL-Werten der Station Davos im Jahr 2010.

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). 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-Werte 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 Frêta, Disentis, Gütsch, Piotta, Robbia, Samedan, San Bernardino, Ulrichen und Zermatt (Figur 1).



**Figur 4:**  
Korrelation zwischen 10-Min-ODL-Daten und dem Niederschlag. Die ODL-Daten über  $170 \text{ nSv}/\text{h}$  korrelieren in 70% - 100% der Fälle mit Niederschlägen.



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

Andererseits beobachtet man einzelne Spitzen nach oben. Diese sind auf Niederschläge zurückzuführen, welche die Folgeprodukte des natürlich vorkommenden Radons ( $^{222}\text{Rn}$ ) 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 10-Minuten-Werte der ODL bei Gewittern 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 170 nSv/h korrelieren in 70% - 100% der Fälle mit Niederschlägen. Die ODL-Spitzen, die man in Figur 3 beobachtet, lassen sich damit sehr gut mit den

Niederschlägen erklären. Der Niederschlagseffekt zeigt sich auch sehr gut in den maximalen 10-Minuten-Werten der Stationen Altdorf, Luzern, Zürich/Affoltern und Robbia (Figur 1).

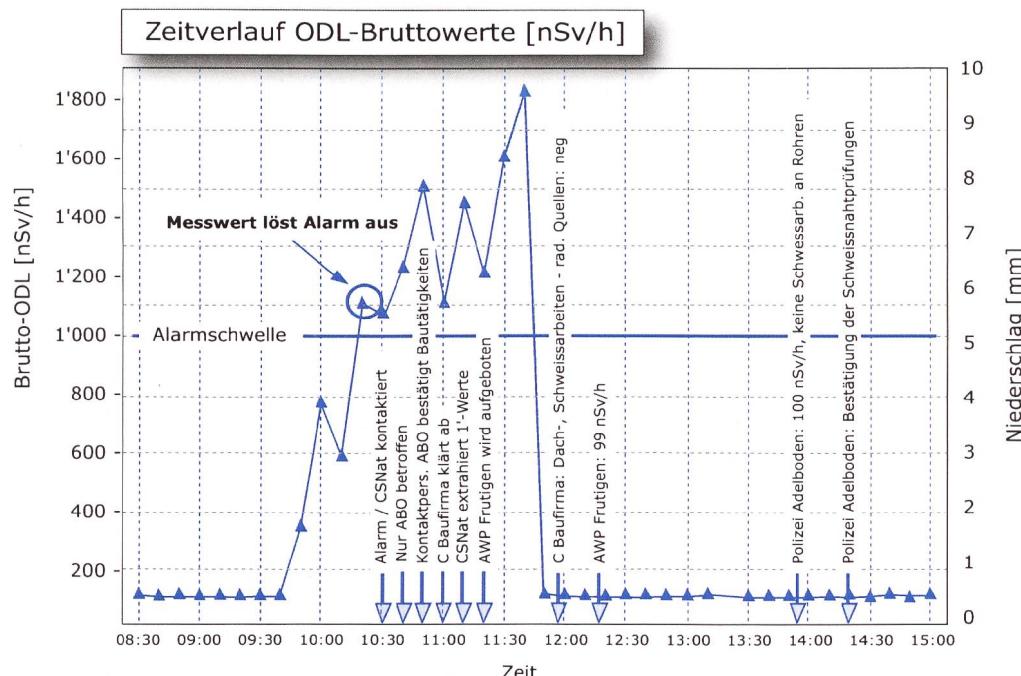
Figur 5 zeigt die Häufigkeitsverteilung der 10-Minuten ODL-Daten. Hellblau kennzeichnet die Verteilung aller ODL-Daten, dunkelblau nur diejenigen bei Niederschlägen (Schnee oder Regen). Bei der hellblauen Kurve sind zwei lokale Maxima gut sichtbar. Das erste Maximum, das ungefähr bei 118 nSv/h liegt, entspricht dem häufigsten Wert an Tagen mit geschlossener Schneedecke. Das zweite Maximum (bei ungefähr 150 nSv/h) entspricht dem häufigsten Wert an Tagen ohne Schneedecke.

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

#### Eine interessanter Vorfall: Adelboden

Am 22.09.10 wurde um 10:20 Uhr bei der NADAM-Sonde in Adelboden Radioaktivitätsalarm ausgelöst. Dieser wiederholte sich bei den folgenden 10-Minuten-Werten. Sofortige Abklärungen der NAZ ergaben, dass nur die Sonde Adelboden betroffen war.

Über die Kontaktperson der Meteostation in Adelboden konnte die NAZ in Erfahrung bringen, dass in der unmittelbaren Umgebung Bautätigkeiten im Gange waren. Der anschliessend kontaktierte Chef der Baufirma konnte zwar Schweißarbeiten bestätigen, wusste aber nichts von allfälligen Schweiß-



**Figur 6:**  
Zeitverlauf ODL-Bruttowerte (10-Minutenwerte) der Station Adelboden am 22.09.10 und Abklärungen/Ergebnisse NAZ

nahtprüfungen mit einer radioaktiven Quelle oder einer Röntgenanlage.

Da ein technischer Defekt der Sonde ebenfalls nicht ausgeschlossen werden konnte, bot die NAZ um 11:20 Uhr den nächstgelegenen Atomwarnposten (AWP) aus Frutigen auf, um vor Ort Kontrollmessungen durchzuführen. In der Zwischenzeit stiegen die ODL-Werte bis 11:40 Uhr auf einen Höchstwert von 1820 nSv/h an, danach waren sämtliche 10-Minuten-Werte wieder im normalen Bereich. Deshalb lag auch die um 12:20 Uhr vom AWP vorgenommene Vergleichsmessung im normalen Bereich.

Der AWP aus Frutigen übergab daraufhin die weitere Bearbeitung des Falls der lokalen Polizei von Adelboden. Als diese um 14:00 Uhr Kontakt mit der NAZ aufnahm, berichtete er, dass es zwei Baustellen gäbe, östlich der Messstation die Baustelle der Sportarena und westlich der Messstation eine Wasserleitungsbauastelle. Wie sich herausstellte, hatte der ortsansässigen Polizist noch am Vormittag mit einem Arbeiter der Wasserleitungsbauastelle, welcher mit Schweissarbeiten beschäftigt war, gesprochen. Dieser gab den Hinweis, dass zur Überprüfung der Schweissnähte geröntgt wurde.

Ein nochmaliges Nachfragen klärte die Ursache endgültig: Am Vormittag wurden ab ca. 09:30 Uhr bis kurz vor Mittag durch eine Spezialfirma die Schweissnähte mit einer Röntgenanlage überprüft. Da die Wasserleitung in einer Distanz von 5 m zur Messstation verlief, wurde die Röntgenstrahlung durch die NADAM-Sonde detektiert.

Die Prüfung einer Schweissnaht dauerte etwa 4 Minuten, dazwischen wurde die Apparatur von einer Schweissnaht zur nächsten verschoben und neu positioniert. Dieses Vorgehen entsprach genau dem Muster, der von MeteoSchweiz (CSNAT Payerne) erhaltenen 1-Minutenwerte: die Werte waren jeweils während ca. 4 Minuten erhöht, dann während 1 – 2 Minuten wieder normal. Für die vor Ort anwesenden Personen bestan während der ganzen Zeit keine Gefährdung.

## Qualitätssicherung

Die neuen Sonden sind vom Hersteller typengeprüft und wurden durch das «Institut de radiophysique» (IRA) geeicht. Im Einverständnis mit der Aufsichtsbehörde wurde die Gültigkeit des Eichzertifikats auf fünf Jahre festgelegt.

Die Sonden werden jährlich getestet und mindestens alle fünf Jahre geeicht. Die jährlichen Sondentests werden von MeteoSchweiz gleichzeitig mit dem Unterhalt der gesamten Meteo-Station durchgeführt. Ziel von diesen Sondentests ist einerseits zu überprüfen, dass die Sonden in den definierten Wertebereich messen: Bei einer Abweichung von mehr als 7% des gemessenen Wertes zum Sollwert wird die Sonde ausgewechselt. Somit können die Dosisleistungswerte von zwei verschiedenen Sonden (verschiedene Seriennummer) am gleichen Standort sich um bis zu 15 nSv/h unterscheiden können. Anderseits werden bei dem Sondentests auch die Meldewege getestet, insbesondere die Auslösung des Alarms. Aus diesem Grund muss, bevor der Test gestartet wird, die Alarmstelle NAZ informiert werden.

Die ersetzen Sonden werden dann für die Eichung zum IRA geschickt. Routinemässig betrifft dies ungefähr 15 Sonden pro Jahr. Bei technischen Defekten werden die Sonden ausgewechselt, bei MeteoSchweiz Payerne im Labor getestet und wenn notwendig dem Hersteller zur Reparatur geschickt.

Im Jahr 2010 wurden 73 Sondentests bei 58 Stationen seitens MeteoSchweiz durchgeführt. Die Messsonden am PSI und Hinterrhein werden nicht mehr überprüft: die drei fehlenden Stationen wurden anfangs 2011 getestet. Gesamthaft wurden in diesem Jahr 25 Sonden ausgewechselt.

Die NAZ verfügt insgesamt über 80 Sonden. Im Jahr 2011 werden zusätzliche 10 neue Messsonden beschafft, da einerseits neue Messstationen geplant sind, andererseits um einen adäquaten Austauschplan (Reparatur, Eichung, Reserve) garantieren zu können.

Die Resultate für 2010 zeigen, dass die neuen NADAM-Stationen stabil und zuverlässig sind.

**Tabelle 1:**

Jahresmittelwert, häufigster Wert, Minimum und Maximum der NADAM-Stationen. Die Stationen, die fett markiert sind, entsprechen den drei neuen Stationen. Diese waren nicht während das ganzen Jahres 2010 in Betrieb. Die zwei Stationen, welche noch mit alten Sonden ausgerüstet sind (Hinterrhein und PSI) sind mit \* gekennzeichnet.

Station (Abkürzung)	Kan-ton	Datum der Inbetriebnahme der neuen Messonde	Höhe [m.ü.M.]	Jahres-mittel-wert [nSv/h]	Häufigs-ter Wert [nSv/h]	Minimum [nSv/h]	Maximum [nSv/h]
Aadorf / Tänikon (TAE)	TG	04.10.2006	536	107	105	82	205
Adelboden (ABO)	BE	24.08.2009	1320	108	109	85	208
Aigle (AIG)	VD	01.09.2005	381	124	121	104	194
Altdorf (ALT)	UR	08.12.2008	438	129	128	97	281
Basel (BAS)	BS	09.12.2009	316	110	109	93	189
Bern / Zollikofen (BER)	BE	03.08.2006	553	106	106	80	235
Beznau (BEZ)	AG	03.06.2008	326	108	106	71	183
Buchs / Aarau (BUS)	AG	05.05.2008	387	97	94	80	187
Bullet / La Frétaz (FRE)	VD	24.02.2006	1205	112	116	75	219
Chasseral (CHA)	BE	05.12.2006	1594	109	113	74	186
Chur (CHU)	GR	23.03.2007	556	101	99	81	216
Col du Grand-St Bernard (GSB)	VS	11.11.2005	2472	132	123	100	210
Davos (DAV)	GR	14.12.2006	1594	140	150	102	208
Disentis / Sedrun (DIS)	GR	14.12.2006	1197	115	115	84	223
<b>Egolzwil (EGO)</b>	<b>LU</b>	<b>22.09.2010</b>	<b>521</b>	<b>100</b>	<b>99</b>	<b>85</b>	<b>155</b>
Engelberg (ENG)	OW	14.12.2006	1037	94	94	70	215
Fahy / Boncourt (FAH)	JU	12.04.2006	596	117	116	94	229
Genève-Cointrin (GVE)	GE	12.06.2009	420	106	105	84	173
Glarus (GLA)	GL	13.10.2005	517	95	96	63	219
Gösgen (GOE)	SO	03.06.2008	380	101	100	86	182
<b>Grenchen (GRE)</b>	<b>SO</b>	<b>06.12.2010</b>	<b>430</b>	<b>89</b>	<b>88</b>	<b>75</b>	<b>122</b>
Gütsch ob Andermatt (GUE)	UR	01.09.2005	2287	146	181	94	257
Güttingen (GUT)	TG	29.08.2006	440	105	103	88	195
Hinterrhein (HIR)*	GR	-	1611	160	180	87	276
Hörnli (HOE)	ZH	03.12.2008	1132	94	93	76	174
Jungfraujoch (JUN)	VS	29.08.2006	3580	195	186	165	250
La Chaux-de-Fonds (CDF)	NE	10.11.2005	1018	115	118	80	165
La Dôle (DOL)	VD	14.12.2006	1670	112	115	83	161
Le Moléson (MLS)	FR	14.10.2008	1974	110	109	86	203
Leibstadt (LEI)	AG	03.06.2008	341	90	88	59	168
Locarno-Monti (OTL)	TI	23.03.2007	383	156	155	128	252
Lugano (LUG)	TI	04.10.2006	273	121	119	103	215
Luzern (LUZ)	LU	05.12.2006	454	102	100	79	235
Magadino / Cadenazzo (MAG)	TI	15.02.2006	203	134	131	95	241
<b>Möhlin (MOE)</b>	<b>AG</b>	<b>09.09.2010</b>	<b>344</b>	<b>117</b>	<b>115</b>	<b>98</b>	<b>170</b>
Mühleberg (MUB)	BE	26.05.2008	480	106	104	85	177
Napf (NAP)	BE	03.07.2007	1404	101	104	67	192
Neuchâtel (NEU)	NE	14.07.2008	485	93	92	77	156
Nyon / Changins (CGI)	VD	13.10.2005	455	115	114	89	200
Payerne (PAY)	VD	05.12.2006	490	103	100	83	168
Piotta (PIO)	TI	21.10.2009	1007	127	136	76	290

Station (Abkürzung)	Kanton	Datum der Inbetriebnahme der neuen Messonde	Höhe [m.ü.M.]	Jahresmittelwert [nSv/h]	Häufigster Wert [nSv/h]	Minimum [nSv/h]	Maximum [nSv/h]
Plaffeien (PLF)	FR	08.08.2005	1042	103	104	79	216
Poschiavo / Robbia (ROB)	GR	23.01.2008	1078	151	153	90	306
PSI/Würenlingen (PSI)*	AG	-	334	123	121	87	256
Pully (PUY)	VD	19.01.2006	455	113	112	87	180
Rünenberg (RUE)	BL	09.08.2006	611	102	100	81	185
Samedan (SAM)	GR	03.07.2007	1709	145	157	93	267
San Bernardino (SBE)	GR	19.01.2006	1639	132	152	76	235
Säntis (SAE)	AI	30.11.2005	2502	121	118	100	165
Schaffhausen (SHA)	SH	30.07.2008	438	106	105	85	187
Scuol (SCU)	GR	24.02.2006	1304	117	119	87	226
Sion (SIO)	VS	13.10.2005	482	122	118	101	213
St. Gallen (STG)	SG	23.01.2008	776	102	101	78	198
Stabio (SBO)	TI	08.10.2009	353	136	134	107	245
Ulrichen (ULR)	VS	28.05.2008	1346	149	168	82	260
Vaduz (VAD)	FL	03.08.2006	460	106	104	87	209
Visp (VIS)	VS	29.09.2008	639	128	127	90	218
Wädenswil (WAE)	ZH	04.06.2008	485	108	106	87	227
Wynau (WYN)	BE	29.09.2005	422	102	101	83	210
Zermatt (ZER)	VS	01.09.2005	1638	131	134	84	206
Zürich / Affoltern (REH)	ZH	11.09.2007	444	108	111	86	251
Zürich / Fluntern (SMA)	ZH	11.07.2007	556	106	103	89	179
Zürich / Kloten (KLO)	ZH	24.09.2009	436	102	100	85	217

### 3.3

## Aeroradiometrische Messungen

**B. Bucher<sup>1</sup>, G. Butterweck<sup>2</sup>, L. Rybach<sup>3</sup>, G. Schwarz<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Industriestrasse 19, 5200 Brugg

<sup>2</sup> Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen PSI

<sup>3</sup> Institut für Geophysik, ETH Zürich, 8092 Zürich

### Zusammenfassung

Bei der jährlichen Messübung des Stab BR NAZ vom 5. bis 9. Juli 2010 wurde turnusgemäß im Auftrag des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (ENSI) die Umgebung der Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) sowie der Zwischenlager Würenlingen AG (ZWILAG) und der Forschungsanstalt Paul Scherrer Institut (PSI) in Villigen aeroradiometrisch vermessen. Nach 1999 wurde auf Wunsch der deutschen Behörden zum zweiten Mal bei dem KKL auch die Umgebung auf deutscher Seite gemessen. Die Messungen ergaben ähnliche Werte wie in früheren Jahren. So wurde beim KKL Streustrahlung des Aktivierungsprodukts  $^{16}\text{N}$  gemessen, über dem PSI Ost das Bundeszwischenlager (BZL) anhand von  $^{60}\text{Co}$  detektiert und über dem PSI West Annihilationsstrahlung und  $^{41}\text{Ar}$  registriert. Der Block 1 des KKB war zum Zeitpunkt der Messflüge in Revision. Hier wurde ein schwaches Signal von aktivierten Komponenten registriert, die im Zuge der Revisionsarbeiten auf dem Werksareal bewegt wurden. Über dem ZWILAG wurden keine erhöhten Werte festgestellt. Ausserhalb der umzäunten Areale wurde keine künstliche Radioaktivität gemessen, welche nicht auf den Tschernobyl- oder Bombentest-Fallout zurückzuführen wäre.

Im Weiteren wurden noch Profile von Wil/SG nach Poschiavo, von Martina nach Castasegna und von Montreux nach St. Margrethen aufgenommen sowie Messungen über Referenzflächen des BAG in Cadenazzo, Posieux, Affoltern/ZH und Güttingen durchgeführt. Schliesslich wurde auch noch das Dischmatal in der Nähe von Davos gemessen, welches in 2011 als Messgebiet für eine internationale in situ Gammaspektrometrie-Messübung dienen wird. Diese Messungen zeigten die natürlichen Variationen aufgrund der Zusammensetzung des Bodens und des entsprechenden Gehaltes an natürlichen Radionukliden.

### 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 km<sup>2</sup>) 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).

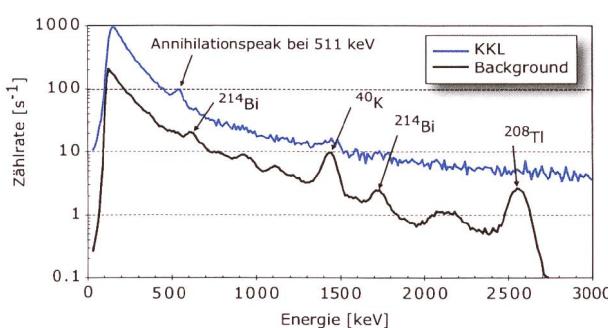
Im Jahre 1994 wurde die Aeroradiometrie in die Einsatzorganisation Radioaktivität des Bundes integriert. Als mögliche Einsatzfälle stehen Transport- und Industrieunfälle mit radioaktivem Material, KKW-Störfälle, Abstürze von Satelliten mit Nuklearreaktoren und «Dirty Bombs» im Vordergrund. Die jährlichen 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 2010

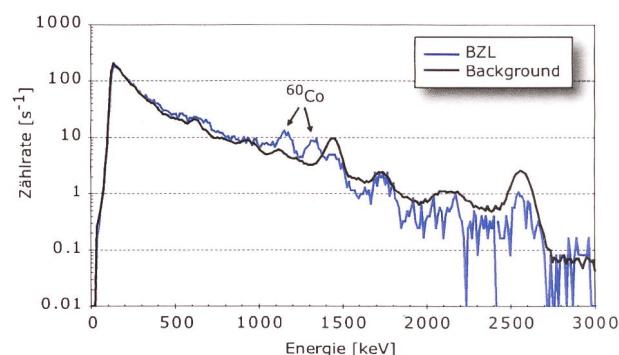
Die Messflüge 2010 fanden vom 5. bis 9. Juli unter der Leitung von G. Scharding (Nationale Alarmzentrale) statt. Turnusgemäß wurde das Messgebiet um die Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) sowie die Zwischenlager Würenlingen AG (ZWILAG) und die Forschungsanstalt Paul Scherrer Institut (PSI) in Villigen aeroradiometrisch vermessen. Im Weiteren wurden Profile von Wil/SG nach Poschiavo, von Martina nach Castasegna und von Montreux nach St. Margrethen aufgenommen sowie Messungen über den Referenzflächen des BAG in Cadenazzo, Posieux, Affoltern/ZH und Güttingen durchgeführt. Schliesslich wurde auch noch das Dischmatal in der Nähe von Davos gemessen, welches in 2011 als Messgebiet für eine internationale in situ Gammaspektrometrie-Messübung dienen wird.

Die Messresultate in den Messgebieten KKB, KKL, PSI und ZWILAG zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegangenen Messkampagnen. KKB1 befand sich zum Zeitpunkt der Messflüge im Revisionsstillstand. Im Zuge der Revisionsarbeiten wurden aktivierte Komponenten im Areal gelagert, die schwach aus der Luft detektiert werden konnten. Das KKL mit seinem Siedewasserreaktor konnte anhand gestreuter, hochenergetischer Photonenstrahlung erkannt werden (Abb. 1). Diese Strahlung wird durch das Aktivierungsprodukt  $^{16}\text{N}$  erzeugt, welches bei Siedewasserreaktoren mit dem Frischdampf zu den Turbinen im Maschinenhaus geleitet wird. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise gering abgeschirmt ist, kann die hochenergetische Gammastrahlung des  $^{16}\text{N}$  und deren Streustrahlung im Energiebereich von 0 – 3 MeV aus der Luft gut gemessen werden. Im Spektrum ist ein Annihilationspeak bei 511 keV zu erkennen, der eine Folge der Paarbildung aufgrund der hochenergetischen Photonenstrahlung darstellt. Ausserhalb des Betriebsareals sind keine erhöhten Werte erkennbar.

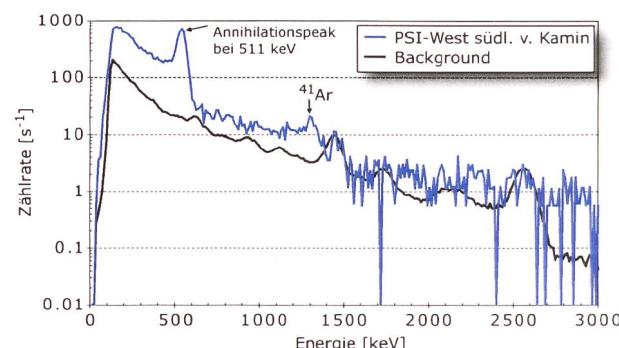


**Abbildung 1:**  
Photonenspektrum über dem KKL im Vergleich zum Untergrund. Das KKL-Spektrum wird dominiert durch die gestreute, hochenergetische Photonenstrahlung des  $^{16}\text{N}$  (Photopeak bei 6.1 MeV). Beim Untergrundsspektrum können die Photonenemissionen der natürlichen Radionuklide  $^{40}\text{K}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  und  $^{208}\text{Tl}$  erkannt werden.

Über der ZWILAG konnten wie in den früheren Jahren keine künstlichen Radionuklide identifiziert werden. Beim PSI Ost hingegen sind die Abfälle des Bundeszwischenlagers (BZL) anhand des Nuklids  $^{60}\text{Co}$  klar detektierbar (Abb. 2). Beim PSI West waren dieses Jahr aufgrund der ausgeprägten Schwachwindlage die Abgaben über die Fortluftanlage deutlich erkennbar. Bei den Abgaben handelt es sich hauptsächlich um Positronenstrahler mit sehr kurzer Halbwertszeit, die im Bereich der Beschleunigeranlage entstehen. Diese manifestieren sich im Spektrum durch die Gammalinie bei 511 keV (Abb. 3). In der Abbildung 3 ist ebenfalls schwach die Gammalinie des  $^{41}\text{Ar}$  (bei 1'291 keV) zu erkennen, welches ebenfalls über die Fortluftanlage des Beschleunigers abgegeben wird.

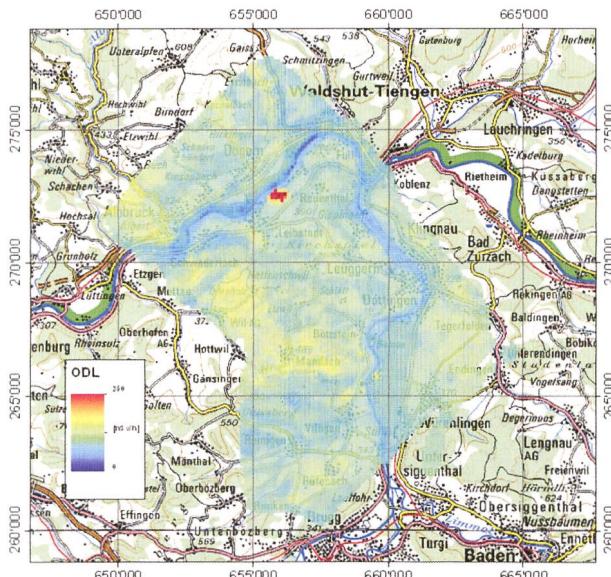


**Abbildung 2:**  
Photonenspektrum über dem PSI Ost im Bereich des BZL im Vergleich zum Backgroundspektrum.



**Abbildung 3:**  
Photonenspektrum über dem PSI West südlich des Kamins der Fortluftanlage im Vergleich zum Backgroundspektrum.

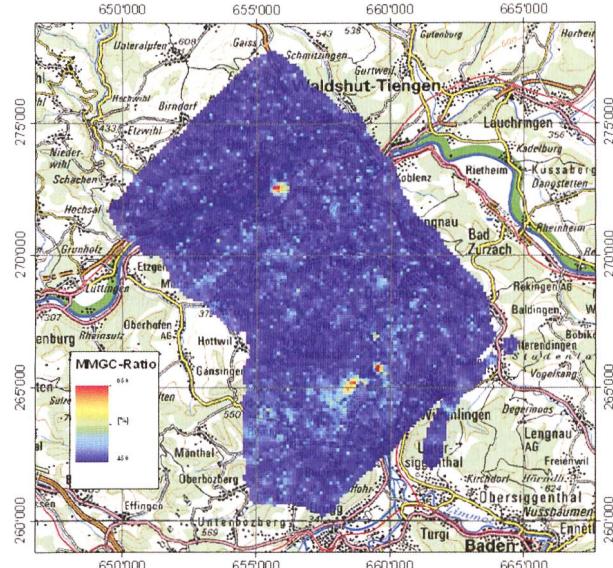
In der Karte der Ortdosisleistung (Abb. 4) ist das KKL deutlich anhand erhöhter Werte erkennbar. Ausserhalb des umzäunten Werksareals sind keine erhöhten Werte erkennbar. Über dem PSI Ost (BZL) ist im Vergleich zur Umgebung eine leichte Erhöhung erkennbar. Die Wertevariation ausserhalb der Anlagenareale ist auf natürliche Radioelementgehalte im Untergrund zurückzuführen. Die tiefsten Werte findet man über den Gewässern, da die terrestrische Strahlung dort durch den Wasserkörper abgeschirmt wird.



**Abbildung 4:**  
Karte der Ortsdosisleistung im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG. Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.

Die MMGC-Ratio steht für das Verhältnis der Anzahl niederenergetischer zur Anzahl hochenergetischer Photonen und ist ein sehr empfindliches Mass zur Eingrenzung von Gebieten, in welchen sich eine detaillierte Analyse der Daten empfiehlt. In der Abbildung 5 ist die nach Schwarz et al. (1991) modifizierte MMGC-Ratio für das Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG dargestellt. Darauf sind erhöhte Werte an den Standorten von KKL und PSI Ost zu erkennen. Zudem weist ein Gebiet südwestlich vom PSI West zwischen PSI und Villigen erhöhte Werte auf. Diese «Fahne» wurde durch die Positronenstrahler in der Abluft des PSI-West verursacht, die aufgrund der Gammalini bei 511 keV identifiziert werden konnten. Aufgrund der stabilen Wetterlage mit schwachem Wind war die Verdünnung der Abluft gering. Ausbreitungsrechnungen mit dem ENSI-eigenen ADPIC-System basierend auf den gemessenen Wetterdaten für den entsprechenden Zeitraum liessen eine Ausbreitung in südlicher Richtung erwarten.

In den gemessenen Profilen durch die Schweiz konnte deutlich der Einfluss der Zusammensetzung des Untergrunds erkannt werden, der in erster Linie von der Geologie abhängig ist. So zeigte das Profil von Montreux nach St. Margrethen für die in den nördlichen Voralpen vorherrschenden geologischen Einheiten typische Ergebnisse mit niedrigen Aktivitäten der natürlichen Nuklidreihen von  $^{232}\text{Th}$  und  $^{238}\text{U}$ . Im Gebiet vom Toggenburg und Appenzell hin zum Rheintal wurden höhere Cäsium-Aktivitäten registriert als in der Westschweiz und im Mittelland. Die Aktivitäten erreichen Werte zwischen 30 und 50 Bq/kg. Vergleicht man gemittelte Spektren aus den beiden Gebieten, treten neben Unterschieden bei den natürlichen Radionukliden auch klare Un-

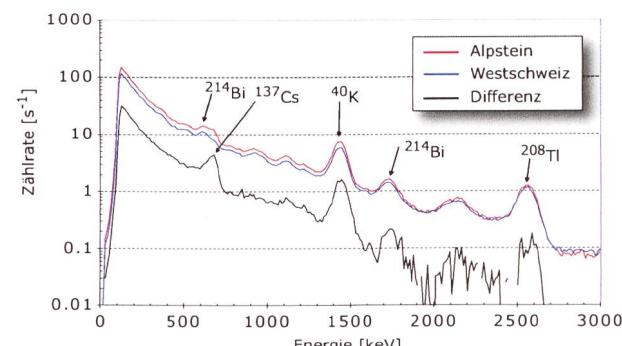


**Abbildung 5:**  
Karte der MMGC-Ratio im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG. Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.

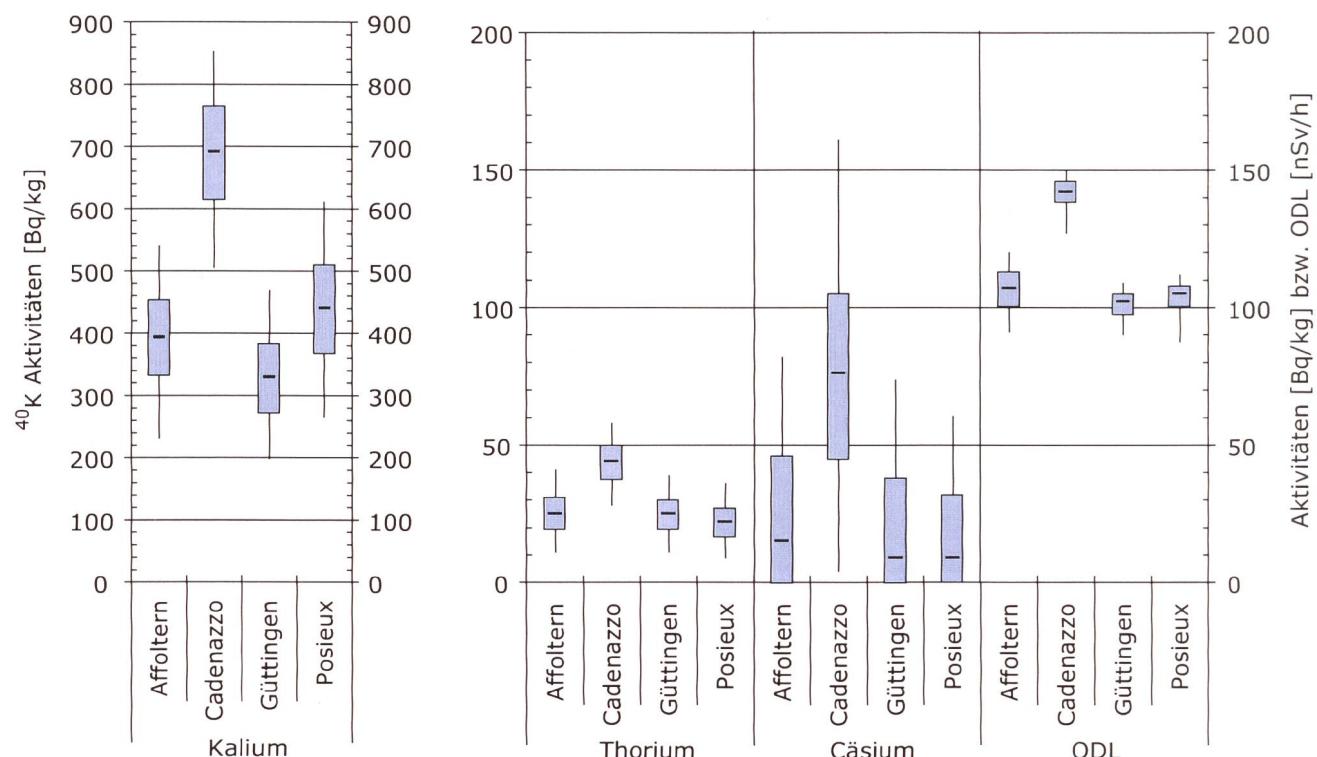
terschiede für  $^{137}\text{Cs}$  hervor (Abb. 6). Auf dem Profil von Wil nach Poschiavo wurden kurz vor dem Berninapass höhere natürliche Aktivitäten gemessen, die auf granitische Formationen zurückzuführen sind.

In der Abbildung 7 ist die statistische Verteilung für die verschiedenen Referenzflächen und die verschiedenen Aktivitäten bzw. Ortsdosisleistungen dargestellt. Die drei Gebiete bei Affoltern/ZH, Güttingen und Posieux zeigen sehr ähnliche Werte. Das Gebiet in Cadenazzo zeigt im Vergleich durchwegs etwas höhere Werte, insbesondere die Kalium- und Cäsiumaktivitäten sind deutlich höher als in den anderen Gebieten. Die Cäsium-Werte der Einzelmessungen in den drei Gebieten nördlich der Alpen liegen alle unterhalb der Nachweigrenze des Messsystems.

Die Messungen über den Referenzflächen des BAG zeigten in Posieux, Affoltern/ZH und Güttingen ins-



**Abbildung 6:**  
Gemittelte Spektren auf dem gemessenen Profil von Montreux nach St. Margrethen aus der Westschweiz und dem Alpsteingebiet im Vergleich. Grün ist die Differenz zwischen den beiden Spektren dargestellt.

**Abbildung 7:**

Statistische Verteilung der Ergebnisse in den vier Referenzflächen des BAG. Dargestellt sind die 5% und 95% Quantile, das erste und dritte Quartil (Box) und der Medianwert für die Aktivitäten von  $^{40}\text{K}$ , der Thorium-Reihe, und  $^{137}\text{Cs}$  sowie für die Ortsdosisleistung (ODL).

gesamt eine homogene Aktivitätsverteilung. Bei der Referenzfläche in Cadenazzo wurden in der nordwestlichen Ecke in einem bewaldeten Gebiet im Vergleich zur übrigen Fläche erhöhte Cäsium-Aktivitäten festgestellt. Das Tessin war in der Schweiz das am stärksten betroffene Gebiet des Tschernobyl-Unfalls. Die damals abgelagerte Aktivität kann heute vor allem in Arealen nachgewiesen werden, deren oberste Bodenschicht weitgehend unbeeinflusst blieb, wie zum Beispiel in Waldgebieten.

## Literatur

- Bucher, B., 2001: Methodische Weitentwicklungen in der Aeroradiometrie. Dissertation Nr. 13973, ETH Zürich.
- Schwarz, G. F., 1991: Methodische Entwicklungen zur Aerogammaskopometrie. 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). Interne Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich.
- Für weitere Informationen siehe auch: [www.far.ensi.ch](http://www.far.ensi.ch).