

| | |
|---------------------|---|
| 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: | - (2016) |
| 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: 15.02.2026

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 2016, 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}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 2016 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, notamment sur des décharges dans la région de Bienne.

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, avant tout la mise en évidence 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) 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 ICRU¹, 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 coefficients de conversion actuellement utilisés au laboratoire de l'OFSP sont détaillés plus bas^{2,3}.

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

L'étape suivante consiste à évaluer les contributions individuelles au débit de dose 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 l'²³⁸U et du ²³²Th ainsi que pour le ⁴⁰K et le ¹³⁷Cs, dans le cas d'une distribution homogène de ces radionucléides dans le sol, sont résumés dans le tableau 1^{2,3}.

La contribution d'origine naturelle au débit d'équivalent de dose ambiant H*(10) s'obtient par sommation des composantes locales du rayonnement terrestre (⁴⁰K, séries ²³⁸U et ²³²Th), évaluées pour une distribution homogène de ces radionucléides dans le sol, avec la part ionisante cosmique calculée à l'altitude du site. Notons que la formule permettant de calculer la contribution du rayonnement cosmique au débit d'équivalent de dose ambiant H*(10) a également été adaptée par rapport à celle anciennement utilisée pour le débit de kerma dans l'air⁴, 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 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'²³⁸U et du ²³²Th ainsi que pour le ⁴⁰K et le ¹³⁷Cs, dans le cas d'une distribution homogène de ces radionucléides dans le sol^{2,3}.

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

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

2 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.

3 [https://www.bag.admin.ch/dam/bag/fr/dokumente/str/kommission-strahlenschutz/stellungnahmen-dosimetrie/2010-empfehlung-umrechnungsfaktoren-gammaspektrometrie.pdf](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 2016

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 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, Göttingen/TG et Cadenazzo/Ti. En 2016, cette technique de mesure a par ailleurs été mise en œuvre pour la détection du ^{226}Ra dans le cadre des examens de sites contaminés par des héritages radiologiques du passé, notamment à Bienne et à La Chaux-de-Fond.

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 2016 (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}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 Göttingen ou Posieux. L'exception notable est le site du PSI Forum qui sera discuté plus loin. Le seul radionucléide d'origine artificielle mis en évidence sur l'ensemble de ces sites en 2016 est le ^{137}Cs .

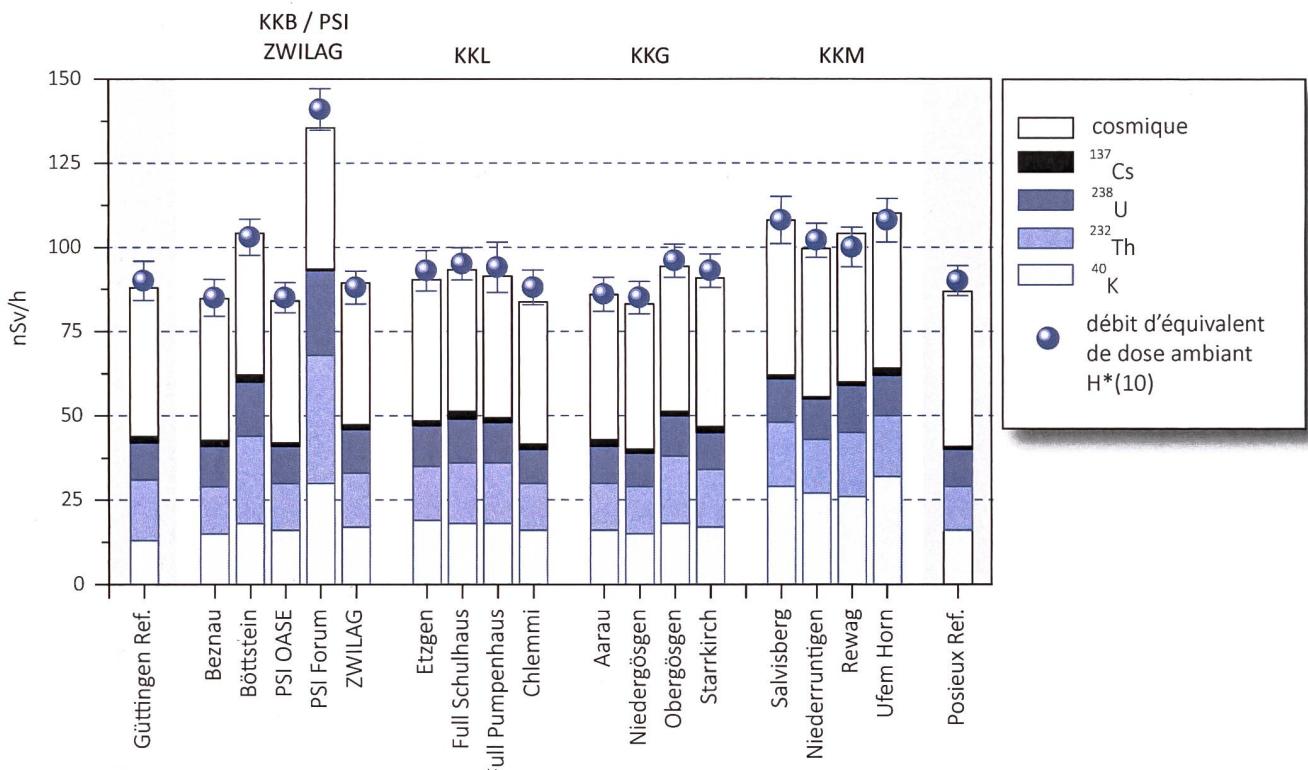


Figure 1:

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 2016 ainsi qu'aux points de référence de Göttingen/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}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 2016) 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}K , ^{228}Ac et ^{214}Bi (séries Th/U) par rapport aux résultats des mesures des années précédentes.

La cartographie de l'exposition ambiante réalisée au PSI ayant démontré une augmentation significative du débit d'équivalent de dose ambiant à proximité du PSI FORUM (fig. 4), des mesures in situ supplémentaires ont été réalisées en ce point. Les mesures in situ (voir fig. 1) et les divers prélevements de sols réalisés par l'OFSP (URA) et le PSI ont indiqué une augmentation des concentrations des radionucléides naturels ^{40}K , ^{228}Ac et ^{214}Bi . A l'exception d'une faible concentration du ^{137}Cs , aucun autre radionucléide artificiel n'a pu être mis en évidence. La composition du remblai utilisé suite aux travaux, dont la provenance n'est pas connue, diffère ainsi de celle du sol de la région et explique l'augmentation mesurée.

La figure 2 montre les résultats des mesures in situ réalisées au voisinage du CERN en 2016. 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 d' ^{41}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.

Au Tessin, la contamination rémanente en ^{137}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 3, 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}Cs au Tessin. Ces variations s'expliquent d'une part par les différences

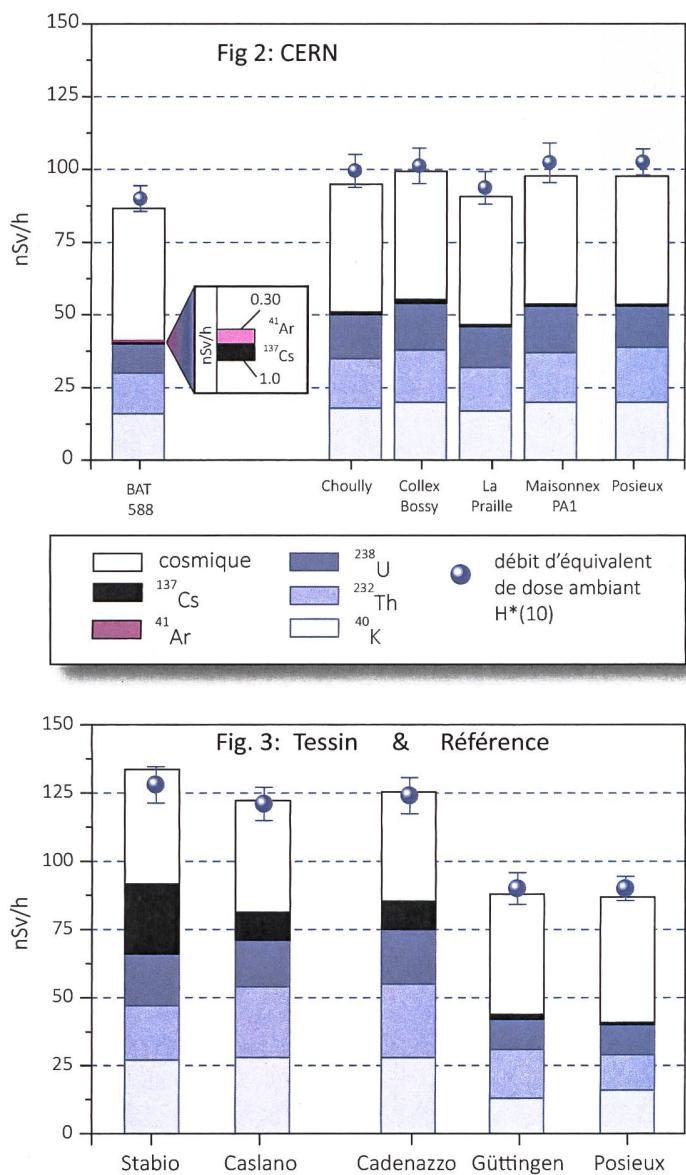


Figure 2 & 3:

Contributions individuelles au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ calculées à partir des spectres in situ (distribution supposée homogène des radionucléides dans le sol) mesurés en 2016 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.

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 2016, 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 et dans les jardins de bâtiments 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}Ra d'origine artificielle à l'exposition ambiante, en plus de sa part naturelle toujours présente (voir aussi chapitre 9.5, rapport annuel 2014). Les résultats des mesures effectuées en 2016 dans la décharge du Marais de Mâche, dans la région de Bienne, sont détaillés au chapitre 9.4.

Un exercice d'intercomparaison de spectrométrie gamma *in situ* a par ailleurs regroupé des équipes en provenance de Suisse (IFSN, IRA, Labor Spiez, URA) et de France (IRSN) dans la région du lac d'Emosson et des mines de sel de Bex en 2016. Les résultats de cet intercomparaison feront l'objet d'une publication séparée.

Conclusions

Les mesures de spectrométrie gamma *in situ* réalisées par l'OFSP en 2016 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}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}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.

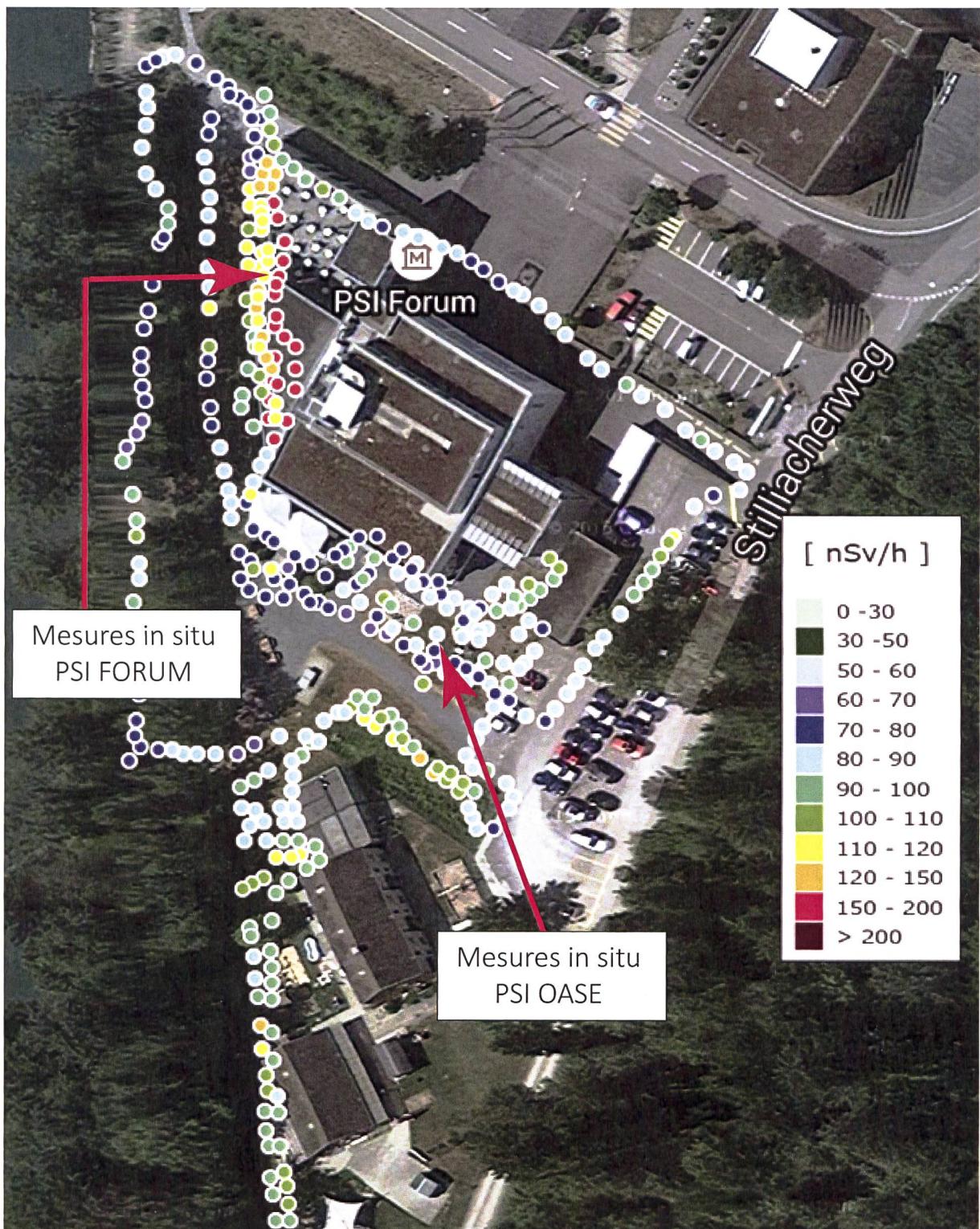


Figure 4:
Mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ mesurées à l'aide d'un Automess au voisinage du PSI FORUM en 2016.

3.2

Die automatische Überwachung der Ortsdosisleistung mit NADAM

Cristina Poretti (Danzi), Franziskus Stoffel

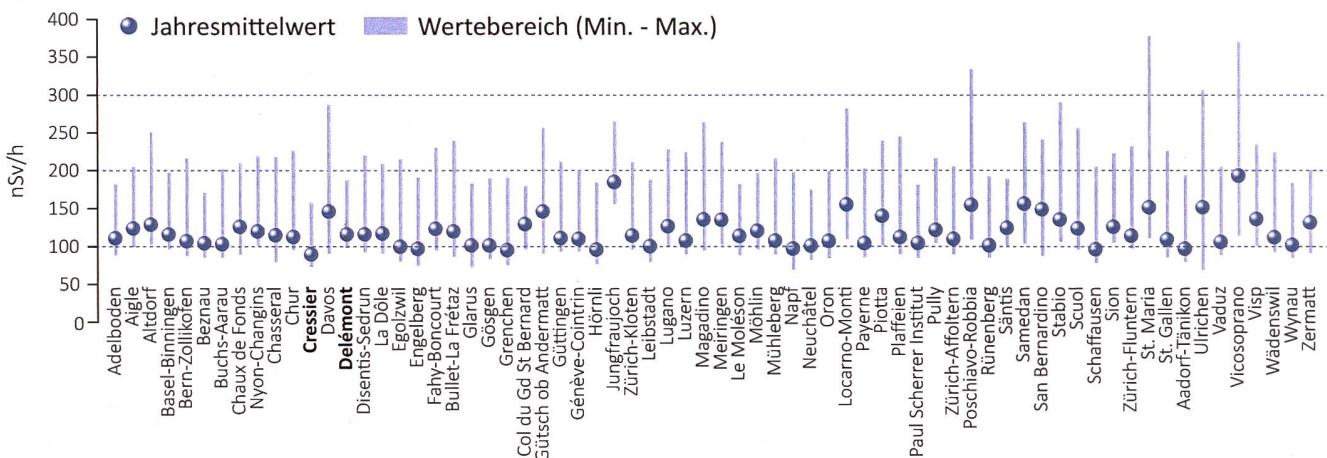
Nationale Alarmzentrale NAZ, Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS,
Ackermannstrasse 26, 8044 Zürich

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 68 Stationen (Stand 31.12.2016), die über die ganze Schweiz verteilt sind. Alle Stationen messen in 10-Minuten-Intervallen die γ -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 Beurteilung der allfällig notwendigen Schutzmassnahmen.

Im Jahr 2016 wurden keine Werte gemessen, die auf eine erhöhte Strahlenbelastung der Bevölkerung schliessen liessen.



Figur 1:

Jahresmittelwerte und Erfahrungsbereiche 2016 der NADAM-Sonden. Der dargestellte Erfahrungsbereich entspricht dem Bereich zwischen dem minimalen und dem maximalen 10-Min-Wert der Sonden im Jahr 2016. Die Stationen Cressier und Delémont sind fett markiert, da sie im Verlauf von 2016 neu in Betrieb genommen wurden.

Einleitung

Die permanente Überwachung der externen Strahlung in der Schweiz wird von den 68 über die ganze Schweiz verteilten NADAM-Stationen (Stand 31.12.2016) 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 drei Geiger-Müller-Zählrohren bestückt, zwei für den Niederdosis- und eines für den Hochdosisbereich. Der Messbereich geht von 10 nSv/h bis 10 Sv/h und deckt somit sehr gut den Untergrundsbereich bis hin zu Dosisleistungen ab, wie sie z.B. nach einer A-Waffenexplosion zu messen wären.

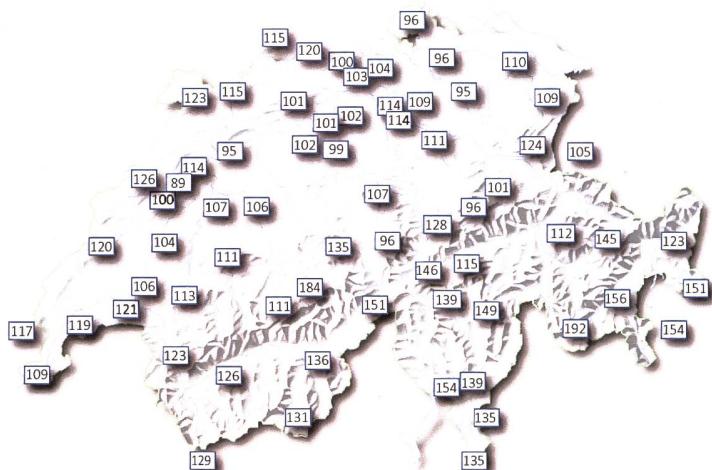
Das NADAM-Netz wird von der NAZ betrieben. Die NAZ ist die Fachstelle des Bundes für ausserordentliche Ereignisse. Im Bereich «erhöhte Radioaktivität» hat sie besonders umfangreiche Aufgaben: Warnung der Behörden, Information der Bundesstellen, der Kantone und der internationalen Kontaktstellen (IAEA, EU). Sie kann bei unmittelbarer Gefährdung zudem die Alarmierung und Sofortmassnahmen zum Schutz der Bevölkerung anordnen. Das NADAM-Netz dient also als Frühwarnsystem. Wird die Alarmschwelle (1 mikroSv/h) überschritten, löst dies in der NAZ eine Alarmmeldung aus. In der NAZ wird der Wert verifiziert (Ausschluss von technischen Problemen, Überprüfung der meteorologischen Daten und Vergleich mit Nachbarstationen), eventuell werden weitere Messmittel für Abklärungen vor Ort aufgeboten. Bei einem ernsthaften Verdacht auf eine mögliche radiologische Gefährdung wird die ganze NAZ aufgeboten und die Behörden des betroffenen Kantons orientiert. Bei einem radiologischen Ereignis unterstützt das NADAM-Netz die NAZ bei der Bestimmung des gefährdeten Gebietes und der Beurteilung der allfälligen notwendigen Massnahmen. Die ODL-Werte der NADAM-Sonden werden täglich zweimal auf der Internetseite der NAZ (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 2016 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.

2016 konnten im Zuge der Erweiterung des NADAM-Netzes die beiden Stationen Cressier (NE) und Delémont (JU) in Betrieb genommen werden. Weitere 8 Messstandorte der MeteoSchweiz werden bis Ende 2018 neu mit NADAM-Sonden ausgerüstet werden. Zudem konnte 2016 bei 13 NADAM-Stationen die redundante satellitenbasierte Datenübermittlung eingeführt werden. 2 weitere Standorte werden 2017 folgen. Beide Projekte werden in Zusammenarbeit mit MeteoSchweiz durchgeführt.

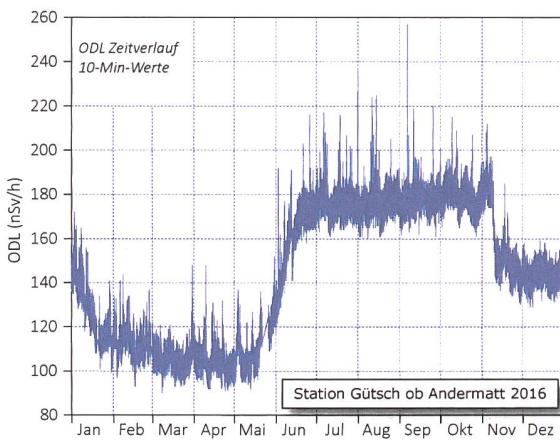
Jahresmittelwerte und Erfahrungsbereiche 2016

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 mikroSv/h liegen.

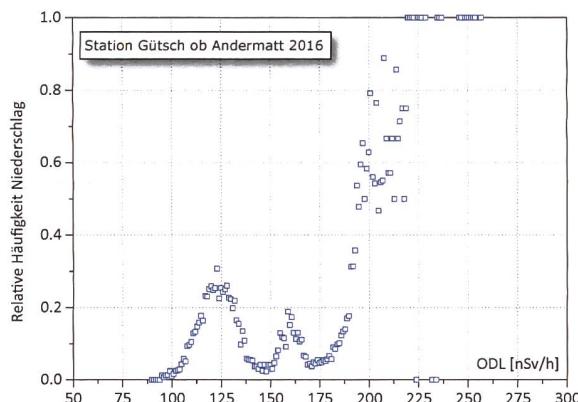


Figur 2:
Karte der Jahresmittelwerte 2016 aller NADAM-Sonden in Nanosievert pro Stunde, basierend auf den 10-Min-Werten. Der Jahresmittelwert der Ortsdosisleistung variiert je nach Standort zwischen 89 und 192 nSv/h.



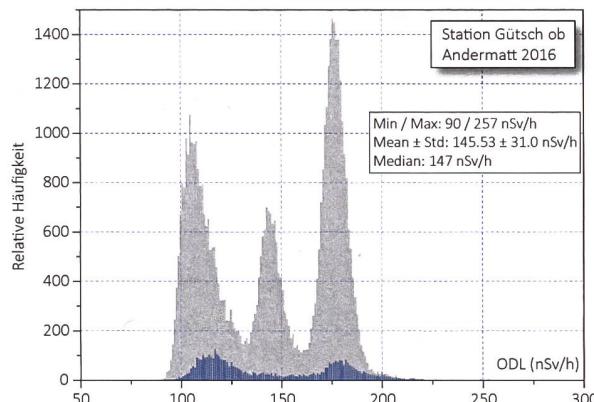
Figur 3:

Zeitverlauf der 10-Min-Werte für die Station Güttsch ob Andermatt im Jahr 2016. Deutlich sichtbar sind die niedrigeren Ortsdosleistungswerte während des langen Winters 2015/16, in denen der Schnee die terrestrische Strahlung abschirmt.



Figur 4:

Korrelation zwischen den 10-Min-Werten und den Niederschlägen für die Station Güttsch ob Andermatt im Jahr 2016. Die Ortsdosleistungswerte über 215 nSv/h korrelieren gut mit Niederschlägen.



Figur 5:

Verteilung der 10-Min-Werte für die Station Güttsch ob Andermatt im Jahr 2016; grau: alle Messwerte; blau: Messwerte während Niederschlägen. Sichtbar Die drei grauen Spitzen zeigen die häufigsten Messwerte im Winter (erste und zweite Spitze von links) und im Sommer (dritte Spitze, rechts). Die höchsten Ortsdosleistungswerte werden praktisch immer bei Niederschlägen gemessen.

Eine detailliertere Analyse der Station Güttsch ob Andermatt

Die natürlich bedingte Ortsdosleistung (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 Ortsdosleistung. 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 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 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 Figur 3 kann man die Einflüsse von Regen und Schnee auf die ODL-Daten gut erkennen. Einerseits erkennt man, dass während der langen Periode mit einer Schneedecke die terrestrische Strahlung abgeschirmt wird und damit die ODL-Werte deutlich tiefer liegen als in den schneefreien Sommermonaten. Den gleichen Effekt erkennt man auch an den minimalen 10-Minuten-Werten der Stationen Ulrichen (-54% im Vergleich zum Jahresmittelwert), Vicosoprano (-41%) sowie San Bernardino (-41%) (siehe Figur 1).

Andererseits beobachtet man einzelne Spitzen nach oben. Diese sind auf Niederschläge zurückzuführen, welche die Folgeprodukte des natürlich vorkommenden Radons (^{222}Rn) auswaschen und am Boden deponieren. Da die Folgeprodukte eine kurze Halbwertszeit haben, normalisieren sich die ODL-Werte innerhalb weniger Stunden wieder. Nach einer längeren Trockenperiode können die 10-Minuten-Werte der ODL bei Gewittern um bis zu Faktor zwei erhöht sein.

In Figur 4 ist die Korrelation der ODL-Daten mit dem Niederschlag dargestellt. Die ODL-Daten über 215 nSv/h korrelieren in den allermeisten Fällen 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 Santa Maria (+150% im Vergleich zum Jahresmittelwert), Plaffeien (+120%), Egolzwil (+117%) und Robbia (+117%) (Figur 1).

Figur 5 zeigt die Häufigkeitsverteilung der 10-Minuten ODL-Daten. Grau gekennzeichnet die Verteilung aller ODL-Daten, blau nur diejenigen bei Niederschlägen (Schnee oder Regen).

Bei der grauen Kurve sind drei lokale Maxima sichtbar. Das erste Maximum, das ungefähr bei 105 nSv/h liegt, entspricht dem häufigsten Wert mit geschlossener Schneedecke in den ersten Jahreshälfte 2016 (Januar- Mitte Juni).

Das zweite Maximum (bei ungefähr 145 nSv/h) entspricht dem häufigsten Wert in den Winterperiode Mitte November - Dezember. Der häufigste Wert an Tagen ohne Schneedecke ist 176 nSv/h und entspricht dem dritten Maximum. Die blaue Kurve zeigt den Effekt der Niederschläge nochmals gut auf: Die höchsten ODL-Messwerte wurden während Niederschlagsperioden gemessen.

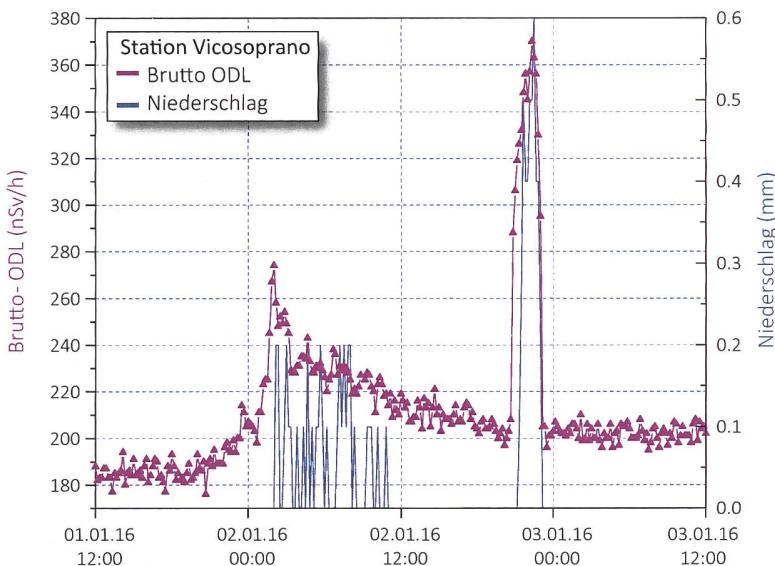
Jahresmittelwert, häufigster Wert, Minimum und Maximum der NADAM-Stationen

Zudem ist es interessant, den Jahresmittelwert mit dem häufigsten Wert zu vergleichen (Tabelle 1). In den überwiegend schneefreien Gebieten sind die beiden Werte sehr ähnlich (z.B. Basel, Egolzwil, Gösgen, Genève). Wenn es jedoch am Standort der Sonde eine klare Wintersaison mit viel Schnee gibt und die terrestrische Strahlung aufgrund des Untergrunds vergleichsweise gross ist, dann liegen diese beiden Werte klar auseinander (z.B. Gütsch ob Andermatt, San Bernardino, Ulrichen).

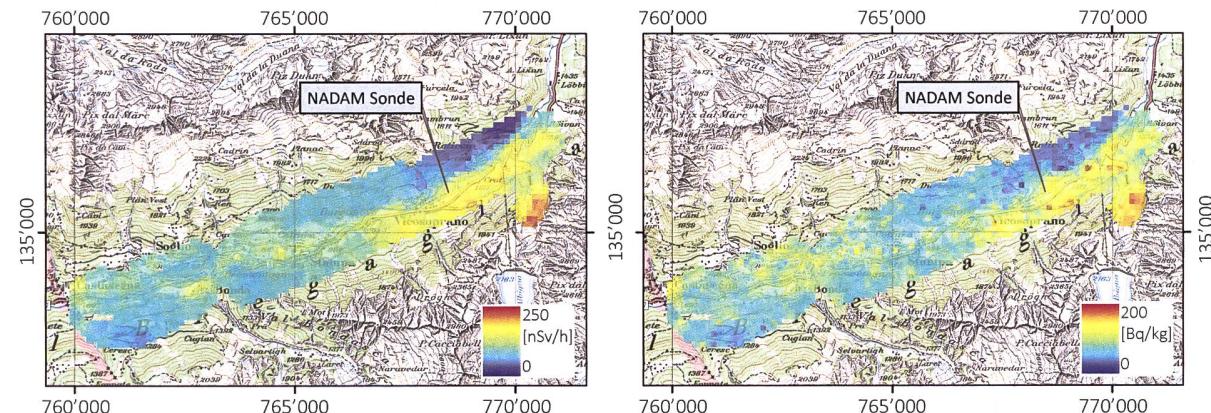
Schliesslich gab es infolge heftiger Niederschläge 2016 mehrere klar erhöhte Werte (z.B. am 02.01.2016 Santa Maria 378 nSv/h und Vicosoprano 370 nSv/h).

Die NADAM-Sonde in Vicosoprano

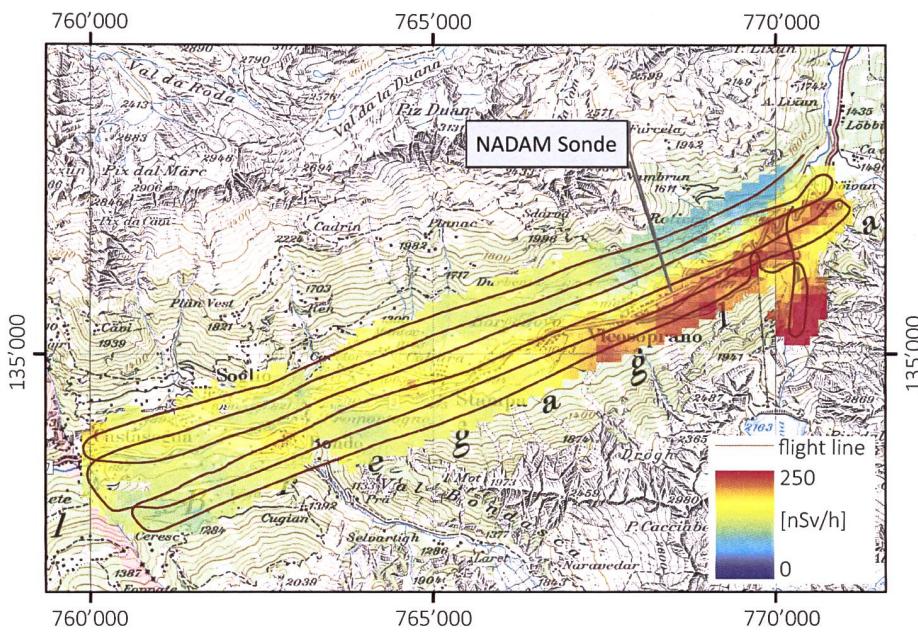
Seit Februar 2013 ist die Station Vicosoprano im Val Bregaglia im Betrieb. Diese Sonde liefert im Normalfall Messwerte um 200 nSv/h (siehe Tabelle 1: häufigste Wert ist 197 nSv/h) und misst damit klar die höchsten Werte aller 68 Stationen. 2016 konnte die NAZ mit Hilfe des Aeroradiometrie-Helikopters eine spektroskopische Analyse der Umgebung durchführen. Einen Hauptbeitrag zur Dosisleistung liefert die ^{40}K -Aktivität, die im Bergeller-Granit aufgrund des hohen Kalium-Anteils (Feldspat) natürlicherweise zu erwarten ist.



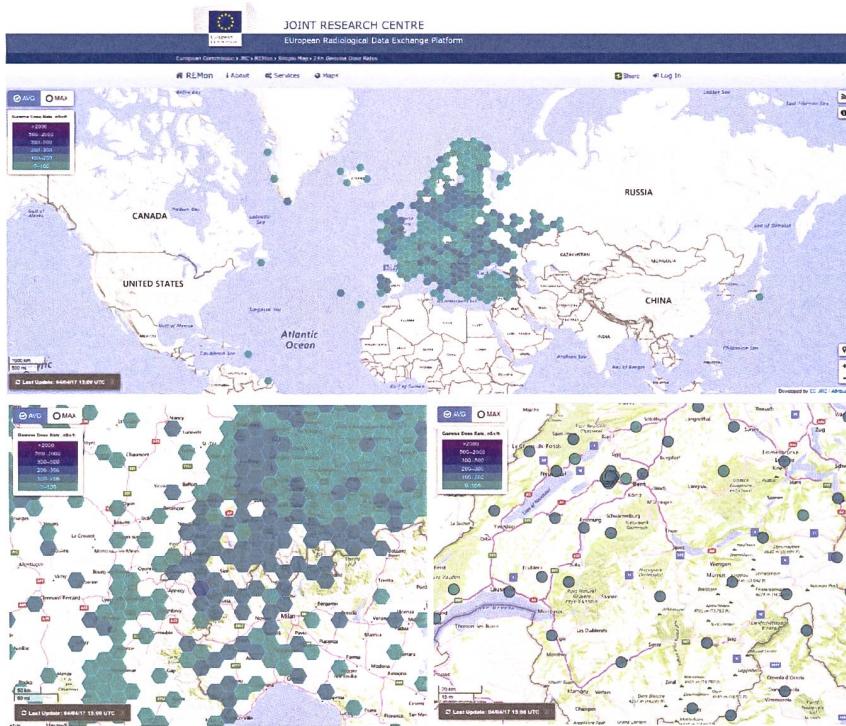
Figur 6:
Zeitverlauf der 10-Min-Werte für die Station Vicosoprano vom 01.01.2016 12:00 bis 03.01.2016 12:00.



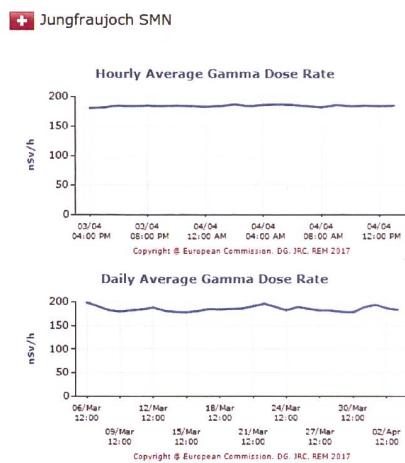
Figur 7 & 8:
Links Karte der terrestrische Strahlung (in nSv/h) und rechts die Karte der Uran-Konzentration im Messgebiet Vicosoprano.
Messung durch das aeroradiometrische System der NAZ, 161 NaI-Detektor (Quelle: PSI-Bericht Nr. 17-01, May 2017, ISSN 1019-0643)



Figur 9:
Karte der Ortdosisleistung im Messgebiet Vicosoprano. Messung durch das aeroradiometrische System der NAZ, 16l Nal-Detektor (Quelle: PSI-Bericht Nr. 17-01, May 2017, ISSN 1019-0643)



Figur 10 & 11:
Darstellung der Dosisleistungsmessresultate.
Darstellungsmöglichkeiten: beim rein-zoomen kriegt man eine immer bessere Auflösung, bis die einzelnen Messstationen sichtbar werden. Quelle: JRC (04.04.2017)



Figur 12:
Darstellungsmöglichkeiten: beim Auswählen einer Station erhält man die Zeitverläufe der Messresultate.

Die europäische Plattform EURDEP

Seit 2002 wird von der EU die zentrale Datenbank EURDEP (European Radiological Data Exchange Platform) betrieben. Auf dieser Plattform werden radiologische Daten der meisten europäischen Länder nahezu in Echtzeit gesammelt und dargestellt. Der zentrale Knoten des EURDEP-Netzwerks ist das European Commission Joint Research Centre JRC in Ispra, Italien. 38 Länder (Stand 31.03.2017) schicken ihre Dosisleistungsmesswerte (in der Regel Stundenmittelwerte) für ein Total von ungefähr 5'000 Stationen zum JRC. Einige Länder, darunter auch die Schweiz, schicken auch die Resultate von Luftaktivitätsmessungen.

Für die Schweiz ist die NAZ der «Official EURDEP Contact Point». Als solcher ist es ihre Aufgabe, alle Messwerte der Schweiz zu sammeln, an das JRC zu übermitteln und somit für alle EURDEP-Mitgliedsstaaten verfügbar zu machen. Folgende Werte werden von der Schweiz in EURDEP zur Verfügung gestellt:

- alle NADAM-Stundenmittelwerte (68 ODL-Stationen, 31.12.2016), stündlicher Versand (Quelle: NAZ)
- alle MADUK-Stundenmittelwerte (57 ODL-Stationen, 31.12.2016), stündlicher Versand (Quelle: ENSI)
- Luftaktivitätsresultate der 6 High Volume Samplers (31.12.2016), wöchentliche Auswertung und wöchentlicher Versand (Quelle: BAG-URA)

2016 hat JRC eine neue Plattform (EUropean Radiological Data Exchange Platform) für die Darstellung der Messresultate implementiert.

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 der MeteoSchweiz in Payerne noch eine Analyse der Eichungsresultate. Falls bei Dosisleistungen ≤ 50 mikroSv/h die Abweichung grösser als 7% ist, oder bei Dosisleistungen > 50 mikroSv/h die Abweichung grösser als 15% ist, wird noch ein Korrekturkoeffizient angewandt. Damit wird sichergestellt, dass die Sonde in 95% der Fällen 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 um bis zu 15 nSv/h unterscheiden. Bei technischen Defekten werden die Sonden ausgewechselt, bei MeteoSchweiz in Payerne im Labor getestet und wenn notwendig dem Hersteller zur Reparatur geschickt.
- Testen der Meldewege, insbesondere auch die korrekte Auslösung und Übermittlung eines Sondalarms.

Im Jahr 2016 wurden 79 Sondentests durchgeführt. Einigen Sonden wurden mehrmals getestet und zusätzlich wurden 3 Stationen, die erst Anfang 2017 im Betrieb genommen wurden, auch getestet. Gesamthaft wurden in diesem Jahr 12 Sonden zur Reparatur geschickt. Dies sind mehr Sonden als normal und röhrt daher, dass 2015 keine Sonden repariert wurden. Die NADAM-Sonden sind stabil und zuverlässig. Die NAZ verfügt insgesamt über 116 Sonden. Der grösste Teil davon sind bei den NADAM-Station im Einsatz, weitere Sonden befinden sich in der Eichung oder in der Reparatur. Daneben müssen einsatzbereite Ersatzsonden an vier Wartungsstandorten von MeteoSchweiz zur Verfügung stehen.

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 2016 aufgeführt.

| Station | Abkürzung | Datum der Inbetriebnahme | Höhe [m ü.M.] | Jahresmittelwert [nSv/h] | Häufigster Wert [nSv/h] | Minimum [nSv/h] | Maximum [nSv/h] |
|-------------------------------|-----------|--------------------------|---------------|--------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| Adelboden (ABO) | BE | 04.11.09 | 1322 | 111 | 110 | 88 | 182 |
| Aigle (AIG) | VD | 09.09.09 | 382 | 123 | 122 | 99 | 205 |
| Altdorf (ALT) | UR | 28.10.09 | 439 | 128 | 126 | 102 | 251 |
| Basel-Binningen (BAS) | BS | 19.11.09 | 317 | 115 | 114 | 96 | 197 |
| Bern-Zollikofen (BER) | BE | 30.09.09 | 554 | 106 | 104 | 87 | 216 |
| Beznau (BEZ) | AG | 19.11.09 | 327 | 104 | 101 | 85 | 171 |
| Buchs-Aarau (BUS) | AG | 20.11.09 | 388 | 102 | 100 | 85 | 202 |
| Changins (CGI) | VD | 23.09.09 | 459 | 119 | 117 | 101 | 219 |
| Chasseral (CHA) | BE | 17.09.09 | 1594 | 114 | 117 | 79 | 218 |
| Chur (CHU) | GR | 09.10.09 | 557 | 112 | 110 | 95 | 227 |
| Col du Grand St Bernard (GSB) | VS | 09.09.09 | 2491 | 129 | 142 | 96 | 179 |
| Cressier (CRM) | NE | 03.11.16 | 431 | 89 | 88 | 73 | 158 |
| Davos (DAV) | GR | 08.10.09 | 1589 | 145 | 152 | 90 | 287 |
| Delémont (DEM) | JU | 03.11.16 | 439 | 115 | 115 | 98 | 187 |
| Disentis (DIS) | GR | 28.10.09 | 1197 | 115 | 113 | 92 | 220 |
| Egolzwil (EGO) | LU | 22.09.10 | 523 | 99 | 96 | 80 | 215 |
| Engelberg (ENG) | OW | 30.10.09 | 1035 | 96 | 99 | 74 | 191 |
| Fahy (FAH) | JU | 14.10.09 | 597 | 123 | 125 | 94 | 230 |
| Génève (GVE) | GE | 24.09.09 | 412 | 109 | 107 | 93 | 200 |
| Glarus (GLA) | GL | 02.12.09 | 518 | 101 | 100 | 72 | 183 |
| Gösgen (GOE) | SO | 20.11.09 | 381 | 101 | 98 | 83 | 190 |
| Grenchen (GRE) | SO | 06.12.10 | 431 | 95 | 93 | 75 | 191 |
| Gütsch ob Andermatt (GUE) | UR | 01.09.05 | 2296 | 146 | 176 | 90 | 257 |
| Güttingen (GUT) | TG | 03.12.09 | 441 | 110 | 108 | 93 | 212 |
| Hörnli (HOE) | ZH | 12.11.09 | 1133 | 95 | 93 | 76 | 185 |
| Jungfraujoch (JUN) | VS | 29.09.09 | 3581 | 184 | 182 | 156 | 265 |
| La Chaux de Fonds (CDF) | NE | 17.09.09 | 1018 | 126 | 126 | 89 | 210 |
| La Dôle (DOL) | VD | 23.09.09 | 1670 | 117 | 117 | 91 | 209 |
| La Frétaz (FRE) | VD | 24.09.09 | 1206 | 120 | 120 | 86 | 240 |
| Le Moléson (MLS) | FR | 19.08.09 | 1975 | 113 | 114 | 88 | 182 |
| Leibstadt (LEI) | AG | 19.11.09 | 342 | 100 | 98 | 79 | 188 |
| Locarno-Monti (OTL) | TI | 22.10.09 | 368 | 154 | 150 | 109 | 282 |
| Lugano (LUG) | TI | 21.10.09 | 297 | 126 | 124 | 100 | 228 |
| Luzern (LUZ) | LU | 05.11.09 | 455 | 107 | 106 | 89 | 224 |
| Magadino-Cadenazzo (MAG) | TI | 22.10.09 | 204 | 135 | 132 | 94 | 264 |
| Meiringen (MER) | BE | 06.10.11 | 590 | 135 | 133 | 102 | 238 |
| Möhlin (MOE) | AG | 09.2010 | 341 | 120 | 117 | 96 | 197 |
| Mühleberg (MUB) | BE | 15.10.09 | 481 | 107 | 106 | 89 | 216 |
| Napf (NAP) | BE | 05.11.09 | 1405 | 96 | 99 | 69 | 198 |
| Neuchâtel (NEU) | NE | 10.12.09 | 485 | 100 | 99 | 82 | 175 |
| Oron (ORO) | VD | 29.02.12 | 828 | 106 | 105 | 84 | 199 |
| Paul Scherrer Institut (PSI) | AG | 27.07.11 | 335 | 103 | 100 | 84 | 181 |
| Payerne (PAY) | VD | 13.08.09 | 490 | 104 | 101 | 85 | 202 |
| Piotta (PIO) | TI | 29.10.09 | 990 | 139 | 142 | 101 | 240 |
| Plaffeien (PLF) | FR | 14.08.09 | 1043 | 111 | 111 | 89 | 245 |
| Pully (PUY) | VD | 23.09.09 | 456 | 121 | 120 | 104 | 216 |
| Reckenholz (REH) | ZH | 13.11.09 | 444 | 109 | 107 | 89 | 205 |
| Robbia (ROB) | GR | 07.10.09 | 1079 | 154 | 140 | 108 | 334 |
| Rünenberg (RUE) | BL | 20.11.09 | 612 | 101 | 99 | 85 | 192 |
| Samedan (SAM) | GR | 25.08.09 | 1710 | 156 | 159 | 103 | 264 |
| San Bernardino (SBE) | GR | 29.10.09 | 1640 | 149 | 158 | 87 | 241 |
| Santa Maria (SMM) | GR | 15.12.11 | 1385 | 151 | 151 | 111 | 378 |
| Säntis (SAE) | AI | 11.11.09 | 2503 | 124 | 124 | 101 | 189 |
| Schaffhausen (SHA) | SH | 04.12.09 | 439 | 96 | 94 | 78 | 205 |
| Scuol (SCU) | GR | 27.08.09 | 1305 | 123 | 121 | 96 | 256 |
| Sion (SIO) | VS | 10.09.09 | 482 | 126 | 124 | 105 | 223 |
| St. Gallen (STG) | SG | 12.11.09 | 777 | 109 | 110 | 85 | 226 |
| Stabio (SBO) | TI | 21.10.09 | 352 | 135 | 128 | 106 | 290 |
| Tänikon (TAE) | TG | 03.12.09 | 539 | 96 | 95 | 79 | 194 |
| Ulrichen (ULR) | VS | 04.11.09 | 1347 | 151 | 180 | 69 | 307 |
| Vaduz (VAD) | FL | 03.12.09 | 458 | 105 | 104 | 88 | 205 |
| Vicosoprano (VIO) | GR | 06.02.13 | 1089 | 192 | 197 | 114 | 370 |
| Visp (VIS) | VS | 11.09.09 | 640 | 136 | 136 | 101 | 235 |
| Wädenswil (WAE) | ZH | 02.12.09 | 487 | 111 | 109 | 92 | 224 |
| Wynau (WYN) | BE | 15.10.09 | 423 | 102 | 100 | 84 | 184 |
| Zermatt (ZER) | VS | 11.09.09 | 1640 | 131 | 136 | 91 | 200 |
| Zürich-Fluntern (SMA) | ZH | 24.11.09 | 557 | 114 | 112 | 97 | 232 |
| Zürich-Kloten (KLO) | ZH | 24.11.09 | 427 | 114 | 112 | 95 | 211 |

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

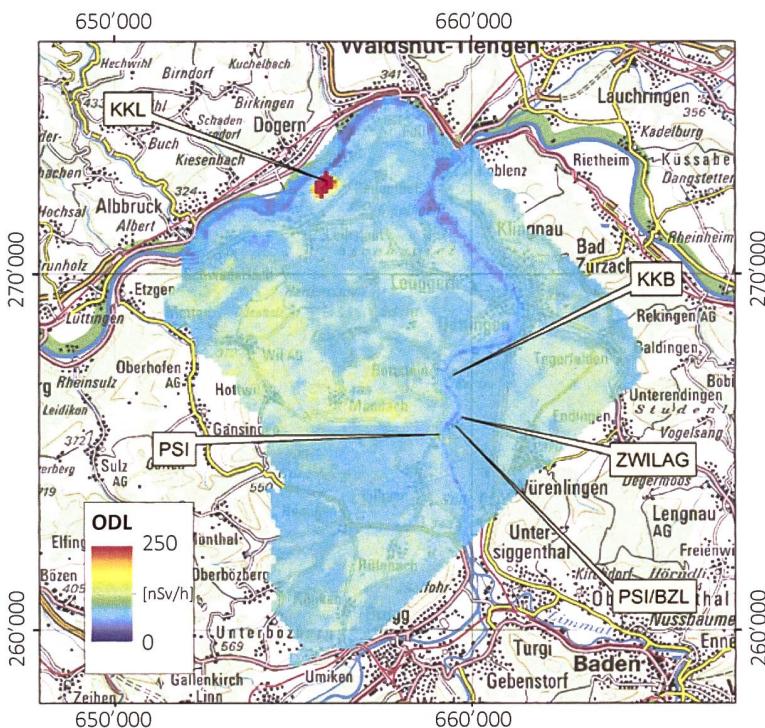
Bei den Messflügen im Juni 2016 wurde turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) sowie der Forschungsanstalt Paul Scherrer Institut (PSI) und der Zwischenlager AG (ZWILAG) abgedeckt. Weiter wurden Städte und Agglomeration von Luzern/Emmen sowie Zug/Cham sowie Vicosoprano (Bregagliatal) beflogen. Ebenfalls wurde die A13 zwischen St. Margrethen und Sargans sowie zwischen Fürstenau und San Bernardino gemessen.

Die Messresultate im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG zeigte ein ähnliches Bild wie in früheren Jahren. Das KKB, bei dem sich beide Blöcke im Revisionsstillstand befanden, konnte nicht detektiert werden. Beim KKL konnte wie in früheren Jahren die gestreute, hochenergetische Photonenstrahlung des Radionuklids ^{16}N detektiert werden. Im Bereich des Bundeszwischenlagers (BZL) und der ZWILAG konnten keine Signale identifiziert werden, die von den eingelagerten Abfällen stammen könnten. Auch bei dieser Messkampagne konnte im Bereich des PSI die Abluftfahne anhand der kurzlebigen Positronenstrahler und der damit verbundenen charakteristischen Gammalinie bei 511 keV (Annihilationsstrahlung) detektiert werden. Ausserhalb der Betriebsareale wurden keine Aktivitäten identifiziert, die auf den Betrieb der Kernanlagen zurückzuführen wären.

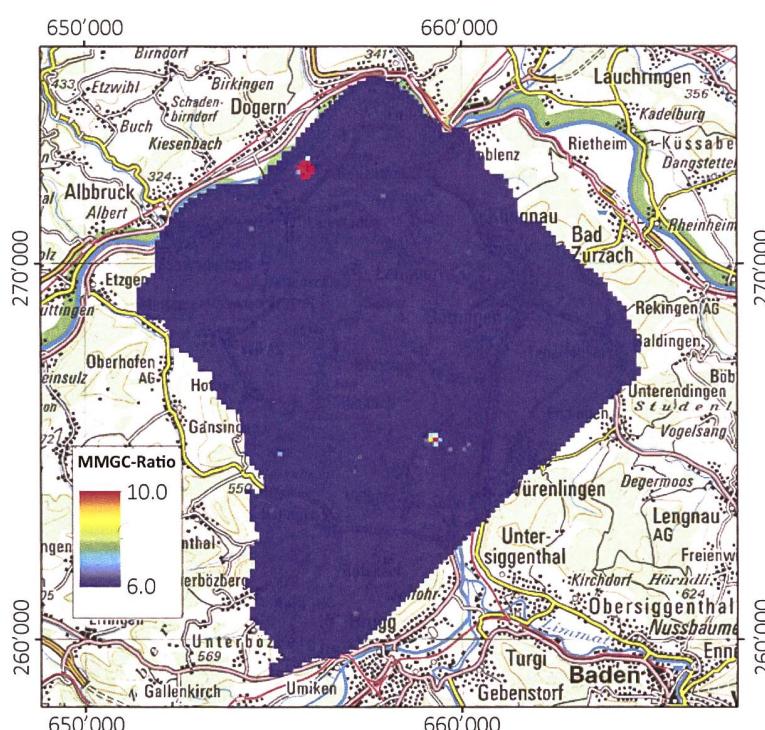
Bei den übrigen Messungen wurden keine Ergebnisse von radiologischer Bedeutung registriert. Die Messwerte lagen im für diese Gebiete typischen Erfahrungsbereich.

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 km² vermessen. Im Jahre 1994 ging man zu einem Zweijahresrhythmus über, wobei seither abwechslungsweise zwei bzw. drei Gebiete mit Kernanlagen 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).



Figur 1:
Ortsdosisleistung 2016 im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG.
Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.



Figur 2:
MMGC-Ratio 2016 im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG.
Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.

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 Detektor mit 16,8 L Volumen 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 ab den Messflügen 2014 zum Einsatz kommt.

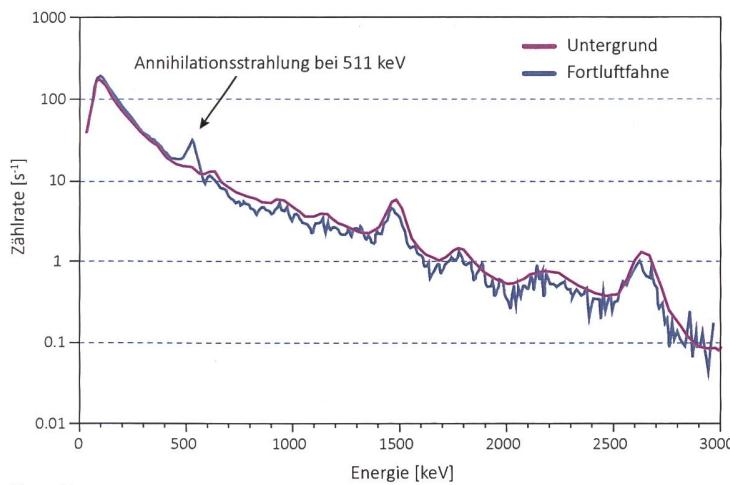
Im Jahre 2010 (Bucher und Rybach 2010) wurde Mithilfe der Auswertung der Langzeitdaten die Nachweisgrenze der Messmethode ermittelt: Eine Dosisleistungserhöhung um 20 nSv/h wird in 95 von 100 Fällen erkannt (Vertrauensbereich 95%). Dies entspricht ungefähr 20% der natürlichen externen Strahlung.

Messungen und Messresultate 2016

Im Juni 2016 wurde turnusgemäß die Umgebung der Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) sowie der Forschungsanstalt Paul Scherrer Institut (PSI) und der Zwischenlager AG (ZWILAG) abgedeckt. Weiter wurden Städte und Agglomeration von Luzern/Emmen sowie Zug/Cham sowie Vicosoprano (Bregagliatal) beflogen. Ebenfalls wurde die A13 zwischen St. Margrethen und Sargans sowie zwischen Casiz und San Bernardino gemessen. Zudem wurden Vergleichsmessungen mit den neuen Aeroradiometriemesssystemen (RLL) der Armee durchgeführt. Die Ergebnisse sämtlicher Messungen werden in Butterweck et al. (2017) publiziert.

Die Messresultate im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegangenen Messkampagnen. Im Bereich des KKB sind

3.3 Aeroradiometrische Messungen

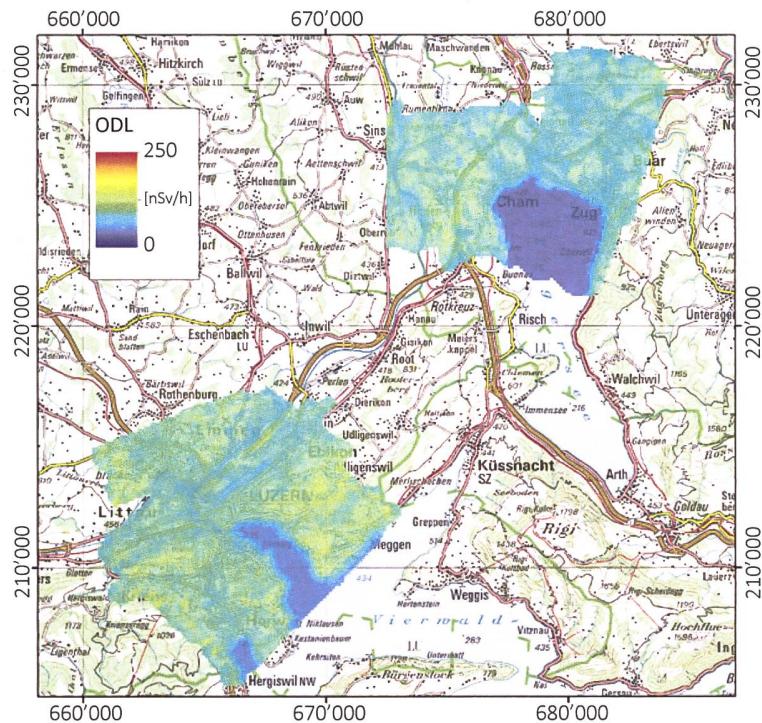


Figur 3:
Spektren des Untergrunds im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG und der Fortluftfahne des PSI.

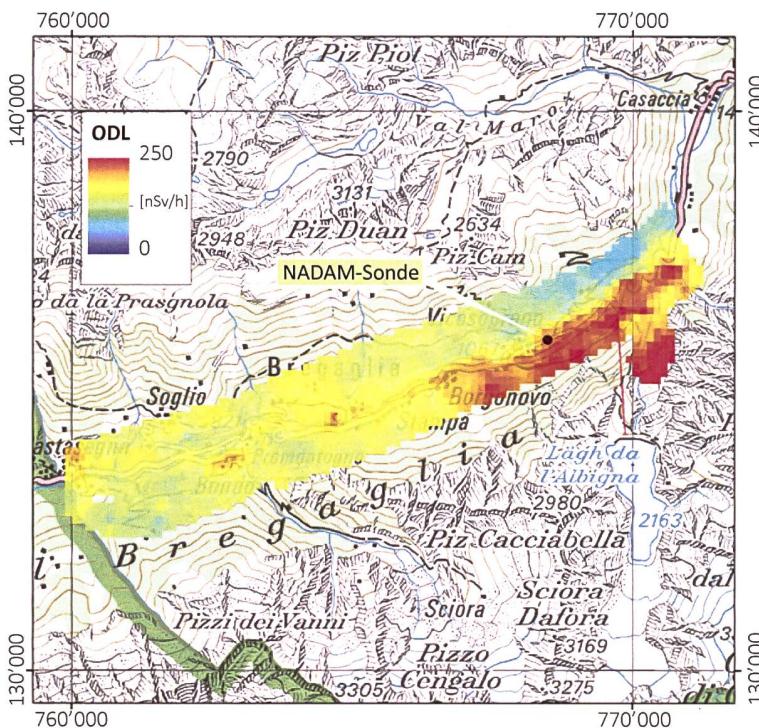
künstlicher Radionuklide dar. Im Gegensatz zu KKB können am Standort von KKL in der Figur 1 erhöhte Messwerte erkannt werden. Das KKL mit seinem Siedewasserreaktor konnte wie bereits in früheren Jahren anhand gestreuter, hochenergetischer Photonenstrahlung erkannt werden. Diese Strahlung wird durch das Aktivierungsprodukt ^{16}N erzeugt, welches bei Siedewasserreaktoren durch die Frischdampfleitung in die Turbinen im Maschinenhaus gelangt. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise gering abgeschirmt ist, kann die hochenergetische Gammastrahlung des ^{16}N aus der Luft gut gemessen werden. Ausserhalb des Betriebsareals sind keine erhöhten Werte erkennbar. Im Bereich des PSI, auf dessen Gelände sich auch das Bundeszwischenlager (BZL) befindet, und der ZWILAG können in der Ortsdosleistungskarte (Figur 1) keine wesentlichen Erhöhungen erkannt werden. Hingegen ist beim MMGC (Figur 2) über dem PSI-Teil westlich der Aare eine Erhöhung zu erkennen, die auf die Positronenstrahler in der Fortluft des PSI und die daraus resultierende Annihilationsstrahlung (Fig. 3) zurückzuführen ist. Ortsdosleistungsunterschiede sind auf Einflüsse der Topographie wie Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen.

Die Messungen in der Umgebung von Luzern/Emmen und Zug/Cham zeigten die aufgrund des Untergrundes zu erwartenden Dosisleistungen (Fig. 4). Über dem Zuger- und Vierwaldstättersee wird aufgrund der nahezu vollständigen Abschirmung der terrestrischen Photonenstrahlung durch das Wasser nur der Beitrag der kosmischen Strahlung gemessen.

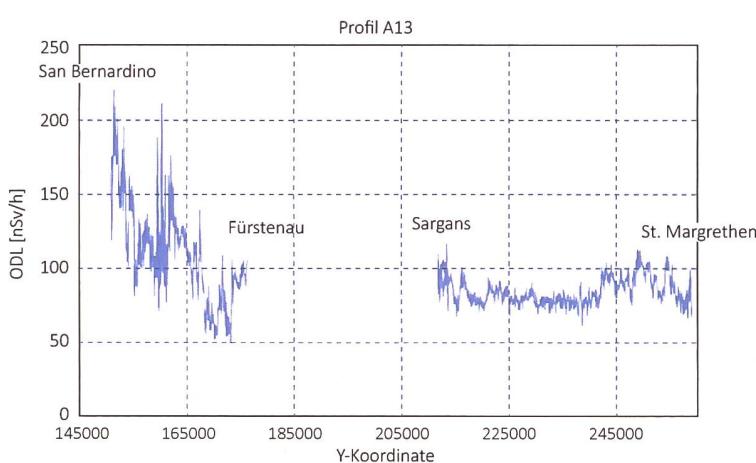
keine besonderen Werte bei der Ortsdosleistung (Fig. 1) zu erkennen. KKB mit seinem Druckwasserreaktor konnte aeroradiometrisch weder aufgrund der Ortsdosleistung (Fig. 1) noch aufgrund des MMGC-Verhältnisses erkannt werden. Das MMGC-Verhältnis steht für den Quotienten der Zählraten im Energiebereich von 400 - 1'400 keV und 1'400 - 3'000 keV. Da die meisten Spaltprodukte Gammainien im Energiebereich unterhalb von 1'400 keV aufweisen, stellt das MMGC-Verhältnis ein empfindliches Instrument zur Lokalisierung



Figur 4:
Ortsdosleistung 2016 in den Messgebieten Luzern/Emmen und Zug/Cham.
Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.



Figur 5:
Ortsdosisleistung 2016 im Messgebiet Vicosoprano Kartendaten PK200
Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.



Figur 6:
Ortsdosisleistung 2016 entlang der A13 zwischen San Bernardino und Fürstenau sowie Sargans und St. Margrethen

Die Messungen im Vicosoprano zeigten aufgrund der Geologie mit granitischen Gesteinen deutlich höhere Dosisleistungen als im schweizerischen Mittelland (Fig. 5). Die Ergebnisse bestätigen auch die Messungen der NADAM-Sonde, die sich in Vicosoprano befindet und im NADAM-Netz die höchsten Ortsdosisleistungen aufweist. Einen Hauptbeitrag zur Dosisleistung liefert die ^{40}K -Aktivität, die im Bergeller-Granit aufgrund des hohen Kalium-Anteils (Feldspat) natürlicherweise zu erwarten ist.

Die Ergebnisse für die Ortsdosisleistung entlang der A13 zwischen St. Margrethen und Sargans sowie zwischen Fürstenau und San Bernardino wiederspiegeln die geologischen Unterschiede (Figur 6).

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: Flächendekkende 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.
- Butterweck, G., Bucher, B., Rybach, L., Schwarz, G., Hofstetter-Boillat, B., Hohmann, E., Mayer, S., Danzi, C., Scharling, G., 2017: Aeroradiometric Measurements in the Framework of the Swiss Exercises ARM16 and LAURA. PSI Bericht Nr. 17-01, ISSN 1019-0643.

