

**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:** - (2017)

**Rubrik:** 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:** 12.07.2025

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

Chapitre / Kapitel 3

**Externe  
Strahlung**

**Rayonnement  
externe**

# 3.1

## Mesures in situ & exposition externe

**S. Estier, A. Gurtner**

Section Radioactivité de l'environnement, URA, Office fédéral de la santé publique OFSP, 3003 Berne

### Résumé

En 2017, les mesures 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 2017 n'ont signalé aucune valeur susceptible de représenter un risque pour la santé du public.

Des mesures in situ ainsi que la cartographie de l'exposition ambiante ont également été réalisées dans le cadre du plan d'action radium de l'OFSP.

### 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 en surveillance normale visent, quant à elles, la détection de traces de radionucléides. Les résultats ont un caractère très local et ne renseignent pas sur l'exposition ambiante. Pour combler cette lacune, les laboratoires mobiles de l'OFSP (Section URA, Berne), de l'IFSN (Brugg), du Laboratoire de Spiez et de l'IRA (Lausanne) utilisent 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, de déterminer 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 la détermination 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 coefficients de conversion actuellement utilisés au laboratoire de l'OFSP sont détaillés plus bas<sup>2,3</sup>.

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>], si leur distribution dans le profil de sol est 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 naturelles de <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<sup>2,3</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 contribution du rayonnement 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 du être 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 avec une 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 alors 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 <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>2,3</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

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 <https://www.bag.admin.ch/dam/bag/fr/dokumente/str/kommission-strahlenschutz/stellungnahmen-dosimetrie/2010-empfehlung-umrechnungsfaktoren-gammaspektrometrie.pdf.download.pdf/2010-empfehlung-umrechnungsfaktoren-gammaspektrometrie.pdf>

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

## Résultats in situ 2017

Conformément au programme de surveillance habituel, les mesures in situ ont été réalisées au voisinage des centrales nucléaires de Beznau (KKB), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) et Mühleberg (KKM) et des centres de recherche (PSI, ZWILAG, CERN) ainsi qu'au Tessin, région de Suisse la plus touchée par les retombées de l'accident de Tchernobyl. Des mesures complémentaires ont par ailleurs été effectuées au voisinage de la centrale nucléaire de Mühleberg en vue d'évaluer plus précisément la situation radiologique avant le début des travaux de désaffectation (programme de mesures « Point zéro »), prévus dès début 2020. Des mesures par spectrométrie gamma in situ ont également été effectuées sur les trois sites de référence pour la surveillance de la radioactivité dans l'environnement en Suisse, à savoir Grangeneuve-Posieux/FR, Güttingen/TG et Cadenazzo/Ti. En 2017, cette technique de mesure a par ailleurs été mise en œuvre pour la détection du  $^{226}\text{Ra}$  dans le cadre des examens de sites contaminés par des héritages radiologiques de l'industrie horlogère, notamment à Waldenburg.

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 4 pour les principaux sites suisses examinés en 2017 (hors sites contaminés au radium). 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 pour 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.

La figure 1 montre que les radionucléides détectés au voisinage des centrales nucléaires et du PSI ainsi que leur contribution au débit d'équivalent de dose ambiant  $H^*(10)$  se distinguent généralement peu de ceux enregistrés sur les sites de référence, situés hors influence de ces installations, comme Güttingen ou Posieux. Le seul émetteur gamma d'origine artificielle mis en évidence sur l'ensemble de ces sites en 2017 est le  $^{137}\text{Cs}$ .

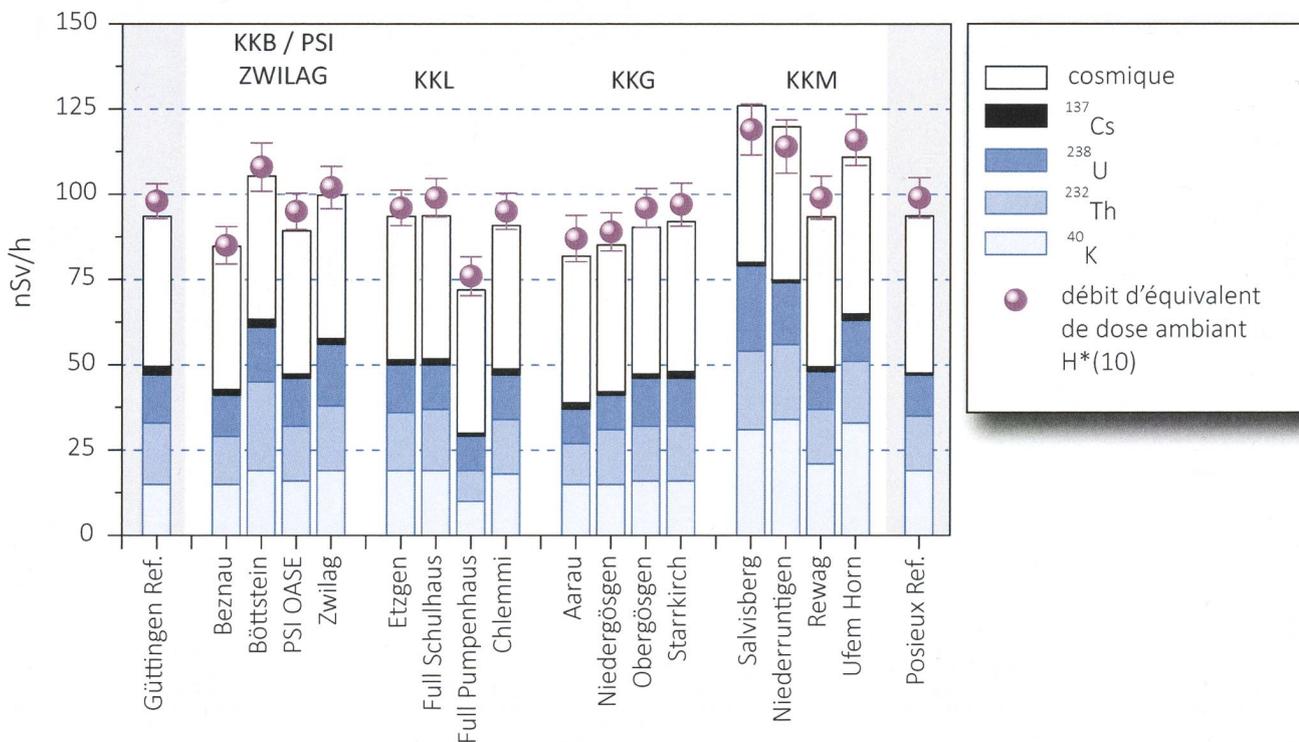


Figure 1:

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 2017 ainsi qu'aux points de référence de Güttingen/TG et Posieux/FR (en grisé). La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant  $H^*(10)$  avec chambre d'ionisation est également représentée.

Les valeurs plus élevées de débit de dose enregistrées au voisinage de la centrale de Mühleberg et en particulier à Salvisberg et Ufem Horn (fig. 1) sont d'origine naturelle. Elles sont en effet essentiellement dues aux concentrations plus importantes de  $^{40}\text{K}$  dans le sol, ainsi que, dans une moindre mesure, au rayonnement cosmique légèrement plus élevé en raison de l'altitude supérieure de ces sites. A noter également que les résultats des mesures effectuées à Rewag diffèrent de ceux enregistrés par le passé. Les travaux de construction de la citerne d'eau potable (terminés en 2017) ont rendu l'accès à l'ancien point de mesure impossible. Ce point a donc été déplacé d'environ 300 mètres. La composition du remblai déposé sur le site suite aux aménagements diffère de celle du sol originellement présent et qui était essentiellement composé de sable. Ceci explique l'augmentation des valeurs de  $^{40}\text{K}$ ,  $^{228}\text{Ac}$  et  $^{214}\text{Bi}$  (séries Th/U) par rapport aux résultats des mesures des années précédentes.

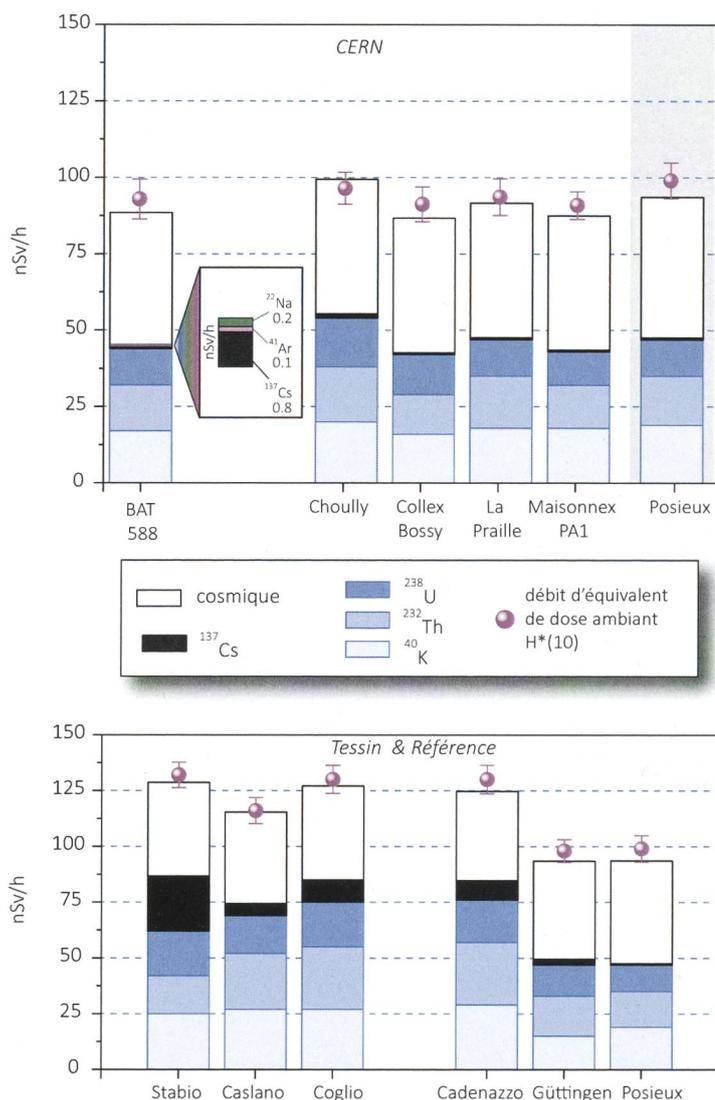
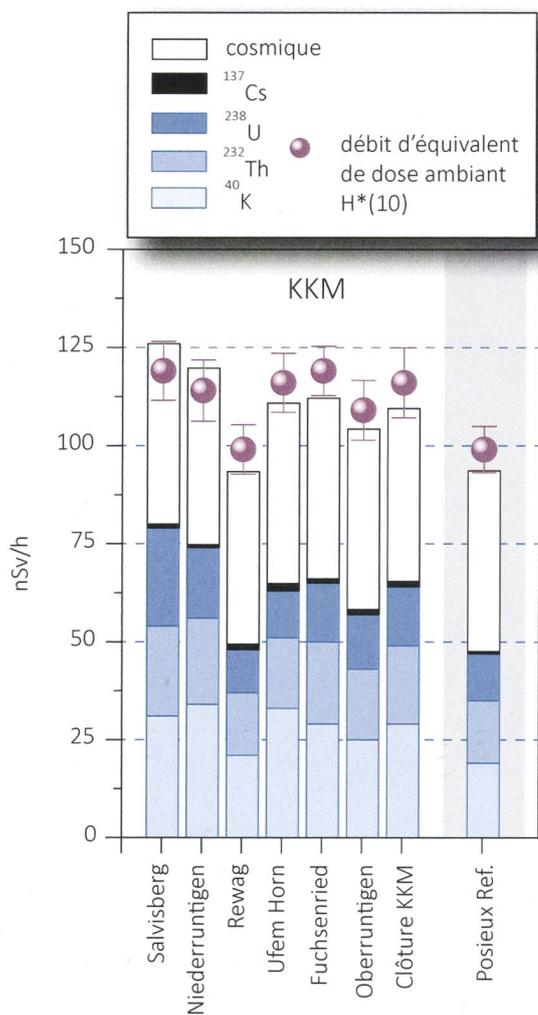
La situation radiologique au voisinage de la centrale nucléaire de Mühleberg, qui sera mise à l'arrêt fin 2019, est généralement bien connue car le site fait l'objet d'une surveillance régulière depuis le début de la période d'exploitation de la centrale. Toutefois, afin de pouvoir évaluer l'impact radiologique éventuel des travaux de désaffectation, un programme de surveillance renforcé a été initié en 2017 pour une durée de 3 ans avant le début des travaux de démantèlement. Ce programme comprend l'analyse de radionucléides spéciaux, mais également des mesures in situ supplémentaires, sur des sites situés à proximité immédiate de la centrale. En effet, contrairement à un rejet éventuel par voie atmosphérique tel qu'il pourrait se produire en période d'exploitation, l'éventuel impact des travaux de désaffectation devrait être localisé dans un périmètre plus restreint.

La figure 2 indique l'emplacement des sept sites examinés en 2017 au voisinage de Mühleberg. En plus de Salvisberg, Rewag, Niederruntigen, Ufem Horn qui font l'objet d'un suivi depuis de nombreuses années, Fuchsenried, Oberruntigen et Clôture KKM sont les 3 points supplémentaires mesurés dans le cadre de cette surveillance accrue.

Comme le montre la figure 3 aucune différence notable n'a pu être remarquée entre les points de la surveillance habituelle et les valeurs mesurées aux 3 nouveaux points. A noter que pour chacun de ces points, un prélèvement annuel de sol annuel et deux prélèvements (printemps et automne) de végétation ont été réalisés (résultat chap 8.5 les installations nucléaires et leur environnement).



Figure 2:  
Emplacement des 7 sites de mesures de spectrométrie gamma in situ et de prélèvement de sol et de végétation dans la région de la centrale nucléaire de Mühleberg en 2017.



**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 au voisinage de la centrale nucléaire de Mühleberg (KKM) en 2017 ainsi qu'au point de référence de Posieux/FR (en grisé). La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant  $H^*(10)$  avec chambre d'ionisation est également représentée.

**Figure 4 & 5:** 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 2017 au voisinage du CERN (fig. 2) ainsi qu'au point de référence de Posieux (en grisé), au Tessin ainsi que sur les 3 sites de référence (fig. 3). La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant  $H^*(10)$  avec chambre d'ionisation est également représentée.

La figure 4 montre les résultats des mesures in situ réalisées au voisinage du CERN en 2017. Comme par le passé, ces résultats ne se distinguent pas significativement de ceux enregistrés sur le site de référence de Posieux, si ce n'est par la détection de faibles traces de  $^{41}\text{Ar}$  dans l'air dans l'enceinte du centre de recherche (BAT 588). Ce gaz rare de courte période (demi-vie de 109.6 minutes) est produit dans les accélérateurs du centre de recherche. En 2017, des traces de  $^{22}\text{Na}$  étaient également clairement visibles sur le spectre in situ enregistré sur le même site. Comme le  $^7\text{Be}$ , le  $^{22}\text{Na}$  est produit dans la stratosphère par rayonnement cosmique, mais peut également être produit par les installations du CERN. Il n'est pas possible de déterminer avec certitude la part mesurée provenant des activités du CERN, mais ce radionucléide n'a pas été mis en évidence aux points de mesure situés à l'extérieur de la clôture du centre de recherche. La somme des contributions de ces deux radionucléides au débit d'exposition ambiante est toutefois restée inférieure à celle du  $^{137}\text{Cs}$  issu de l'accident de Tchernobyl.

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 (1986), est toujours clairement visible. Comme le montre la figure 5, les concentrations de ce radionucléide dans le sol varient de façon importante d'un site à l'autre au sein du canton, il s'avère donc difficile de définir une valeur de référence unique pour la contamination du sol en  $^{137}\text{Cs}$  au Tessin. Ces variations s'expliquent d'une part par les différences de dépositions initiales, directement proportionnelles aux précipitations lors du passage du nuage radioactif post-tchernobyl, et en fonction de l'altitude pour les contributions des essais atomiques des années 50 et 60, et d'autre part par les différences de nature et de traitement des sols depuis 1986 (travaux, sols retournés ou non, etc.).

Notons encore que pour tous les sites examinés, les différences entre reconstruction in situ et mesures globales par chambre d'ionisation sont restées inférieures à 10 %.

En 2017, des mesures in situ ainsi que la cartographie de l'exposition ambiante ont également été réalisées dans le cadre du plan d'action radium de l'OFSP, notamment sur des décharges dans lesquels des peintures luminescentes au radium ont été utilisées dans les années 1920 à 1960. En plus de fournir une information plus globale sur la contamination en radium du sol par rapport aux mesures d'échantillons en laboratoire, cette technique permet également d'estimer la contribution éventuelle du  $^{226}\text{Ra}$  d'origine artificielle à l'exposition ambiante, en plus de sa part naturelle toujours présente (voir aussi chapitre 9.5, rapport annuel 2014).

## Conclusions

Les mesures de spectrométrie gamma in situ réalisées par l'OFSP en 2017 ont permis de caractériser les sites d'intérêt 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), d'information du public (plan d'action radium) et d'ordre radioécologique (suivi des contaminations  $^{137}\text{Cs}$  des retombées des essais nucléaires et de Tchernobyl).

De manière générale, elle 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 comparaison du débit d'équivalent de dose ambiant  $H^*(10)$  calculé à partir de l'analyse spectrométrique à celui mesuré avec une chambre d'ionisation.

Au niveau national, 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

**Adrian Hess, Franziskus Stoffel**

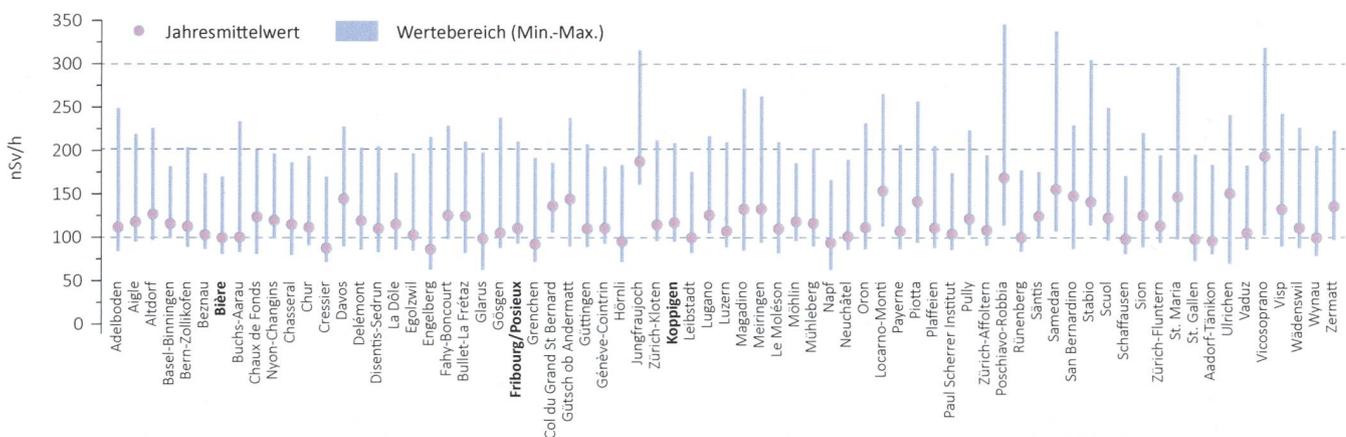
Nationale Alarmzentrale NAZ, Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS,  
Ackermannstrasse 26, 8044 Zürich

### Zusammenfassung

Das Netz für die automatische Dosisleistungsalarmierung und-messung (NADAM) dient der grossräumigen und permanenten Überwachung der externen Strahlung in der Schweiz. Das Netz besteht aus 71 Stationen (Stand 31.12.2017), die über die ganze Schweiz verteilt sind. Alle Stationen messen in 10-Minuten-Intervallen die  $\gamma$ -Ortsdosisleistung (ODL,  $H^*(10)$ ).

Das NADAM-Netz dient auch als Frühwarnsystem, da jede Überschreitung eines Alarmwerts an die Nationale Alarmzentrale (NAZ) gemeldet wird. Bei einem radiologischen Ereignis unterstützt das NADAM-Netz die NAZ bei der Bestimmung des gefährdeten Gebietes und der Definition allfällig anzuordnender Schutzmassnahmen.

Im Jahr 2017 wurden keine Werte gemessen, die auf eine erhöhte Strahlenbelastung der Bevölkerung schliessen liessen.



Figur 1:

Jahresmittelwerte und Messwertebereiche 2017 der NADAM-Sonden. Der dargestellte Messwertebereich entspricht dem Bereich zwischen dem minimalen und dem maximalen 10 min-Wert der Sonden im Jahr 2017. Die Stationen Bière, Fribourg/Posieux und Koppigen sind fett markiert, da sie erst seit Anfang 2017 in Betrieb sind.

## Einleitung

Die permanente Überwachung der externen Strahlung in der Schweiz wird von den 71 in Figur 2 eingezeichneten, über die ganze Schweiz verteilten NADAM-Stationen (Stand 31.12.2017) garantiert. Die Stationen befinden sich bei den Wetterstationen von MeteoSchweiz und liefern alle zehn Minuten Daten zur Ortsdosisleistung (ODL,  $H^*(10)$ ). In Ergänzung zu den ODL-Daten sind damit auch Wetterdaten verfügbar, die wichtige Zusatzinformationen für die Interpretation der Messwerte liefern.

Die Sonden sind mit jeweils drei Geiger-Müller-Zählrohren bestückt, zwei für den Niederdosis- und eines für den Hochdosisbereich. Der Messbereich geht von 10 nSv/h (Nanosievert) bis 10 Sv/h und deckt somit sehr gut den Untergrundbereich bis hin zu Dosisleistungen ab, wie sie z.B. nach einer A-Waffenexplosion zu messen wären.

Das NADAM-Netz wird von der NAZ betrieben, der Fachstelle des Bundes für ausserordentliche Ereignisse. Im Bereich «erhöhte Radioaktivität» hat sie besonders umfangreiche Aufgaben: Warnung der Behörden, Information der Bundesstellen, der Kantone und der internationalen Kontaktstellen (IAEA, EU). Sie kann bei unmittelbarer Gefährdung zudem die Alarmierung und Sofortmassnahmen zum Schutz der Bevölkerung anordnen. Das NADAM-Netz dient als Frühwarnsystem. Eine Überschreitung der Alarmschwelle (1 mikroSv/h) löst in der NAZ eine Alarmmeldung aus. Dort wird der Wert verifiziert (Ausschluss von technischen Problemen, Überprüfung der meteorologischen Daten und Vergleich mit Nachbarstationen) und bei Bedarf werden weitere Messmittel für Abklärungen vor Ort angeboten. Bei einem ernsthaften Verdacht auf eine mögliche radiologische Gefährdung rückt die ganze NAZ ein und die Behörden des betroffenen Kantons werden orientiert. Bei einem radiologischen Ereignis kann die NAZ so rasch das gefährdete Gebiet bestimmen und notwendige Massnahmen zum Schutz der Bevölkerung definieren und anordnen.

Die ODL-Werte der NADAM-Sonden werden täglich zweimal auf der Internetseite der NAZ ([www.naz.ch](http://www.naz.ch)) publiziert. Im Ereignisfall oder nach Bedarf kann der Publikationsrhythmus erhöht werden. Unter der Rubrik «Aktuell» können die Stundenmittelwerte der letzten drei Tage sowie die Tagesmittelwerte vom Vortag abgerufen werden. Im Jahr 2017 wurden keine Werte gemessen, die auf eine erhöhte Strahlenbelastung der Bevölkerung schliessen liessen. Es wurden nur einzelne technische Störungen bei der Messung oder der Datenübertragung registriert.

2017 konnten ODL-Sonden auf den MeteoSchweiz-Standorten Bière (VD), Fribourg-Posieux (FR) und Koppigen (BE) in Betrieb genommen werden. Somit fehlten Ende 2017 noch 5 Messstandorte zum Abschluss der geplanten Erweiterung des NADAM-Messnetzes. Ein weiteres Projekt, das wie die NADAM-Erweiterung in Zusammenarbeit mit MeteoSchweiz durchgeführt wurde, war die Ausrüstung von insgesamt 15 Stationen mit der Möglichkeit, Messdaten über das Satellitenkommunikationssystem Iridium zu übermitteln. Im Normalbetrieb werden die Daten terrestrisch über Mobilfunk- oder Kabelverbindungen übertragen. Mit der neu geschaffenen Redundanz ist nun die Ausfallsicherheit der Datenübertragung erhöht, insbesondere da im Fall einer Katastrophe sowohl die Sicherheit der Kernanlagen als auch die terrestrischen Kommunikationsnetze beeinträchtigt sein könnten.



Figur 2:

Karte mit den Jahresmittelwerten 2017 aller NADAM-Sonden in Nanosievert pro Stunde, basierend auf den 10 min-Werten. Der Jahresmittelwert der Ortsdosisleistung variiert je nach Standort zwischen 87 nSv/h in Engelberg und 194 nSv/h in Vicosoprano.

## Jahresmittelwerte und Erfahrungsbereiche 2017

Die ODL-Jahresmittelwerte und die Maxima und Minima der 10-Minuten-Werte aller Stationen sind in Figur 1 dargestellt. Die Übersicht in Figur 2 zeigt die Jahresmittelwerte aller Stationen als Zahlenwert. Die natürlich bedingte Ortsdosisleistung (ODL) 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. Ein Beispiel für eine Station mit hohem terrestrischen Beitrag ist Vicosoprano auf 1089 m.ü.M. am Talgrund im Bergell, wo mit 194 nSv/h der höchste ODL-Jahresmittelwert aller NADAM-Stationen gemessen wurde.

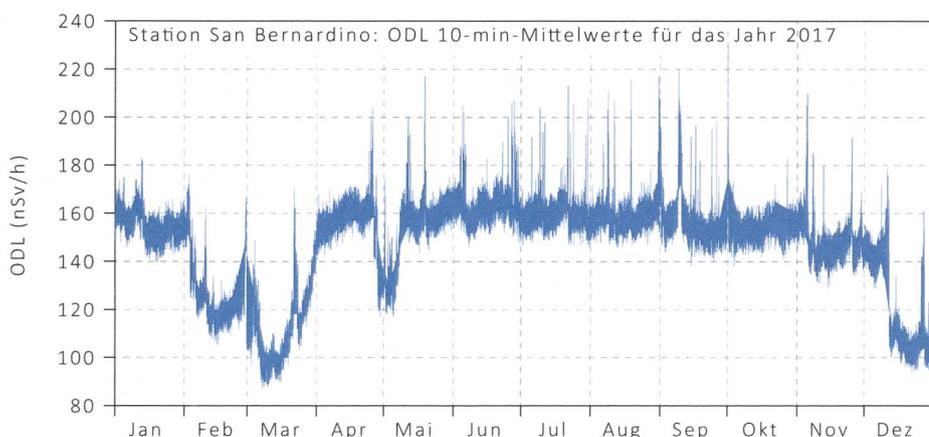
Die Höhe des Sondenstandortes über Meer bestimmt den kosmischen Anteil der ODL. Je höher der Messstandort, desto weniger wird die kosmische Strahlung durch die Atmosphäre abgeschwächt, d.h. umso grösser wird die Intensität der kosmischen Strahlung. Die Messstation Jungfrauoch liegt auf 3580 m.ü.M. Die kosmische Strahlung in dieser Höhe führt mit 188 nSv/h zu einem ähnlich hohen Jahresmittelwert wie in Vicosoprano. Die Beiträge der terrestrischen und der kosmischen Strahlung führen zu den regional beobachteten Unterschieden bei den Jahresmittelwerten.

Als Erfahrungsbereich einer Station wird bei der NAZ der Wertebereich bezeichnet, der die Minima und Maxima der Untergrundwerte (vgl. Figur 1) aus den letzten Jahren sicher einschliesst. Der Erfahrungsbereich hilft bei der automatischen Plausibilisierung der Messwerte und erleichtert somit das rasche Erkennen erhöhter Messwerte, auch wenn diese noch deutlich unter der Alarmschwelle von 1 mikroSv/h liegen. Wie jedes Jahr wurden die bisherigen Erfahrungsbereiche für alle Stationen anhand der aktuellen Messwerte überprüft und bei Bedarf angepasst.

### Eine detailliertere Analyse der Station San Bernardino

Die meteorologischen Verhältnisse bestimmen grösstenteils die Schwankungen des ODL-Verlaufs innerhalb eines Jahres an einem Standort. Figur 3 zeigt als Beispiel den Verlauf der 10 min-ODL-Messwerte der Station San Bernardino. Der Jahresmittelwert liegt bei 148 nSv/h. Peaks bis zu 230 nSv/h ergeben sich durch Niederschläge, die bewirken, dass Zerfallsprodukte des natürlich vorkommenden Radons ( $^{222}\text{Rn}$ ) aus der Luft ausgewaschen und am Boden deponiert werden. Umgekehrt erkennt man an tiefen Messwerten bis 87 nSv/h, dass in den Wintermonaten eine unterschiedlich dicke Schneedecke die terrestrische Strahlung abgeschirmt hat.

In Figur 4 ist die Korrelation der auf ganze Zahlen gerundeten ODL-Werte mit dem Niederschlag dargestellt. ODL-Werte über 180 nSv/h gehen in den allermeisten Fällen einher mit Niederschlag. Die ODL-Spitzen aus



Figur 3: Zeitverlauf der 10 min-ODL-Werte für die Station San Bernardino im Jahr 2017. Deutlich sichtbar sind die um bis zu 41% reduzierten ODL-Werte im Winter aufgrund der Abschirmung der terrestrischen Strahlung durch die Schneedecke.

Figur 3 lassen sich damit sehr gut mit den Niederschlägen erklären. Der Niederschlagseffekt zeigt sich auch in den maximalen 10 Minuten-Werten der Stationen und entsprechend in den in Figur 1 gezeigten Wertebereichen für Adelboden (123% über dem Jahresmittelwert), Gösgen (+126%), Buchs-Aarau (+133%) und Engelberg (+149%).

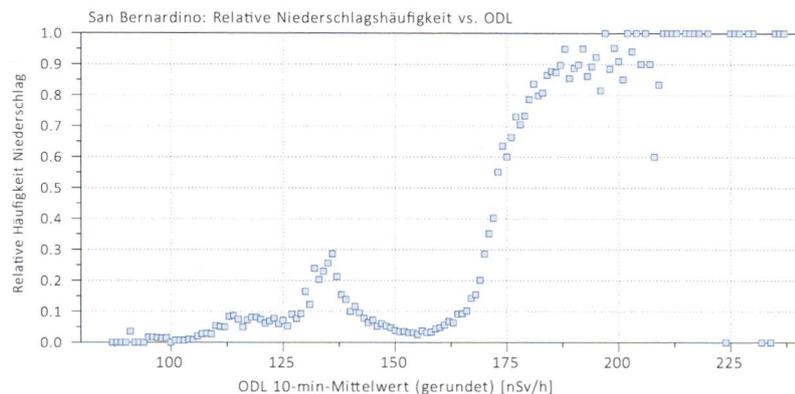
Figur 5 zeigt die absolute Häufigkeitsverteilung der 10 Minuten ODL-Daten. Rot gekennzeichnet ist die Verteilung aller ODL-Daten, blau diejenigen, während denen Niederschlag (Schnee oder Re-

gen) stattgefunden hat. Der häufigste gemessene Wert liegt bei 156 nSv/h, lokale Maxima ergeben sich aus Perioden mit ähnlichen Messwerten über längere Zeiträume, wie bei etwa 105 nSv/h aufgrund der über einige Tage gleich dicken Schneedecke im Dezember. An den blau gezeichneten Werten erkennt man die Korrelation von Niederschlag mit erhöhten ODL-Werten, im Speziellen über 180 nSv/h.

### Jahresmittelwert, häufigster Wert, Minimum und Maximum der NADAM-Stationen

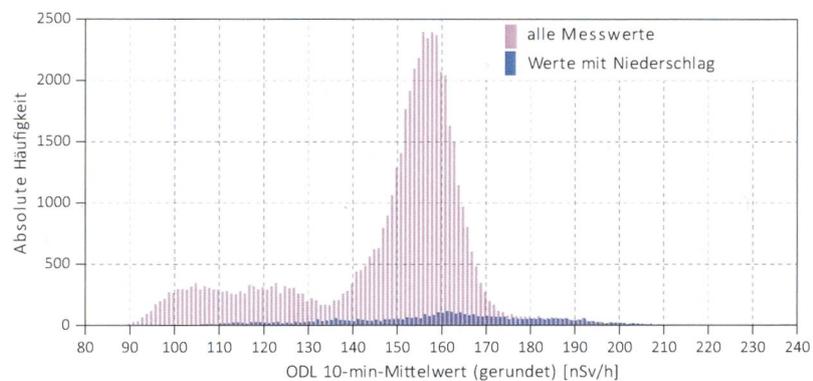
In Tabelle 1 sind für alle NADAM-Stationen die wichtigsten Standort-Informationen, der Jahresmittelwert, der häufigste gemessene Wert, minimaler und maximaler 10-min-ODL-Messwert zusammengestellt. Wenn über kurze Zeiträume höhere oder tiefere Werte gemessen werden, beeinflusst dies den Jahresmittelwert, jedoch bleibt der häufigste Messwert ähnlich, sofern noch genügend Messwerte aus Perioden ohne diese Einflüsse vorhanden sind. Daher liegt etwa in Ulrichen der Jahresmittelwert rund 9 % tiefer als der häufigste Messwert, in Gütisch ob Andermatt beträgt dieser Unterschied gar 20 % (Tabelle 1). Dies ist die Folge der Schneedecke, welche in den Wintermonaten die terrestrische Strahlung stark abschirmt und damit einen tieferen Jahresmittelwert zur Folge hat. In überwiegend schneefreien Gebieten sind die beiden Werte sehr ähnlich.

Ein Ausschnitt der in Figur 3 gezeigten Messreihe ist in Figur 6 detaillierter dargestellt und mit der gleichzeitig gemessenen Niederschlagskurve verglichen. Rot eingezeichnet und auf der linken y-Achse skaliert ist der 10 min ODL-



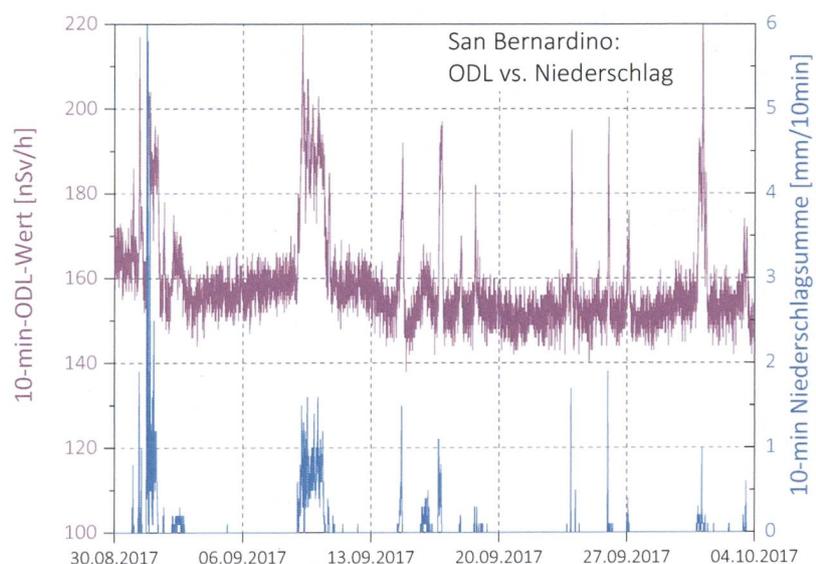
Figur 4:

Korrelation zwischen den 10 min-Werten und den Niederschlägen für die Station San Bernardino im Jahr 2017. Die ODL-Werte über 180 nSv/h korrelieren gut mit Niederschlägen, d.h. in den meisten Fällen traten hohe ODL-Werte gleichzeitig mit Niederschlag auf.



Figur 5:

Verteilung der 10 min-Werte für die Station San Bernardino im Jahr 2017; rot: alle Messwerte; blau: Messwerte während Niederschlag. Werte über 180 nSv/h gehen fast immer einher mit Niederschlag.



Figur 6:

Zeitverlauf der ODL 10 min-Mittelwerte und der 10 min Niederschlagssummen für die Station San Bernardino vom 30.08.2017 bis 04.10.2017.

Mittelwert in Nanosievert pro Stunde [nSv/h] über den Zeitraum von 5 Wochen, blau gezeichnet und auf der rechten y-Achse skaliert ist der gemessene Niederschlag in Millimeter pro 10 Minuten [mm/10min].

Deutlich sichtbar sind ODL-Peaks, die jeweils bei Niederschlägen auftreten. Die klare Korrelation rührt daher, dass bei Niederschlag radioaktive Partikel aus der Luft ausgewaschen und am Boden deponiert werden und dort zu erhöhten Werten führen. Die Intensität des ODL-Anstiegs ist dabei weniger von der Niederschlagsmenge abhängig, sondern eher davon, welche Stoffe gerade in der Atmosphäre waren, als der Niederschlag einsetzte. Am 09.09. und 10.09.2017 ist zudem zu erkennen, dass bei anhaltendem Niederschlag die ODL aufgrund der abnehmenden Konzentration in der Luft zurückgeht.

## Qualitätssicherung

Die Sonden sind vom Hersteller typengeprüft und werden durch die anerkannte Eichstelle des «Institut Universitaire de Radiophysique Appliquée» (IRA) geeicht. Die Gültigkeit des Eichzertifikats wurde in Absprache mit der METAS für den Gerätetyp IGS 421 B1-H (Zulassungszertifikat CH-I-13182-01) auf fünf Jahre festgelegt.

Nach der Eichung erfolgt bei MeteoSchweiz in Payerne noch eine Analyse der Eichungsergebnisse. Falls die Abweichung bei Dosisleistungen  $\leq 50$  mikroSv/h grösser als 7% oder bei Dosisleistungen  $> 50$  mikroSv/h grösser als 15 % ist, wird ein Korrekturkoeffizient angewandt. Damit wird sichergestellt, dass die Sonde in 95 % der Fälle im Toleranzbereich liegt.

Zudem werden die Sonden jährlich von MeteoSchweiz getestet. Mit den Sondentests werden zwei Ziele verfolgt:

- Überprüfen, dass die Sonden im definierten Wertebereich korrekt messen: Bei einer Abweichung von mehr als 7 % des gemessenen Wertes vom Sollwert wird die Sonde ausgewechselt. Somit können sich die Dosisleistungswerte von zwei verschiedenen Sonden (verschiedene Seriennummern) am gleichen Standort bei einem Messwert von 100 nSv/h um bis zu 15 nSv/h unterscheiden. Bei technischen Defekten werden die Sonden ausgewechselt, bei MeteoSchweiz in Payerne im Labor getestet und falls nötig dem Hersteller zur Reparatur geschickt.
- Testen der Meldewege, insbesondere auch die korrekte Auslösung und Übermittlung eines Sondenalarms.

Jede Sonde wird mindestens alle 12 Monate geprüft. Im Jahr 2017 wurden 89 Sondentests durchgeführt. Einige Sonden wurden mehrmals getestet, zum Beispiel nach einer Reparatur oder einem Austausch. Defekte Sonden wurden im Jahr 2017 zurückbehalten, um später in einem Sammelauftrag zur Reparatur geschickt zu werden. Die NADAM-Sonden sind stabil und zuverlässig.

Die NAZ verfügt insgesamt über 116 Sonden. Der grösste Teil davon ist bei den NADAM-Stationen im Einsatz, einige müssen repariert werden oder befinden sich in der Eichung. Daneben stehen einsatzbereite Ersatzsonden an vier Wartungsstandorten von MeteoSchweiz bereit.

Tabelle 1:

Jahresmittelwert, häufigster Wert, Minimum und Maximum der NADAM-Stationen

In der folgenden Tabelle sind die Jahresmittelwerte, die häufigsten Werte, die Minima und Maxima, basierend auf den 10-Min-Werten, für alle NADAM-Stationen im Jahr 2017 aufgeführt.

Station	Abkürzung	Datum der Inbetriebnahme	Höhe [mü.M.]	Jahresmittelwert [nSv/h]	Häufigster Wert [nSv/h]	Minimum [nSv/h]	Maximum [nSv/h]
Adelboden (ABO)	BE	04.11.09	1322	112	112	84	249
Aigle (AIG)	VD	09.09.09	382	118	116	95	219
Altdorf (ALT)	UR	28.10.09	439	127	126	97	226
Basel-Binningen (BAS)	BS	19.11.09	317	116	114	99	182
Bern-Zollikofen (BER)	BE	30.09.09	554	113	113	89	204
Beznau (BEZ)	AG	19.11.09	327	103	101	87	174
Bière (BIE)	VD	12.01.17	684	100	99	81	170
Buchs-Aarau (BUS)	AG	20.11.09	388	100	99	83	234
Changins (CGI)	VD	23.09.09	459	120	119	99	197
Chasseral (CHA)	BE	17.09.09	1594	115	117	80	187
Chur (CHU)	GR	09.10.09	557	112	110	91	194
Col du Grand St Bernard (GSB)	VS	09.09.09	2491	136	144	106	186
Cressier (CRM)	NE	03.11.16	431	88	86	72	170
Davos (DAV)	GR	08.10.09	1589	145	152	90	228
Delémont (DEM)	JU	03.11.16	439	119	121	86	204
Disentis (DIS)	GR	28.10.09	1197	110	108	83	205
Egolzwil (EGO)	LU	22.09.10	523	103	101	85	197
Engelberg (ENG)	OW	30.10.09	1035	87	87	63	216
Fahy (FAH)	JU	14.10.09	597	126	125	98	229
Fribourg/Posieux (GRA)	FR	13.01.17	646	110	110	93	211
Génève (GVE)	GE	24.09.09	412	111	110	93	182
Glarus (GLA)	GL	02.12.09	518	99	100	63	198
Gösgen (GOE)	SO	20.11.09	381	105	103	88	238
Grenchen (GRE)	SO	06.12.10	431	92	90	72	192
Gütsch ob Andermatt (GUE)	UR	01.09.05	2296	144	174	90	238
Güttingen (GUT)	TG	03.12.09	441	110	108	89	208
Hörnli (HOE)	ZH	12.11.09	1133	95	94	72	184
Jungfrauoch (JUN)	VS	29.09.09	3581	188	185	161	316
Koppigen (KOP)	BE	13.01.17	484	117	120	95	209
La Chaux de Fonds (CDF)	NE	17.09.09	1018	124	126	81	201
La Dôle (DOL)	VD	23.09.09	1670	116	117	86	175
La Frétaz (FRE)	VD	24.09.09	1206	124	128	82	211
Le Moléson (MLS)	FR	19.08.09	1975	110	112	82	210
Leibstadt (LEI)	AG	19.11.09	342	100	98	82	176
Locarno-Monti (OTL)	TI	22.10.09	368	154	152	113	266
Lugano (LUG)	TI	21.10.09	273	126	124	105	217
Luzern (LUZ)	LU	05.11.09	455	107	106	89	210
Magadino-Cadenazzo (MAG)	TI	22.10.09	204	133	132	85	272
Meiringen (MER)	BE	06.10.11	590	133	134	94	263
Möhligen (MOE)	AG	09.2010	341	118	117	96	186
Mühleberg (MUB)	BE	15.10.09	481	116	117	90	202
Napf (NAP)	BE	05.11.09	1405	94	96	63	167
Neuchâtel (NEU)	NE	10.12.09	485	101	99	86	190
Oron (ORO)	VD	29.02.12	828	111	111	87	232
Paul Scherrer Institut – Villigen (PSI)	AG	27.07.11	335	104	102	86	175
Payerne (PAY)	VD	13.08.09	490	107	101	87	207
Piotta (PIO)	TI	29.10.09	990	141	142	94	257
Plaffeien (PLF)	FR	14.08.09	1043	111	111	88	206
Pully (PUY)	VD	23.09.09	456	122	120	103	224
Reckenholz (REH)	ZH	13.11.09	444	108	107	91	195
Robbia (ROB)	GR	07.10.09	1079	169	164	114	346
Rünenberg (RUE)	BL	20.11.09	612	100	99	84	178
Samedan (SAM)	GR	25.08.09	1710	156	161	107	338
San Bernardino (SBE)	GR	29.10.09	1640	148	156	87	230
Santa Maria (SMM)	GR	15.12.11	1385	147	144	98	297
Säntis (SAE)	AI	11.11.09	2503	124	124	100	176
Schaffhausen (SHA)	SH	04.12.09	439	98	97	81	171
Scuol (SCU)	GR	27.08.09	1305	123	121	97	250
Sion (SIO)	VS	10.09.09	482	125	125	89	221
St. Gallen (STG)	SG	12.11.09	777	98	98	73	196
Stabio (SBO)	TI	21.10.09	352	141	139	114	305
Tänikon (TAE)	TG	03.12.09	539	96	95	81	184
Ulrichen (ULR)	VS	04.11.09	1347	151	165	70	242
Vaduz (VAD)	FL	03.12.09	458	105	104	86	183
Vicosoprano (VIO)	GR	06.02.13	1089	194	199	103	319
Visp (VIS)	VS	11.09.09	640	133	134	90	243
Wädenswil (WAE)	ZH	02.12.09	487	111	109	88	227
Wynau (WYN)	BE	15.10.09	423	100	98	79	206
Zermatt (ZER)	VS	11.09.09	1640	136	139	97	223
Zürich-Fluntern (SMA)	ZH	24.11.09	557	113	112	94	195
Zürich-Kloten (KLO)	ZH	24.11.09	427	115	112	96	212

## 3.3

# Aeroradiometrische Messungen

**B. Bucher**

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Industriestrasse 19, 5200 Brugg

**G. Butterweck**

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

**L. Rybach**

Institut für Geophysik, ETH Zürich, 8092 Zürich

### Zusammenfassung

Bei den Messflügen im Juni 2017 wurde turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Gösigen (KKG) und Mühleberg (KKM) abgedeckt. Zusätzlich wurden im Rahmen einer internationalen Messübung mit Messteams aus Deutschland, Frankreich und Tschechien ein Composite Mapping mit integrierter Quellensuche in der Nordostschweiz und Kalibrierflüge über dem Zugersee durchgeführt sowie zwei Referenzgebiete (Linthebene und Murgtal) und ein Profil durch die Nordostschweiz gemessen.

Die Messresultate in den Messgebieten KKG und KKM zeigten ein ähnliches Bild wie in früheren Jahren. Das KKG konnte nicht detektiert werden. Beim KKM konnte wie in früheren Jahren die gestreute, hochenergetische Photonenstrahlung des Radionuklids  $^{16}\text{N}$  detektiert werden. Aufgrund von Messungen an Abfallfässern im KKM war während des Überflugs die Abschirmung zum Zwischenlager geöffnet. Dadurch konnten in den Spektren auch  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{60}\text{Co}$  identifiziert werden. Ausserhalb der Betriebsareale wurde keine Radioaktivität identifiziert, die auf den Betrieb der Kernanlagen zurückzuführen wäre.

Bei den übrigen Messungen wurden keine Ergebnisse von radiologischer Bedeutung registriert. Die Messwerte lagen im für diese Gebiete typischen Erfahrungsbereich. Das Composite Mapping zeigte einmal mehr die grosse Leistungsfähigkeit der Aeroradiometrie im Bereich der grossflächigen Kartierung auf.

### 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 der schweizerischen Kernanlagen jährlich aeroradiometrisch auf einer Fläche von jeweils rund 50 km<sup>2</sup> vermessen. Im Jahre 1994 ging man zu einem Zweijahresrhythmus über, wobei seither abwechselungsweise zwei bzw. drei Gebiete mit Kernanlagen vermessen werden. 1992 und 1995 wurden ebenfalls am Institut für Geophysik der ETH Zürich zwei neue Messgeräte gebaut mit unterschiedlichen Empfindlichkeiten (Detektorvolumen von 16.8 bzw. 4.0 Litern).

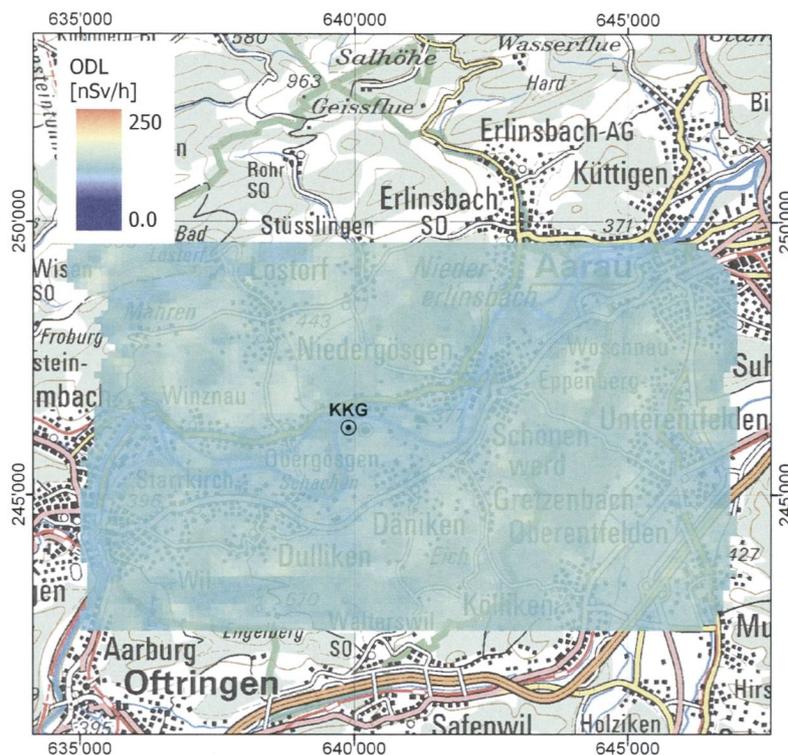
Seit den Messflügen 2001 kommt eine neu entwickelte online Datenauswertungs- und Kartierungssoftware zum Einsatz (Bucher 2001).

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 zusammengestellt, die sich aus Mitgliedern der beteiligten Stellen zusammensetzt. Der Einsatz erfolgt unter der Regie der Nationalen Alarmzentrale (NAZ).

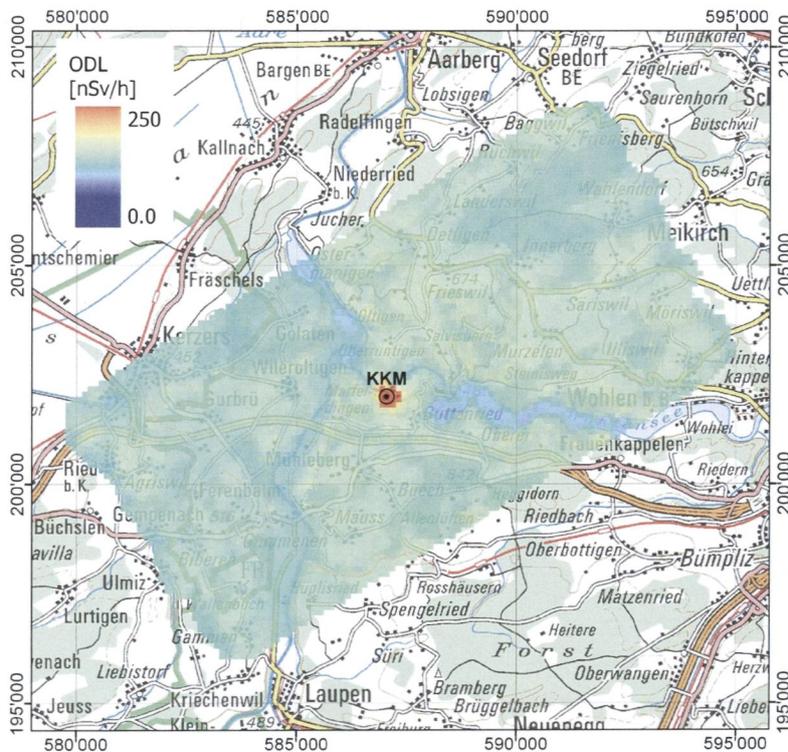
Während der Jahre 2004 und 2005 wurden die Messsysteme erneuert und dabei die online Datenauswertungs- und Kartierungssoftware im Messsystem integriert. 2006 wurde ein zweiter grossvolumiger Detektor (16.8 l) beschafft, kalibriert und bei den Messflügen 2007 erstmals eingesetzt. Im Jahr 2013 wurde ein Messgerät mit einem 16.8 l Detektor und integriertem Spektrometer ausgerüstet, welches seit den Messflügen 2014 zum Einsatz kommt.

Bei den Messflügen 2017 wurden parallel zum existierenden Messsystem Messungen mit einem neuen Messsystem der Armee durchgeführt. Dieses neue Messsystem wird 2018 die bestehenden Messsysteme ablösen.

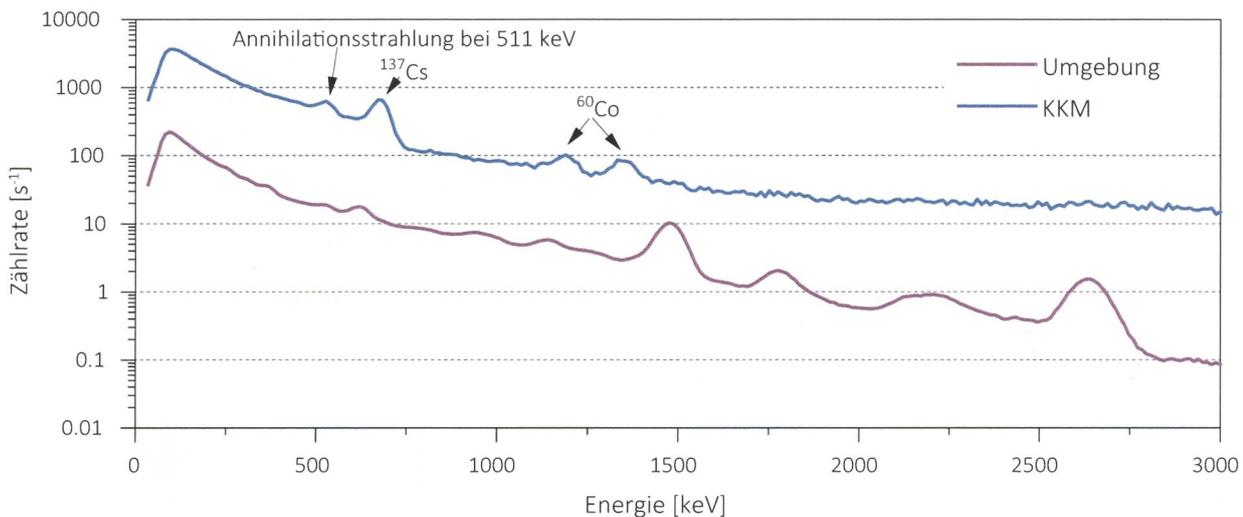
Im Jahre 2010 (Bucher und Rybach 2010) wurde mithilfe der Auswertung der Langzeitdaten die Nachweisgrenze der Messmethode ermittelt: Eine Dosisleistungserhöhung um 20 nSv/h wird in 95 von 100 Fällen erkannt (Vertrauensbereich 95%). Dies entspricht einem Anstieg von ungefähr 20% der natürlichen externen Strahlung.



Figur 1:  
Ortsdosisleistung 2017 im Messgebiet KKG.  
Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.



Figur 2:  
Ortsdosisleistung 2017 im Messgebiet KKM.  
Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.

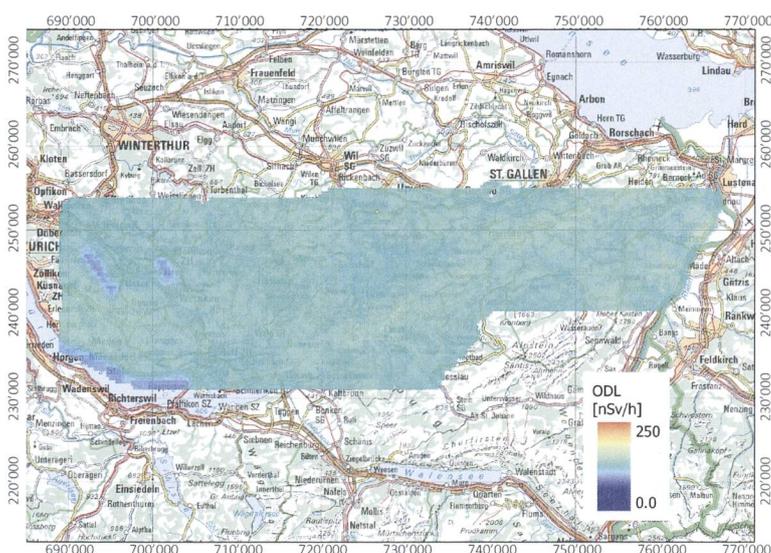


Figur 3: Gemitteltes Spektrum im Bereich des Betriebsgeländes KKM im Vergleich zum gemittelten Spektrum ausserhalb des Betriebsareals (Umgebung).

## Messungen und Messresultate 2017

Im Juni 2017 wurde turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Gösgen (KKG) und Mühleberg (KKM) gemessen. Im Rahmen der Messflüge 2017 fand auch eine internationale Messübung mit Teilnehmern aus Deutschland, Frankreich und Tschechien statt. Zudem nahm ein Messteam des Komp Zen ABC der Armee teil. Es setzte ein neues Messsystem ein, das ab 2018 die bestehende Aeroradiometrieausrüstung ablösen wird. Bei der internationalen Messübung wurde ein Composite Mapping mit integrierter Quellensuche durchgeführt sowie ein Profil durch die Nordostschweiz und zwei Referenzgebiete gemessen. Über dem Zugersee fanden Messungen zur Bestimmung des Backgrounds statt. Die detaillierten Ergebnisse sämtlicher Messungen werden in einem PSI-Bericht im Verlauf des Jahres 2018 publiziert.

Die Resultate in den Messgebieten KKG und KKM zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegangenen Messkampagnen. Im Bereich des KKG sind keine besonderen Werte bei der Ortsdosisleistung



Figur 4: Ortsdosisleistung der zwei Schweizer Messteams im Rahmen des Composite Mapping. Kartendaten PK500 © Bundesamt für Landestopografie.

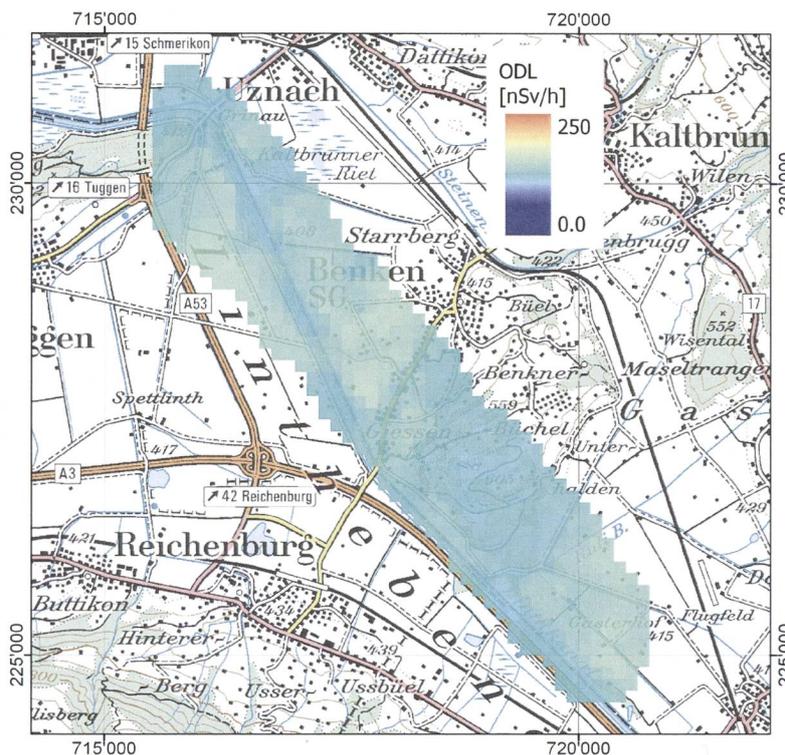
(Figur 1) zu erkennen. KKG mit seinem Druckwasserreaktor konnte aeroradiometrisch weder aufgrund der Ortsdosisleistung (Figur 1) noch des MMGC-Verhältnisses erkannt werden. Das Man Made Gross Count (MMGC) Verhältnisses steht für den Quotienten der Zählraten in den Energiebereichen von 400 - 1'400 keV und 1'400 - 3'000 keV. Da die meisten Spaltprodukte Gammalinien im Energiebereich unterhalb von 1'400 keV aufweisen, stellt das MMGC-Verhältnis ein empfindliches Instrument zur Lokalisierung künstlicher Radionuklide dar.

Im Gegensatz zu KKG (Figur 1) konnte das KKM mit seinem Siedewasserreaktor anhand gestreuter, hochenergetischer Photonenstrahlung wie in früheren Jahren erkannt werden (Figur 2). Diese Strahlung wird durch das Aktivierungsprodukt  $^{16}\text{N}$  erzeugt, welches bei Siedewasserreaktoren durch die Frischdampfleitung in die Turbinen im Maschinenhaus gelangt. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise gering abge-

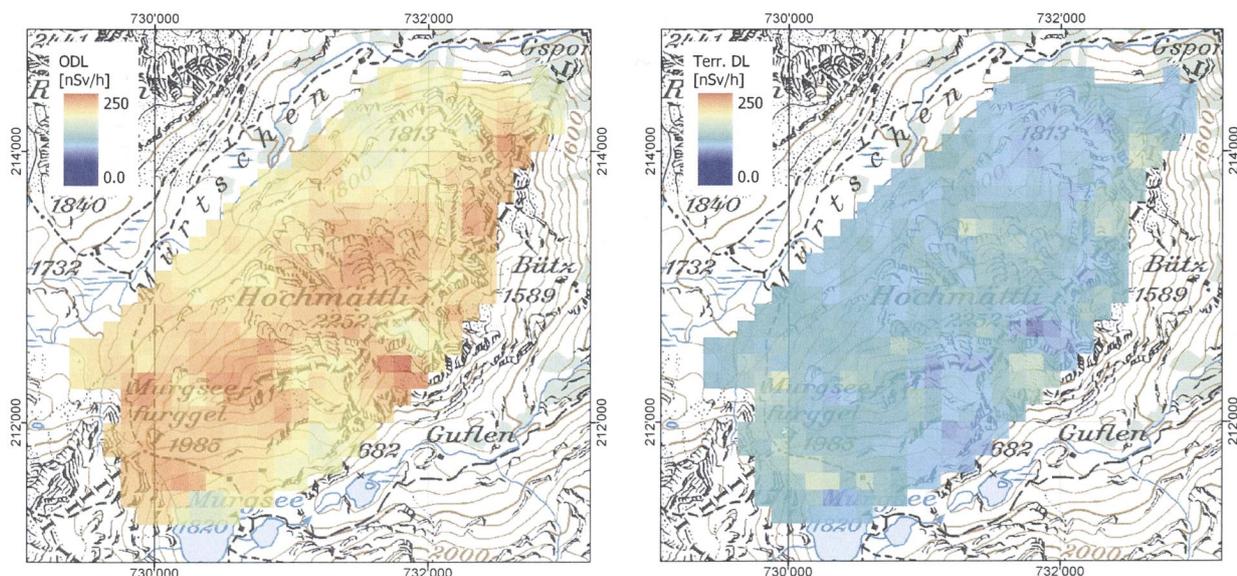
schirmt ist, kann die hochenergetische Gammastrahlung des  $^{16}\text{N}$  aus der Luft gut gemessen werden. Die hochenergetische Gammastrahlung führt über Paarbildung und die damit verbundene Annihilationsstrahlung auch zu einem Peak bei 511 keV im Spektrum. Zusätzlich zur  $^{16}\text{N}$ -Strahlung konnten 2017 auch die Gammalinien von  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{60}\text{Co}$  in Spektren bei KKM erkannt werden (Figur 3). Während des Messfluges 2017 wurden von Mitarbeitern des KKM Fässer mit radioaktivem Abfall gemessen. Dabei war auch die Abschirmung zum Zwischenlager des KKM für radioaktive Abfälle geöffnet. Dadurch konnte ein Signal der dort gelagerten Abfälle aus der Luft detektiert werden.

Ausserhalb der Betriebsareale sind keine erhöhten Werte erkennbar. Unterschiede sind auf Einflüsse der Topographie wie Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen.

Im Rahmen einer internationalen Messübung in der Schweiz wurden verschiedene Gebiete in der Nordostschweiz gemessen. In einer Messaufgabe wurde die Nordostschweiz durch die sechs teilnehmenden Messteams innerhalb eines Tages radiometrisch kartiert (Composite Mapping). Gleichzeitig wurden im gleichen Messgebiet zwei zu Übungszwecken ausgelegte Quellen gesucht und schliesslich gefunden. In der Abbildung 4 ist die Ortsdosisleistung aus den Messungen der zwei Schweizer Messteams im Rahmen dieser Messaufgabe abgebildet. Die Messungen erfolgten mit zwei unterschiedlichen Messsystemen und zwei Helikoptern innerhalb eines Arbeitstages.

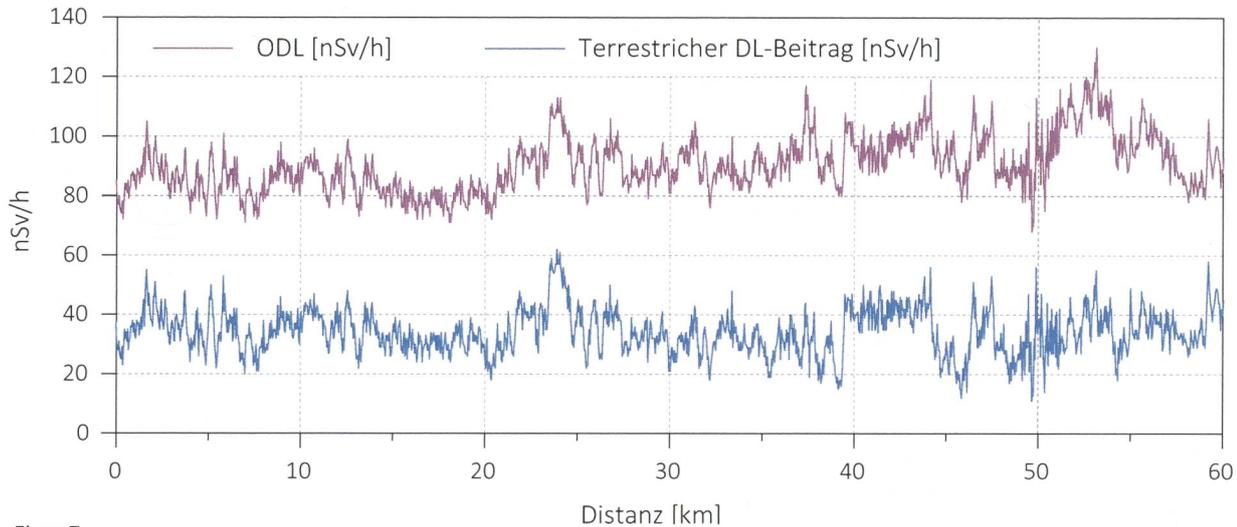


Figur 5:  
Ortsdosisleistung im Messgebiet Linthebene.  
Kartendaten PK100 © Bundesamt für Landestopografie.



Figur 6:  
Ortsdosisleistung (links) und terrestrischer Dosisleistungsbeitrag (rechts) im Messgebiet Murgtal.  
Kartendaten PK100 © Bundesamt für Landestopografie.

Zusätzliche Messungen während der internationalen Übung wurden in zwei kleineren Referenzgebieten in der Linthebene und im Murgtal durchgeführt. Während das Gebiet in der Linthebene flach ist, weist das Messgebiet Murgtal eine ausgeprägte Topographie auf. Die Ortsdosisleistung im Gebiet Linthebene (Figur 5) ist sehr ähnlich zu anderen Gebieten der Nordschweiz, die Ortsdosisleistung im Gebiet Murgtal stark durch den höhenabhängigen kosmischen Dosisleistungsbeitrag geprägt. Für das Gebiet Murgtal sind deshalb in Figur 6 die Ortsdosisleistung und der terrestrische Dosisleistungsbeitrag dargestellt.



Figur 7:  
Ortsdosisleistung und terrestrischer Dosisleistungsbeitrag entlang des Profils von Neubrunn/ZH nach Wartau/SG.

In Figur 7 sind die Verläufe der Ortsdosisleistung und des terrestrischen Dosisleistungsbeitrags entlang des gemessenen Profils von Neubrunn/ZH nach Wartau/SG dargestellt. Der Verlauf der Ortsdosisleistung weist einen grösseren Wertebereich auf als der terrestrische Dosisleistungsbeitrag, da der kosmische Dosisleistungsbeitrag mit der Höhe exponentiell zunimmt und deshalb im Gebiet der Churfürsten deutlich mehr zur Ortsdosisleistung beiträgt.

#### Literatur

- Schwarz, G. F., 1991: Methodische Entwicklungen zur Aerogammaspektrometrie. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geophysik Nr.23, Schweizerische Geophysikalische Kommission.
- Bucher, B., 2001: Methodische Weiterentwicklungen in der Aeroradiometrie. Dissertation Nr. 13973, ETH Zürich.
- Bucher, B., Rybach, L., 2010: Flächendeckende Langzeitanalyse der Strahlung in der Umgebung der Schweizer Kernanlagen mit Hilfe der Aeroradiometrie, in: Natürliche und künstliche Radionuklide in unserer Umwelt, 42. Jahrestagung des Fachverbands für Strahlenschutz e.V., FS-2010-153-T, ISSN 1013-4506, TÜV Media GmbH, Köln.



