

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: - (2018)

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](#)

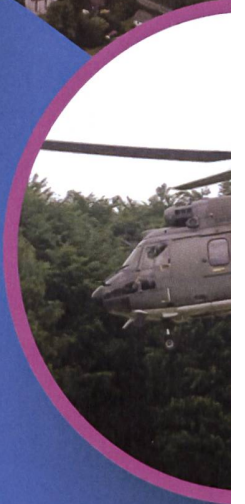
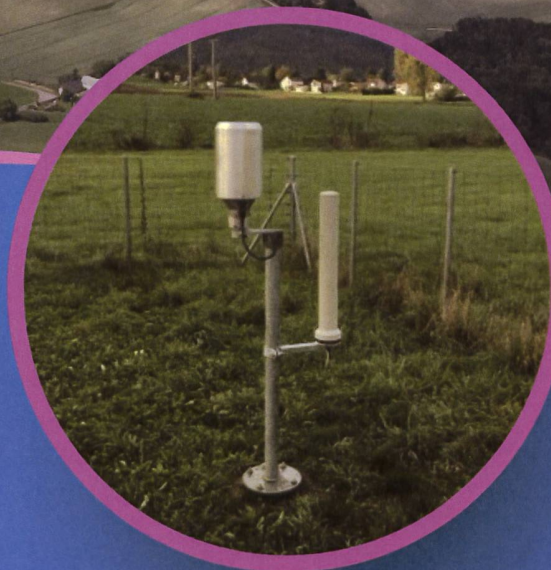
Terms of use

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>

2018



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, Berne

Résumé

En 2018, les mesures de spectrométrie 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 de spectrométrie in situ 2018 n'ont signalé aucune valeur susceptible de représenter un risque pour la santé du public.

Introduction

Le réseau NADAM à l'échelle nationale et le réseau MADUK au voisinage des installations nucléaires assurent 24h sur 24 le suivi permanent de l'exposition ambiante en Suisse et signalent des augmentations anormales de celle-ci. Afin de déterminer les compositions individuelles à l'exposition ambiante globale que ces réseaux ainsi que les mesures effectuées avec des dosimètres à thermoluminescence ne permettent pas, 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) souvent liée à des mesures de spectrométrie gamma effectuées en laboratoire sur des échantillons (sol, herbe) qui visent, quant à elles, la détection de traces de radionucléides.

La spectrométrie gamma in situ a l'avantage de permettre l'identification des radionucléides (émetteurs gamma) présents sur le site examiné, 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 ICRU¹, 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^{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], 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 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 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'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 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 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.download.pdf/2010-empfehlung-umrechnungsfaktoren-gammaspektrometrie.pdf>

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

Résultats in situ 2018

En 2018, les mesures de spectrométrie gamma 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, conformément au programme de surveillance habituel. Depuis 2017, des mesures complémentaires sont 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 le 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. Quelques points particuliers ont également été examinés en 2018, soit la nouvelle station NADAM de Koppingen/BE (dans la mesure du possible une spectrométrie gamma in situ est effectuée pour toute nouvelle station NADAM) et trois sites dans la région de Biaufond/JU côté français et suisse. Cette méthode a également été utilisée lors de l'exercice «Gabbiano» organisé par la CENAL. Les résultats, en termes d'exposition du public, de ces mesures supplémentaires n'ont mis en évidence aucune valeur susceptible de représenter un risque pour la santé de la population.

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 et 4 à 6 pour les principaux sites suisses examinés en 2018. 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. Afin d'apprécier la fiabilité de la reconstitution, la valeur de la mesure globale avec chambre d'ionisation avec son incertitude est également représentée.

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 2018 est le ^{137}Cs .

Les valeurs plus élevées de débit de dose enregistrées au voisinage de la centrale de Mühleberg en particulier à Salvisberg, Niederruntigen, Fuchsenried et Ufem Horn (fig. 1 et 4) 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.

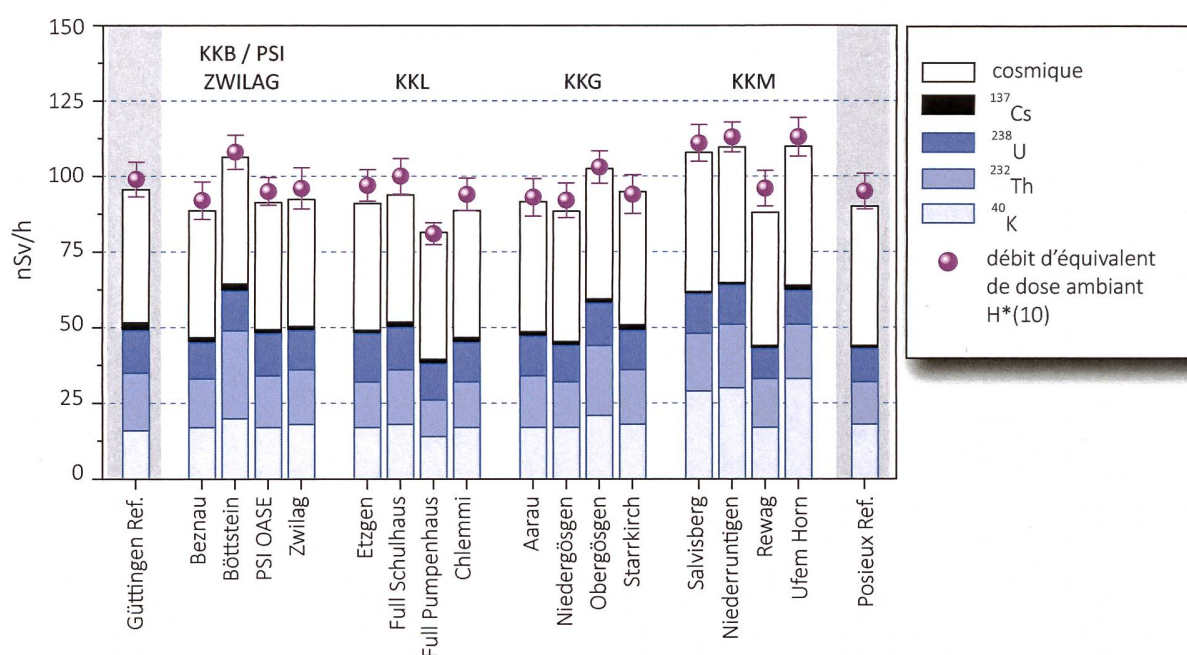


Figure 1 :

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 2018 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.

A noter également que les résultats des mesures effectuées à Rewag (fig. 1,2,4) 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 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. Comme le montre la figure 2, la connaissance de l'historique des remaniements et de l'utilisation du sol des sites examinés permet souvent d'expliquer des différences de concentrations d'une année sur l'autre.

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 (fig. 3). 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.

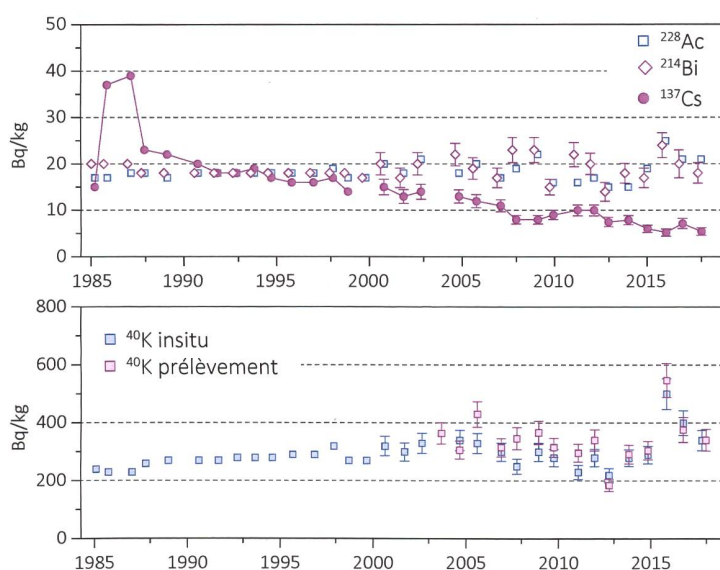


Figure 2: Suivi (1985-2018) des concentrations en ^{228}Ac , ^{214}Bi , ^{40}K et ^{137}Cs déterminées par spectrométrie gamma in situ et concentration en ^{40}K déterminée en laboratoire des prélèvements de sol au point Rewag de la centrale nucléaire de Mühleberg.

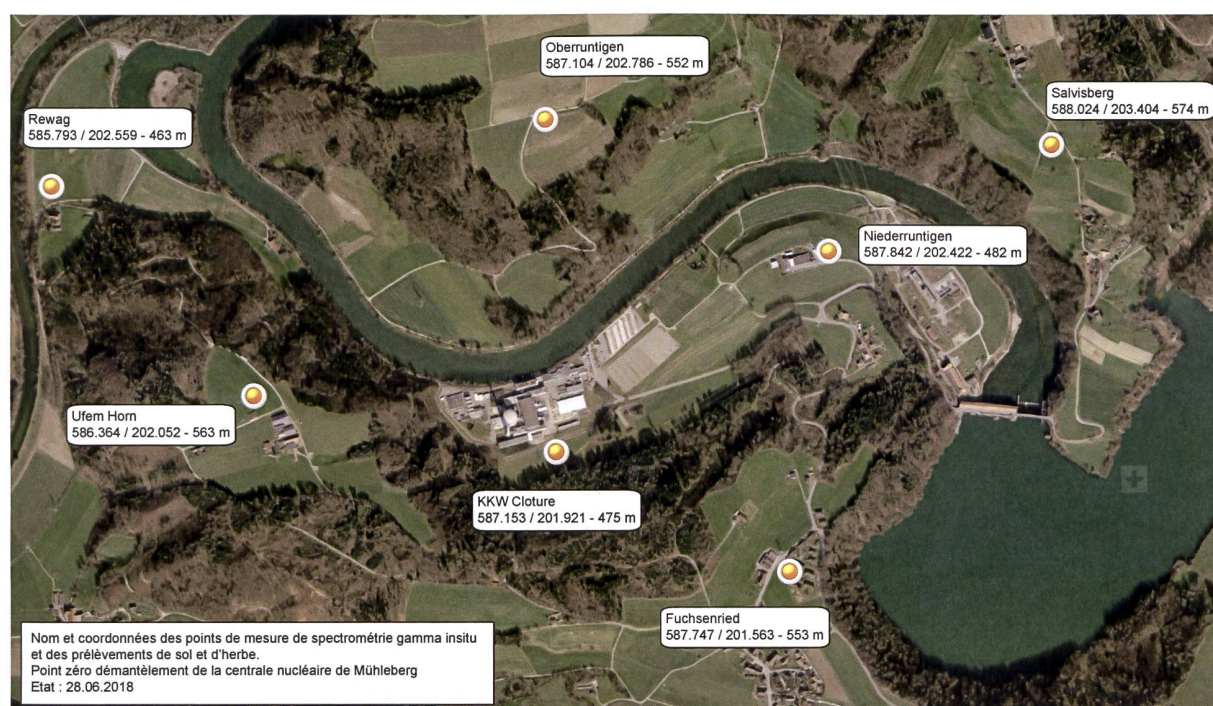


Figure 3: Emplacement des 7 sites de mesure de spectrométrie gamma in situ et de prélèvement de sol et de végétation dans la région de la centrale nucléaire de Mühleberg en 2018.

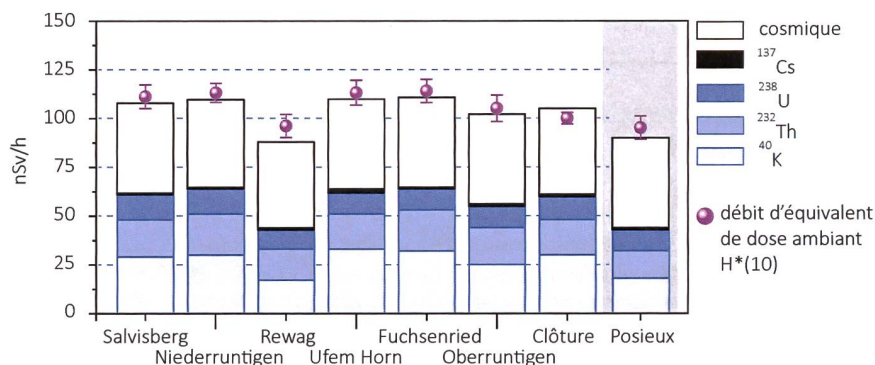


Figure 4:

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 2018 ainsi qu'au point de référence de Posieux/FR (en grisé).

pour chacun de ces points, un prélèvement annuel de sol et deux prélèvements (printemps et automne) de végétation ont été réalisés (résultat chap 8.5 les installations nucléaires et leur environnement).

La figure 5 montre les résultats des mesures in situ réalisées au voisinage du CERN en 2018. 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'⁴¹Ar 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 2018, des traces de ²²Na étaient également clairement visibles sur le spectre in situ enregistré sur le même site. Comme le ⁷Be, le ²²Na 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'équivalent de dose ambiant est toutefois restée inférieure à celle du ¹³⁷Cs issu de l'accident de Tchernobyl.

Au Tessin, la contamination rémanente en ¹³⁷Cs, issue des retombées des essais nucléaires des années 50 et 60 et surtout de celles de l'accident de Tchernobyl (1986), est toujours clairement visible. Comme le montre la figure 6, 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 ¹³⁷Cs 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 %.

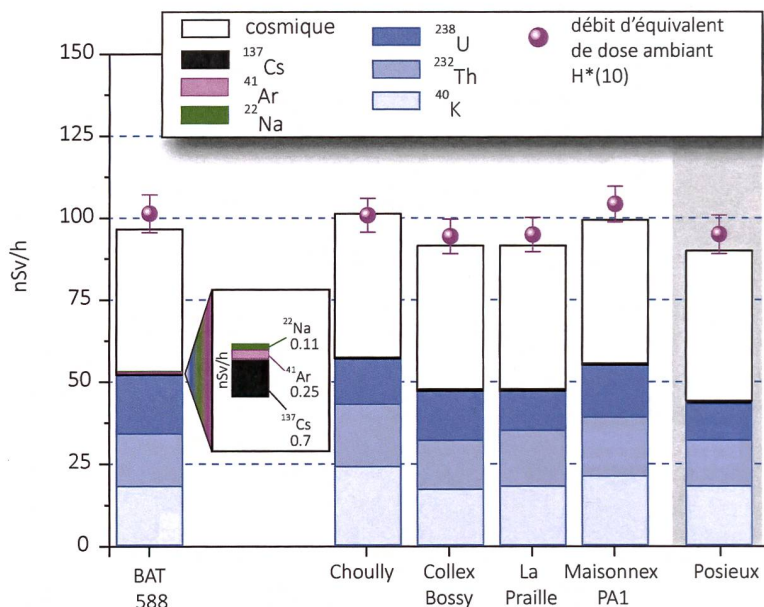


Figure 5:

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 2018 au voisinage du CERN ainsi qu'au point de référence de Posieux (en grisé). La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ avec chambre d'ionisation est également représentée.

La figure 3 indique l'emplacement des sept sites examinés en 2018 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 trois points supplémentaires mesurés dans le cadre de cette surveillance accrue.

Comme en 2017 aucune différence notable n'a pu être remarquée entre les sites de la surveillance habituelle et les valeurs mesurées aux 3 points supplémentaires (fig. 4). A noter que

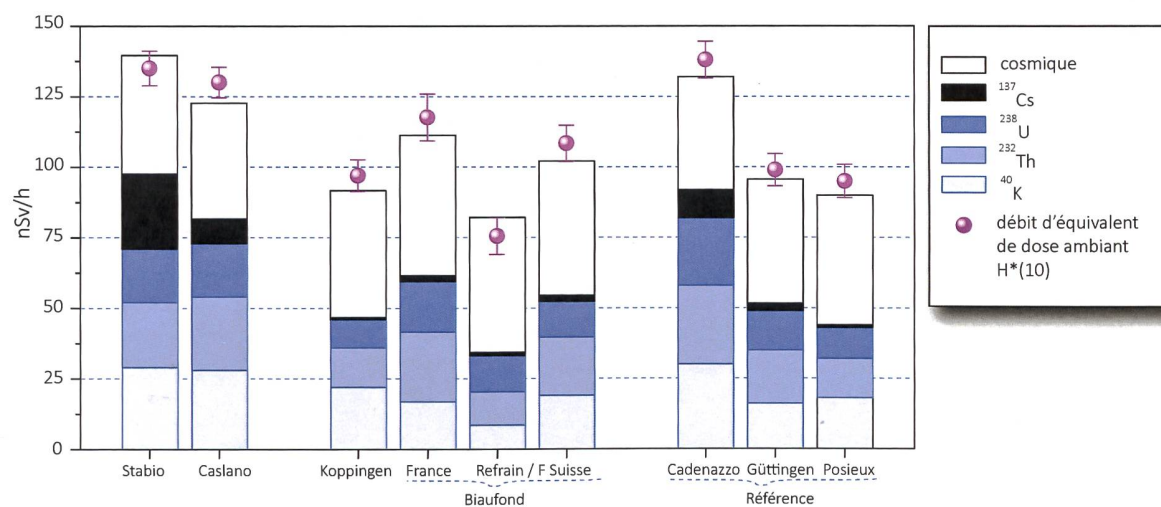


Figure 6: Contributions individuelles au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ calculées à partir des spectres in situ (distribution supposée homogène des radionucléides dans le sol) mesurés en 2018 au Tessin, à Koppingen, dans la région jurassienne de Biaufond côté France et Suisse ainsi que sur les 3 sites de référence. La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ avec chambre d'ionisation est également représentée.

Conclusions

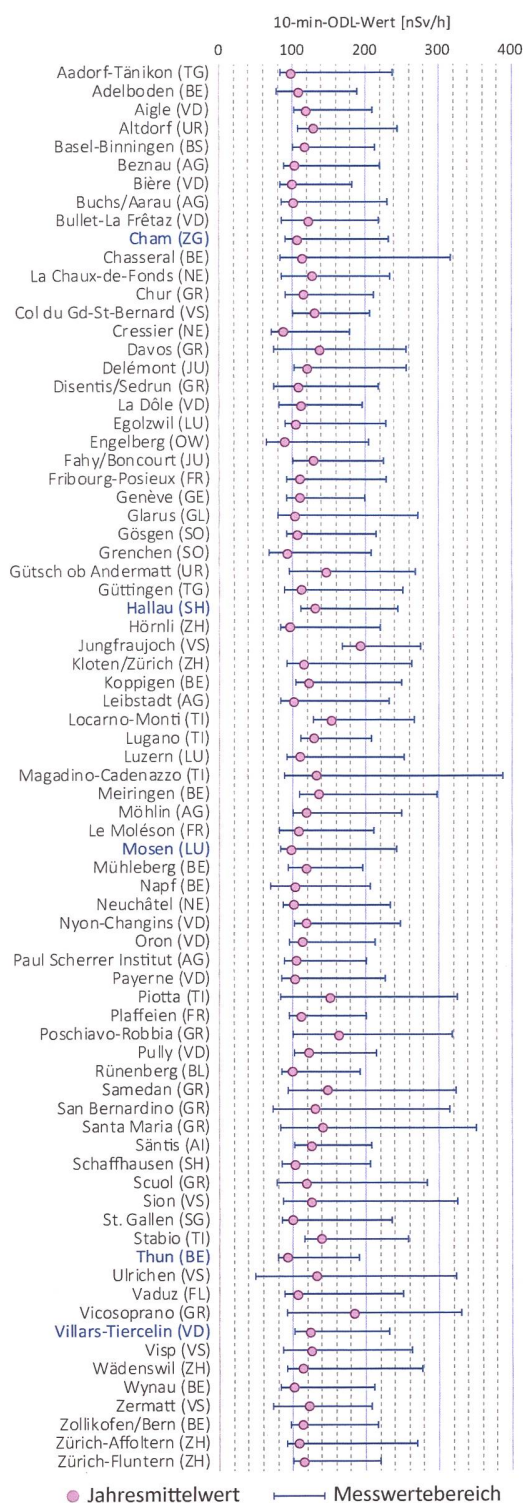
Les mesures de spectrométrie gamma in situ réalisées par l'OFSP en 2018 ont permis de caractériser les sites d'intérêt du point de vue de leur composition en radionucléides gamma et des contributions individuelles au débit d'exposition qui en résultent pour le public. Le champ d'application de ces mesures a visé à répondre à des objectifs d'ordre réglementaire (voisinage des installations nucléaires suisses) et d'ordre radioécologique (suivi des contaminations ¹³⁷Cs 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 ¹³⁷Cs 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, Zürich

Zusammenfassung

Das Netz für die automatische Dosisleistungsalarmierung und -messung (NADAM) dient der grossräumigen und permanenten Überwachung der externen Strahlung in der Schweiz. Es besteht aus 76 über die ganze Schweiz verteilten Stationen, welche in 10-Minuten-Intervallen die γ -Ortsdosisleistung (ODL, $H^*(10)$) messen.

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

Im Jahr 2018 wurden keine Werte gemessen, die auf eine erhöhte Strahlenbelastung der Bevölkerung schliessen lassen.

Einleitung

Die permanente Überwachung der externen Strahlung in der Schweiz wird von den 76 über die ganze Schweiz verteilten NADAM-Stationen garantiert. Diese 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.

Figur 1:

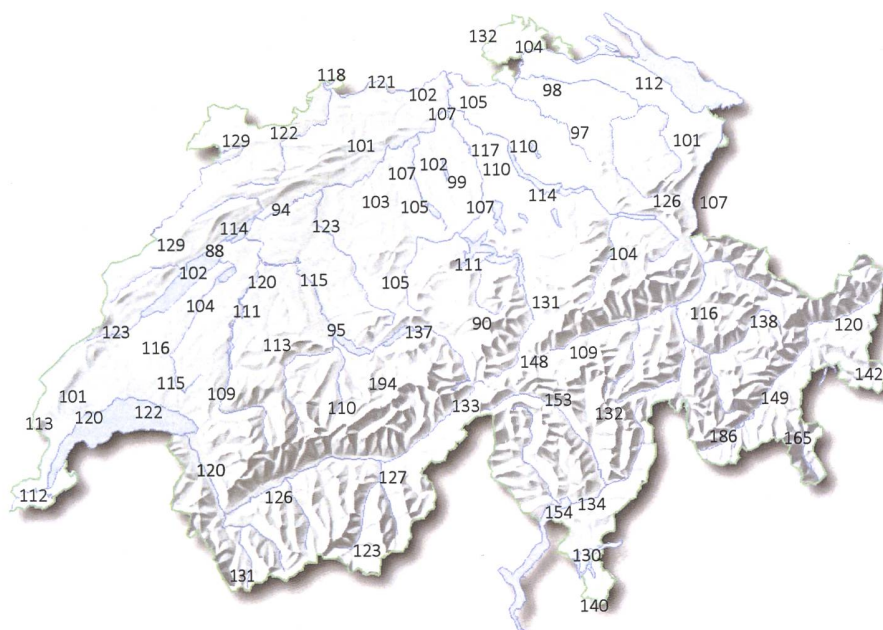
Jahresmittelwerte und Messwertebereiche der NADAM-Sonden. Der dargestellte Messwertebereich entspricht dem Bereich zwischen dem minimalen und dem maximalen 10 min-Wert der Sonden im Jahr 2018. Die Stationen Cham, Hallau, Mosen, Thun und Villars-Tiercelin sind markiert, da sie erst seit Anfang 2018 in Betrieb sind.

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 pro Stunde) bis 10 Sv/h und deckt somit sehr gut den Untergrundbereich bis hin zu Dosisleistungen ab, wie sie z.B. nach einer Nuklearwaffenexplosion zu messen wären.

Das NADAM-Netz wird von der Nationalen Alarmzentrale (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 µSv/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 aufgeboten. Bei einem ernsthaften Verdacht auf eine mögliche radiologische Gefährdung rückt die ganze NAZ ein und die Behörden des betroffenen Kantons werden orientiert. Damit kann die NAZ bei einem radiologischen Ereignis 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) 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 2018 wurden keine Werte gemessen, die auf eine erhöhte Strahlenbelastung der Bevölkerung schliessen lassen. Es wurden nur einzelne technische Störungen bei der Messung oder der Datenübertragung registriert.

2018 konnten ODL-Sonden auf den MeteoSchweiz-Standorten Cham (ZG), Hallau (SH), Mosen (LU), Thun (BE) und Villars-Tiercelin (VD) in Betrieb genommen und damit die geplante Erweiterung des NADAM-Messnetzes abgeschlossen werden. Im Normalbetrieb werden die Daten terrestrisch über Mobilfunk- oder Kabelverbindungen übertragen. Seit 2017 sind 15 Stationen mit der zusätzlichen Möglichkeit ausgerüstet, Messdaten via Satellitenverbindung an die Datenbank zu übermitteln. Mit dieser Redundanz ist die Ausfallsicherheit der Datenübertragung erhöht, insbesondere da im Fall einer Katastrophe die terrestrischen Kommunikationsnetze beeinträchtigt sein könnten.



Figur 2:

Karte mit den Jahresmittelwerten 2018 aller NADAM-Sonden in Nanosievert pro Stunde, basierend auf den 10 min-Werten. Der Jahresmittelwert der Ortsdosisleistung variiert je nach Standort zwischen 88 nSv/h in Cressier und 194 nSv/h auf dem Jungfrauoch.

Jahresmittelwerte und Erfahrungsbereiche 2018

Die ODL-Jahresmittelwerte und die Maxima und Minima der 10-Minuten-Werte aller Stationen sind in Figur 1 dargestellt. Im Vergleich mit den Messresultaten der letzten Jahre fällt auf, dass einige Maximalwerte höher ausfallen. Im Jahr 2017 waren an fünf Standorten (Jungfrauoch, Poschiavo Robbia, Samedan, San Bernardino, Stabio und Vicosoprano) Maximalwerte über 300 nSv/h festgestellt worden, im Jahr 2018 wurde dieser Wert nun auf 10 Messstationen (Chasseral, Magadino-Cadenazzo, Piotta, Poschiavo Robbia, Samedan, San Bernardino, Sion, Santa Maria, Ulrichen und Vicosoprano) überschritten. Diese Maximalwerte wurden alle in der aussergewöhnlich trockenen Periode von Juli bis September gemessen. Wenn in diesem Zeitraum dennoch Regen einsetzte, wurden verstärkt radioaktive Partikel aus der Luft ausgewaschen und am Boden, d.h. in Sondernähe, deponiert und generierten so die Spitzenwerte.

Als Erfahrungsbereich einer Station gilt bei der NAZ der Wertebereich, 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.

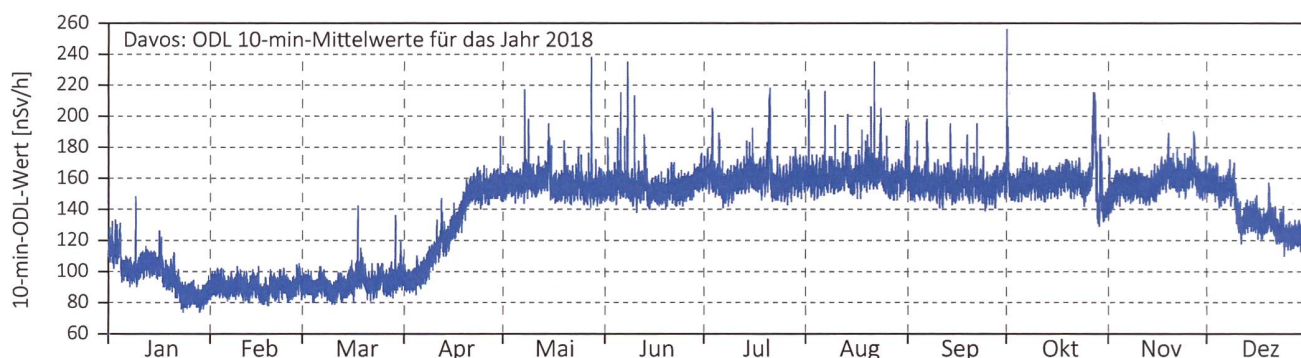
In Figur 2 sind die numerischen Jahresmittelwerte in eine Schweizer Übersichtskarte eingetragen. Die natürlich bedingte Ortsdosisleistung (ODL) wird vom Standort (geologischer Untergrund, Höhe über Meer) und von den meteorologischen Verhältnissen (Regen, Schneedecke) beeinflusst. Die Beiträge der terrestrischen und der kosmischen Strahlung führen zu den regional beobachteten Unterschieden bei den Jahresmittelwerten.

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 186 nSv/h der zweithöchste 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 führte im Jahr 2018 mit 194 nSv/h zum einzigen Jahresmittelwert über demjenigen von Vicosoprano.

Eine detailliertere Analyse der Station Davos

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 Davos. Der Jahresmittelwert liegt bei 138 nSv/h. Peaks bis zu 256 nSv/h ergeben sich durch Niederschläge,



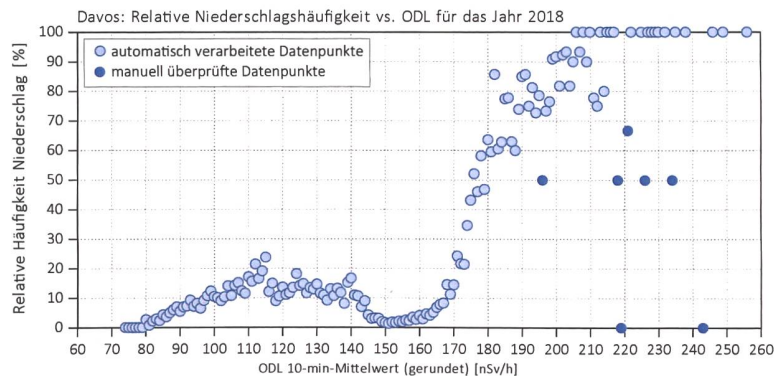
Figur 3:

Zeitverlauf der 10 min-ODL-Werte für die Station Davos im Jahr 2018. Deutlich sichtbar sind die bis zu 46 % unter dem Jahresmittelwert liegenden ODL-Werte im Winter aufgrund der Abschirmung der terrestrischen Strahlung durch die Schneedecke.

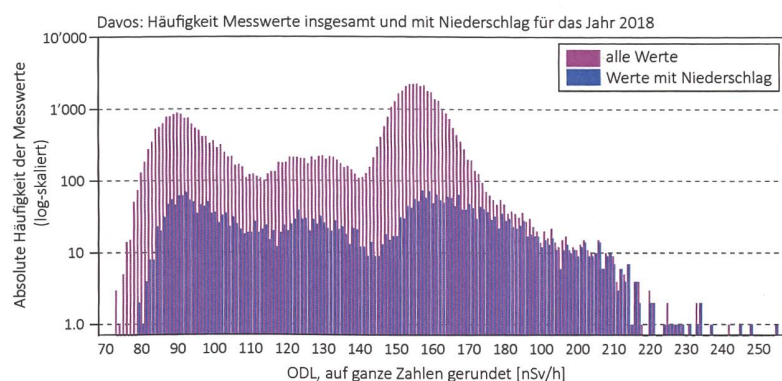
welche zur Deposition von Partikeln mit natürlich vorkommenden Radionukliden (v.a. Zerfallsprodukte von Radon ^{222}Rn) am Boden führen. Umgekehrt erkennt man an tiefen Messwerten bis 74 nSv/h, dass in den Wintermonaten eine unterschiedlich dicke Schneedecke die terrestrische Strahlung abgeschirmt hat.

In Figur 4 ist die Korrelation der auf ganze Zahlen gerundeten ODL-Werte mit dem Niederschlag dargestellt. ODL-Werte über 190 nSv/h gehen in den meisten Fällen einher mit Niederschlag. Einige Datenpunkte zeigen relative Niederschlagshäufigkeiten unter 70% für ODL-Werte über 190 nSv/h. Diese sind in Figur 4 mit ausgefüllten Kreisen markiert. Eine manuelle Überprüfung dieser Datenpunkte ergab, dass diese insgesamt 25 Messwerte repräsentieren, wovon 13 erhoben wurden, während kein Niederschlag stattfand. In allen Fällen hatte es jedoch unmittelbar davor geregnet und die ODL war deshalb immer noch erhöht. Die ODL-Spitzen aus Figur 3 lassen sich damit sehr gut mit den Niederschlägen erklären. Der Niederschlagseffekt zeigt sich in den maximalen 10 Minuten-Werten vieler Stationen und entsprechend in den in Figur 1 gezeigten Wertebereichen. Besonders ausgeprägt zu erkennen war er 2018 an den Standorten Sion (158% über dem Jahresmittelwert), Glarus (162%), Chasseral (178%) und Magadino-Cadenazzo (189%).

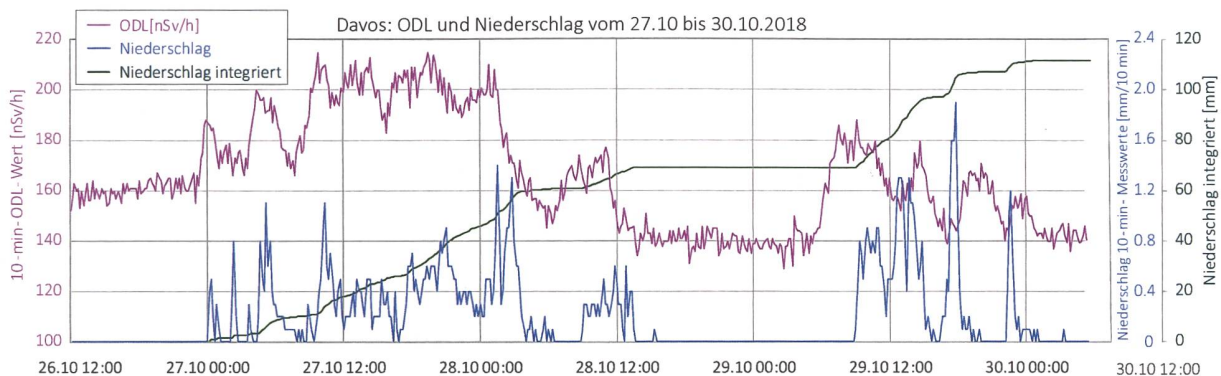
Figur 5 zeigt die absolute Häufigkeitsverteilung der 10 Minuten ODL-Daten in Davos, wobei die vertikale Diagrammachse logarithmisch skaliert ist. Rot eingezeichnet ist die Verteilung aller ODL-Daten, blau diejenige



Figur 4: Korrelation zwischen den 10 min-Werten und den Niederschlägen für die Station Davos im Jahr 2018. Die ODL-Werte über 190 nSv/h korrelieren gut mit Niederschlägen, d.h. in den meisten Fällen traten hohe ODL-Werte gleichzeitig mit Niederschlag auf. Die Datenpunkte über 190 nSv/h mit geringer relativer Häufigkeit stammen daher, dass kurz nach Niederschlägen die ODL noch nicht vollständig auf das Hintergrundniveau zurückgegangen war.



Figur 5: Verteilung der 10 min-Werte für die Station Davos im Jahr 2018; rot: alle Messwerte; blau: Messwerte während Niederschlag. Werte über 190 nSv/h gehen fast immer einher mit Niederschlag.



Figur 6: Zeitverlauf der ODL 10 min-Mittelwerte, der 10 min Niederschlagssummen und der integrierten Niederschlagsmenge für den Zeitraum vom 27.10. bis 30.10.2018 für die Station Davos.

der Messwerte, die aufgezeichnet wurden, während Niederschlag (Schnee oder Regen) stattgefunden hat. Der häufigste gemessene Wert liegt bei 157 nSv/h, lokale Maxima ergeben sich aus Perioden mit Messwerten, die über längere Zeiträume ähnlich blieben, wie bei etwa 92 nSv/h aufgrund der Schneedecke von Ende Januar bis Ende März. An den blau eingezeichneten Werten erkennt man die Korrelation von Niederschlag mit erhöhten ODL-Werten, im Speziellen über 190 nSv/h.

Ein Ausschnitt der in Figur 3 gezeigten Messreihe ist in Figur 6 dargestellt und wird mit der gleichzeitig aufgezeichneten Niederschlagskurve verglichen. Rot eingezeichnet und auf der linken y-Achse skaliert ist der 10-min-ODL-Mittelwert in Nanosievert pro Stunde [nSv/h] über den Zeitraum von drei Tagen Ende Oktober. An diesen Tagen ging in der ganzen Schweiz starker Regen nieder, in Davos waren dies über 110 mm Regen innerhalb von 72 Stunden. Die 10-min-Niederschlagswerte sind blau, deren integrierte Summe grün aufgetragen und auf der Innen- bzw. Aussenseite der rechten y-Achse skaliert.

Deutlich sichtbar sind ODL-Peaks, die jeweils bei Niederschlägen auftreten. Die klare Korrelation rührt daher, dass sich radioaktive Elemente bei trockenem Wetter als Feinstaubpartikel in der Atmosphäre verteilen, die dann bei einsetzendem Niederschlag aus der Luft ausgewaschen und am Boden deponiert werden und dort zunächst zu erhöhten Werten führen, bevor sie schliesslich versickern oder abfliessen. Die Intensität des ODL-Anstiegs ist dabei weniger von der Niederschlagsmenge abhängig, sondern eher davon, welche Stoffe bei Niederschlagsbeginn in der Atmosphäre vorhanden waren. Nach längeren Trockenperioden werden bei einsetzendem Regen somit höhere ODL Peaks gemessen, als wenn kurz zuvor schon Niederschlag stattgefunden hat. Daher wurde ein starker ODL-Anstieg verzeichnet, als es am 29.10.2018 zu regnen begann, jedoch keine höheren ODL Werte beim stärkeren Regen einige Stunden später, und nur ein geringer Anstieg beim heftigsten Regenpeak im betrachteten Zeitraum, am 30.10.2018 kurz vor 18:00 Uhr. Zudem ist in dieser Darstellung klar zu erkennen, dass nach den knapp 70 mm Niederschlag vom 27. und 28.10.2018 die Untergrund-ODL von ungefähr 160 nSv/h auf rund 140 nSv/h zurückging, weil radioaktives Material versickert oder weggespült war und das nasse Erdreich die Strahlung aus dem Boden stärker abschirmte.

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

Wenn über kurze Zeiträume höhere oder tiefere Werte gemessen werden, beeinflusst dies den Jahresmittelwert, jedoch bleibt der häufigste Messwert ähnlich, sofern noch genügend Messungen aus Perioden ohne diese Einflüsse vorhanden sind. Dies kann aufgrund der Schneedecke der Fall sein, welche den terrestrischen Anteil der Strahlung über eine gewisse Dauer teilweise abschirmt. Daher liegt etwa in Davos der Jahresmittelwert rund 12% tiefer als der häufigste Messwert, auf den Stationen San Bernardino und Gütsch ob Andermatt beträgt dieser Unterschied gar 13% respektive 20% (Tabelle 1). Hält die Schneedecke besonders lange an, kann sie auch den umgekehrten Effekt zur Folge haben, nämlich, dass der häufigste Wert unter dem Jahresmittelwert zu liegen kommt. Dies war im Jahr 2018 auf dem Grossen Sankt Bernhard der Fall (häufigster Wert 7% tiefer als Jahresmittelwert), ebenso in Ulrichen, wo die reduzierten ODL-Werte besonders stabil waren, was dazu führt, dass der häufigste Wert 56% unter dem Jahresmittelwert liegt. In überwiegend schneefreien Gebieten sind der häufigste Messwert und der Jahresmittelwert sehr ähnlich.

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 des Herstellers Envinet (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 ≤ 50 mikroSv/h grösser als 7% oder bei Dosisleistungen > 50 mikroSv/h grösser als 15% ist, wird ein Korrektorkoeffizient 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 ausgetauscht. Somit können sich die Dosisleistungswerte von zwei verschiedenen Sonden (verschiedene Seriennummern) am gleichen Standort bei einem Messwert von 100 nSv/h um höchstens 15 nSv/h unterscheiden. Bei technischen Defekten werden die Sonden ausgetauscht, 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.

Die NAZ verfügt insgesamt über 116 Sonden für den ortsfesten Betrieb an den 76 NADAM-Standorten. Der grösste Teil davon ist auf den Stationen im Einsatz, einige müssen repariert werden oder befinden sich in der Eichung. Daneben stehen einsatzbereite Ersatzsonden an vier Wartungsstandorten von MeteoSchweiz bereit.

Jede Sonde wird mindestens alle 12 Monate geprüft. An den Standorten Piotta und San Bernardino war jeweils nach einem Austausch ein zweiter Sondentest nötig, somit wurden im Jahr 2018 insgesamt 78 Sondentests durchgeführt. Die NADAM-Sonden sind stabil und zuverlässig.

Zudem besitzt die NAZ 30 zusätzliche, mobile NADAM-Sonden, mit denen das NADAM-Netz bei Bedarf punktuell verdichtet werden kann. Die mobilen verfügen über die gleiche Sensorik wie die ortsfesten Sonden, sind aber für einen autarken Betrieb mit Solarpanel und Batterie ausgerüstet und übermitteln die Messdaten über das Mobilfunknetz.

Eine wesentliche Änderung des NADAM-Netzes steht für die Jahre 2019 und 2020 bevor. Weil der Hersteller angekündigt hat, die technische Unterstützung der bisherigen Sonden einzustellen und weil die mobilen Sonden nicht mit neuen Mobilfunkstandards kompatibel sind, müssen alle NADAM-Sonden bis Ende 2020 ersetzt werden. Es wurde eine WTO-Ausschreibung durchgeführt, zusammen mit dem ENSI, das im MADUK-Netz mit dem gleichen Sondentyp die Ortsdosisleistung in der Umgebung der Schweizer Kernanlagen überwacht. Den Zuschlag für die Lieferung der neuen Sonden hat die Bertin GmbH erhalten. Der Zeitplan sieht vor, dass im Laufe des Jahres 2019 Prototypen der neuen Sonden getestet und bis Ende 2020 alle Sonden der NADAM- und MADUK-Netze ersetzt werden.

Station	Kanton	Datum der Inbetriebnahme	Höhe [m ü.M.]	Jahresmittelwert [nSv/h]	Häufigster Wert [nSv/h]	Minimum [nSv/h]	Maximum [nSv/h]
Aadorf-Tänikon (TAE)	TG	03.12.09	539	98	96	82	238
Adelboden (ABO)	BE	04.11.09	1322	110	118	77	190
Aigle (AIG)	VD	09.09.09	382	120	119	101	210
Altdorf (ALT)	UR	28.10.09	439	131	128	106	245
Basel-Binningen (BAS)	BS	19.11.09	317	118	116	99	213
Beznau (BEZ)	AG	19.11.09	327	105	104	87	221
Bière (BIE)	VD	12.01.17	684	101	100	83	183
Buchs/Aarau (BUS)	AG	20.11.09	388	102	100	84	231
Bullet-La Frétaz (FRE)	VD	24.09.09	1206	123	131	85	219
Cham (CHZ)	ZG	29.01.18	442	107	105	89	233
Chasseral (CHA)	BE	17.09.09	1594	114	117	83	317
La Chaux de Fonds (CDF)	NE	17.09.09	1018	129	129	84	235
Chur (CHU)	GR	09.10.09	557	116	114	89	212
Col du Grand St Bernard (GSB)	VS	09.09.09	2491	131	122	99	207
Cressier (CRM)	NE	03.11.16	431	88	86	71	180
Davos (DAV)	GR	08.10.09	1589	138	157	74	256
Delémont (DEM)	JU	03.11.16	439	122	118	102	257
Disentis/Sedrun (DIS)	GR	28.10.09	1197	109	112	74	219
La Dôle (DOL)	VD	23.09.09	1670	113	117	80	197
Egolzwil (EGO)	LU	22.09.10	523	105	103	89	229
Engelberg (ENG)	OW	30.10.09	1035	90	90	64	205
Fahy/Boncourt (FAH)	JU	14.10.09	597	129	125	100	225
Fribourg-Posieux (GRA)	FR	13.01.17	646	111	109	92	229
Génève (GVE)	GE	24.09.09	412	112	111	92	200
Glarus (GLA)	GL	02.12.09	518	104	102	79	273
Gösgen (GOE)	SO	20.11.09	381	107	106	91	216
Grenchen (GRE)	SO	06.12.10	431	94	92	67	208
Gütsch ob Andermatt (GUE)	UR	01.09.05	2296	148	189	94	268
Güttingen (GUT)	TG	03.12.09	441	112	111	88	251
Hallau (HLL)	SH	29.01.18	419	132	131	110	244
Hörnli (HOE)	ZH	12.11.09	1133	97	96	82	220
Jungfrau-Joch (JUN)	VS	29.09.09	3581	194	188	167	275
Kloten/Zürich (KLO)	ZH	24.11.09	427	117	115	91	264
Koppigen (KOP)	BE	13.01.17	484	123	121	103	250
Leibstadt (LEI)	AG	19.11.09	342	102	99	83	232
Locarno-Monti (OTL)	TI	22.10.09	368	154	149	127	267
Lugano (LUG)	TI	21.10.09	273	130	129	111	209
Luzern (LUZ)	LU	05.11.09	455	111	108	92	253
Magadino-Cadenazzo (MAG)	TI	22.10.09	204	134	132	87	387
Meiringen (MER)	BE	06.10.11	590	137	136	109	299
Möhligen (MOE)	AG	09.20.10	341	121	117	100	250
Le Moléson (MLS)	FR	19.08.09	1975	109	113	81	212
Mosen (MOA)	LU	29.01.18	452	99	98	83	243
Mühleberg (MUB)	BE	15.10.09	481	120	117	93	196
Napf (NAP)	BE	05.11.09	1405	105	111	69	206
Neuchâtel (NEU)	NE	10.12.09	485	102	101	86	234
Nyon-Changins (CGI)	VD	23.09.09	459	120	117	101	248
Oron (ORO)	VD	29.02.12	828	115	113	95	213
Paul Scherrer Institut (PSI)	AG	27.07.11	335	107	104	87	201
Payerne (PAY)	VD	13.08.09	490	104	104	85	227
Piotta (PIO)	TI	29.10.09	990	153	165	83	325
Plaffeien (PLF)	FR	14.08.09	1043	113	112	94	202
Poschiavo-Robbia (ROB)	GR	07.10.09	1079	165	169	100	319
Pully (PUY)	VD	23.09.09	456	122	122	101	216
Rünenberg (RUE)	BL	20.11.09	612	101	99	85	193
Samedan (SAM)	GR	25.08.09	1710	149	162	93	324
San Bernardino (SBE)	GR	29.10.09	1640	132	152	72	316
Santa Maria (SMM)	GR	15.12.11	1385	142	157	83	352
Säntis (SAE)	AI	11.11.09	2503	126	125	101	209
Schaffhausen (SHA)	SH	04.12.09	439	104	99	85	206
Scuol (SCU)	GR	27.08.09	1305	120	125	78	284
Sion (SIO)	VS	10.09.09	482	126	124	86	326
St. Gallen (STG)	SG	12.11.09	777	101	99	84	236
Stabio (SBO)	TI	21.10.09	352	140	139	115	259
Thun (THU)	BE	29.01.18	570	95	93	79	191
Ulrichen (ULR)	VS	04.11.09	1347	133	59	48	324
Vaduz (VAD)	FL	03.12.09	458	107	106	88	252
Vicosoprano (VIO)	GR	06.02.13	1089	186	205	91	331
Villars-Tiercelin (VIT)	VD	29.01.18	859	125	124	102	233
Visp (VIS)	VS	11.09.09	640	127	126	86	263
Wädenswil (WAE)	ZH	02.12.09	487	114	112	92	277
Wynau (WYN)	BE	15.10.09	423	103	100	83	212
Zermatt (ZER)	VS	11.09.09	1640	123	137	72	209
Zollikofen/Bern (BER)	BE	30.09.09	554	115	115	97	217
Zürich-Affoltern (REH)	ZH	13.11.09	444	110	107	91	271
Zürich-Fluntern (SMA)	ZH	24.11.09	557	116	115	99	220

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 2018 aufgeführt.

3.3

Aeroradiometrische Messungen

B. Bucher

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Industriestrasse 19, Brugg

G. Butterweck

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Paul Scherrer Institut, Villigen PSI

L. Rybach

Institut für Geophysik, ETH Zürich, Zürich

Zusammenfassung

Bei den Messflügen Ende Mai anfangs Juni 2018 wurde turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) sowie der Forschungseinrichtungen des PSI und der Zwischenlager AG (ZWILAG) abgedeckt.

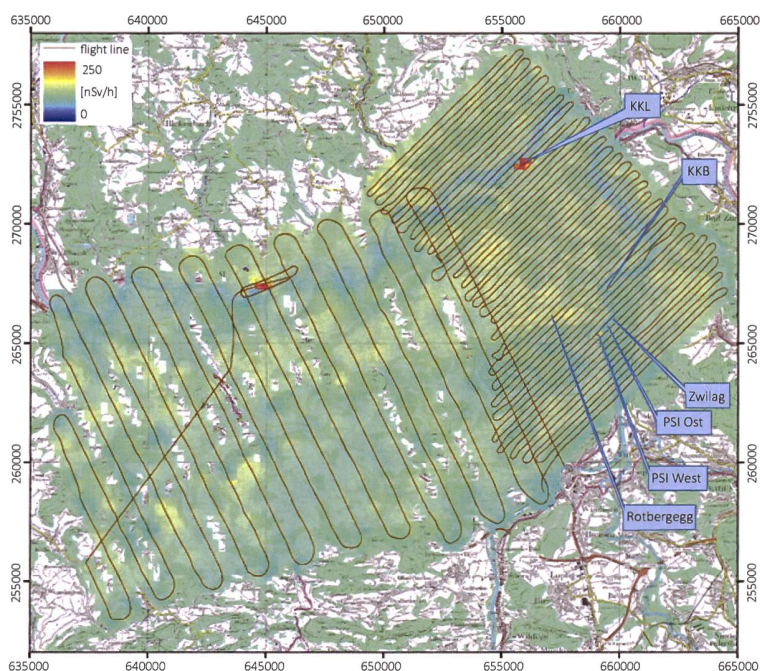
Die Messresultate in den Messgebieten KKB und KKL zeigten ein ähnliches Bild wie in früheren Jahren. Das KKB konnte nicht detektiert werden. Beim KKL konnte wie in früheren Jahren die gestreute, hochenergetische Photonenstrahlung des Radionuklids ^{16}N detektiert werden. Beim PSI-West befand sich die Beschleunigeranlage im Shutdown und die Abschirmungen waren deshalb geöffnet. Entsprechend konnte ein Signal von ^{60}Co detektiert werden. Das ZWILAG sowie PSI-Ost konnten radiometrisch nicht detektiert 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.

Einleitung

Aeroradiometrische Messungen wurden in der Schweiz im Jahr 1986 mit einem geophysikalischen Projekt am Institut für Geophysik der ETH Zürich aufgenommen. Die grundlegende Methodik für Datenerfassung, Datenverarbeitung, Kalibrierung und Kartendarstellung wurden innerhalb dieses Projektes entwickelt (Schwarz 1991). Seit 1989 wird die Umgebung der schweizerischen Kernanlagen mindestens im Zweijahresrhythmus vermessen.

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).



Figur 1:
Ortsdosisleistung 2018 im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG.
Kartendaten PK100 © Bundesamt für Landestopografie.

Mit den Messflügen 2018 erfolgte die Ablösung der alten Messsysteme durch ein Messsystem der Firma Mirion, welches durch die RUAG im Super Puma Helikopter der Schweizer Luftwaffe integriert wurde. Das neue Messsystem wurde in den vorangehenden Messübungen eingehend getestet und die Ergebnisse mit denen des alten Systems verifiziert. Es stehen nun vier Messsysteme für die Aufgaben der NAZ sowie des Kompetenzzentrums ABC KAMIR der Armee zur Verfügung. Wartung und Unterhalt erfolgt durch die Lieferanten.

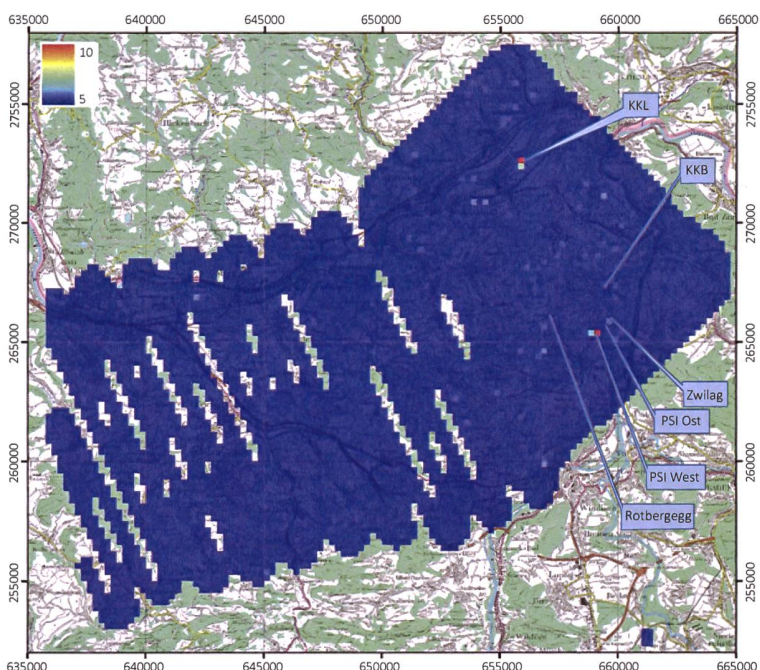
Im Jahre 2010 (Bucher et. al, 2010) wurde mit Hilfe der Auswertung der Langzeitdaten die Nachweisgrenze der Messmethode ermittelt: $0.02 \mu\text{Sv/h}$ werden in 95 von 100 Fällen erkannt (Vertrauensbereich 95%). Dies entspricht ungefähr 20% der natürlichen externen Strahlung.

Messungen und Messresultate 2018

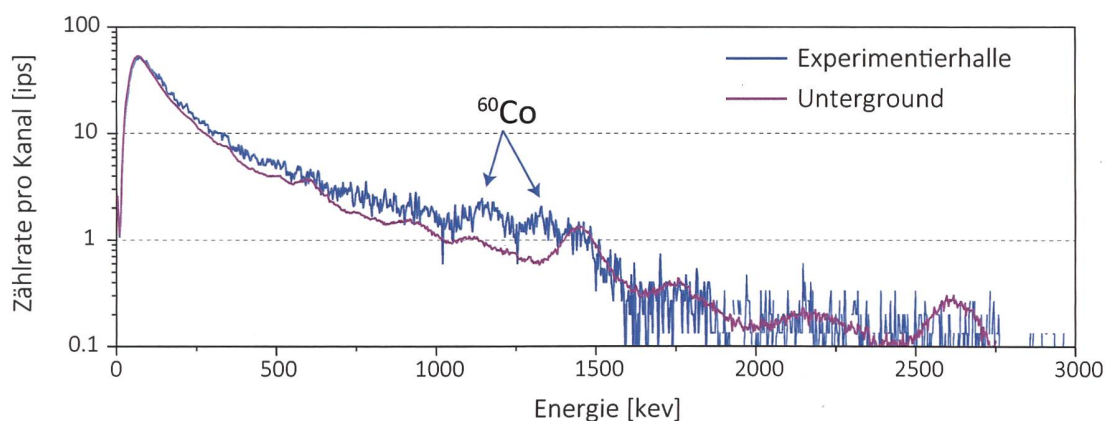
Vom 28. Mai bis 1. Juni 2018 wurde turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL), der Forschungseinrichtung Paul Scherrer Institut (PSI) sowie der Zwischenlager AG (ZWILAG) gemessen. Das Messareal wurde 2018 um die Messungen über den Sektoren 4 und 5 der Zone 2 von KKL und KKB und auf Wunsch der deutschen Behörden um einen Streifen nördlich des Rheins erweitert.

Die Messresultate im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegangenen Messkampagnen. Im Bereich des KKB sind keine besonderen Werte bei der Ortsdosisleistung (Figur 1) zu erkennen. KKB mit seinem Druckwasserreaktor konnte aeroradiometrisch weder aufgrund der Ortsdosisleistung (Figur 1) noch aufgrund des MMGC-Verhältnisses (Figur 2) erkannt werden. Das MMGC-Verhältnis steht für den Quotienten der Zählraten im Energiebereich von $400 - 1'400 \text{ keV}$ und $1'400 - 3'000 \text{ keV}$. Da die meisten Spaltprodukte Gammalinien im Energiebereich unterhalb von $1'400 \text{ keV}$ aufweisen, stellt das MMGC-Verhältnis ein empfindliches Instrument zur Lokalisierung künstlicher Radionuklide dar.

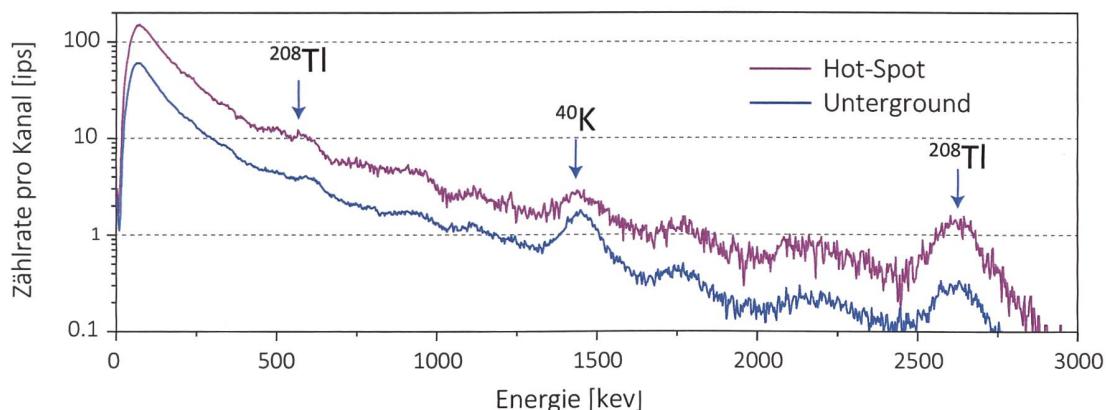
Im Gegensatz zu KKB können am Standort von KKL in der Figur 1 erhöhte Messwerte erkannt werden. Das KKL mit seinem Siedewasserreak-



Figur 2:
MMGC-Verhältnis 2018 im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG.
Kartendaten PK100 © Bundesamt für Landestopografie.



Figur 3:
Gemittelttes Spektrum über der Experimentierhalle PSI West im Vergleich zum Untergrund.



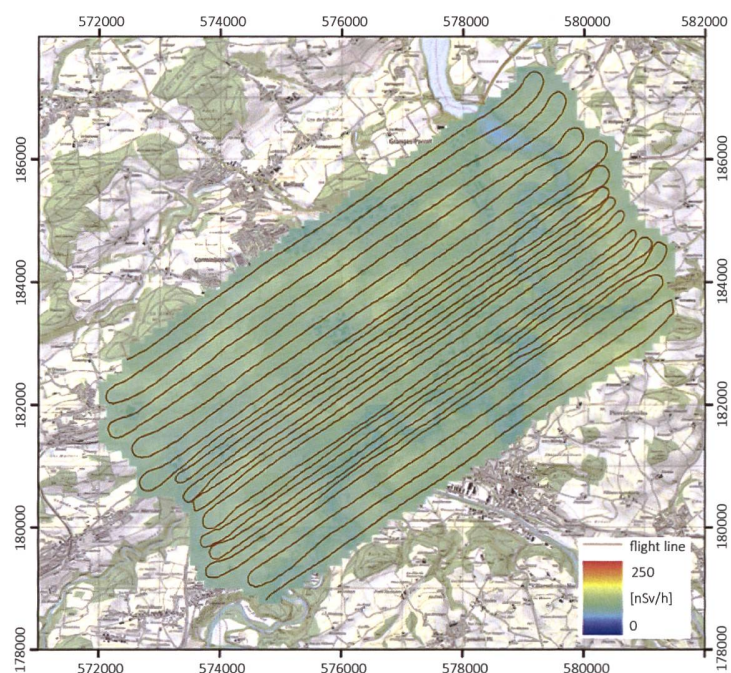
Figur 4:
Gemittelttes Spektrum über dem Hot-Spot auf deutschem Gebiet im Vergleich zum Untergrund.

tor konnte anhand gestreuter, hochenergetischer Photonenstrahlung wie in früheren Jahren 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. Die hochenergetische Gammastrahlung führt über Paarbildung und die damit verbundene Annihilationsstrahlung auch zu einem Peak bei 511 keV im Spektrum. Die Strahlung macht sich auch im MMGC-Verhältnis bemerkbar (Figur 2).

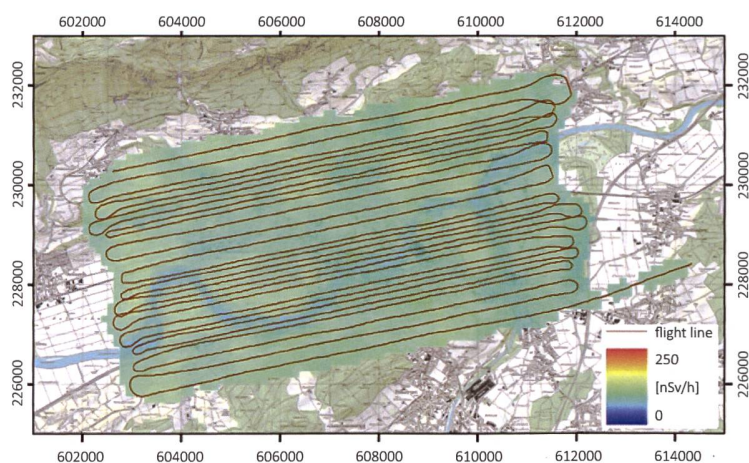
Im MMGC-Verhältnis (Figur 2) ist auch beim PSI West eine Erhöhung zu erkennen. Zum Zeitpunkt der Messflüge befand sich der Protonen-Beschleuniger aufgrund von Wartungsarbeiten im Stillstand. Für diese Wartungsarbeiten wurden die Abschirmungen geöffnet. Deshalb konnte ^{60}Co im Spektrum (Figur 3) identifiziert werden, das durch Aktivierung von Stahl entsteht.

Ausserhalb der Betriebsareale der Kernanlagen sind im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG keine erhöhten Werte erkennbar. Unterschiede sind auf Einflüsse der Topografie wie Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen.

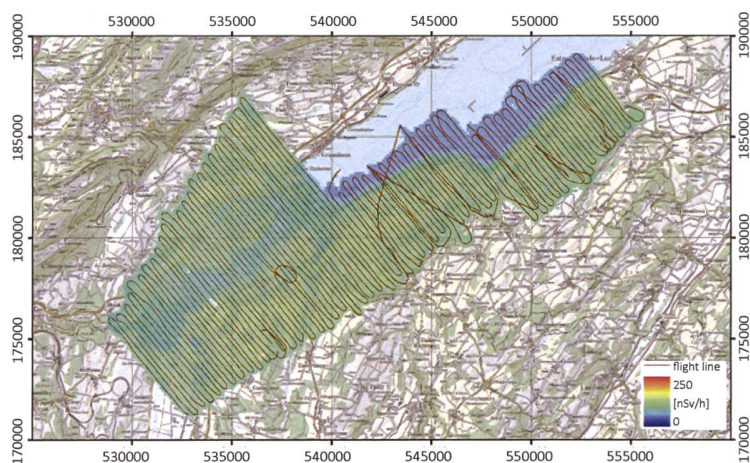
Im Messgebiet der Sektoren 4 und 5 der Zone 2 von KKL und KKB wurde auf deutscher Seite des Rheins ein Hot-Spot der Ortsdosisleistung (Figur 1, Koordinaten 644'887, 267'409) detektiert. Das MMGC-Verhältnis am Ort der erhöhten Dosisleistung (Figur 2) weist nicht auf künstliche Radionuklide als Ursache der Erhöhung hin. Das über dem Hot-Spot (Figur 4) gemessene Spektrum zeigt eindeutig Photonen-Emissionen des Radionuklids ^{208}Tl bei 583 keV und 2'615 keV. Dieses Radionuklid stammt aus der natürlichen Thorium-Zerfallsreihe. Am Ort des Hot-Spots ist eine Firma registriert, die Zirkon-Mineralien industriell verarbeitet. In Verbindung mit Zirkon-Mineralien treten häufig auch natürlich vorkommende Radionuklide (NORM) insbesondere aus der Thorium-Reihe auf.



Figur 5:
Ortsdosisleistung 2018 im Messgebiet um Fribourg. Kartendaten PK100 © Bundesamt für Landestopografie.



Figur 6:
Ortsdosisleistung 2018 im Messgebiet um Solothurn. Kartendaten PK100 © Bundesamt für Landestopografie.



Figur 7:
Ortsdosisleistung 2018 im Messgebiet um Yverdon-les-Bains. Kartendaten PK100 © Bundesamt für Landestopografie.

Die Messflüge zur Erfassung des Untergrunds über Schweizer Städten wurden in 2018 mit Fribourg (Figur 5), Solothurn (Figur 6) und Yverdon-les-Bains (Figur 7) fortgesetzt. Dabei wurden bei Yverdon-les-Bains erstmals auch Messflüge des KompZen ABC-Kamir der Schweizer Armee eingebunden, welche mit einem identischen Messsystem durchgeführt werden. Die Abschwächung der terrestrischen Strahlung durch das Wasser der Seen und Flüsse ist in allen Ergebnissen erkennbar.

Im Rahmen der Messflüge 2018 wurden zusätzlich noch ein Gebiet am Mont Vully, ein Profil von Bern nach Kandersteg und ein Steigflug über dem Genfersee gemessen.

Zusammen mit einem Bodenteam des Labors Spiez nahm die Aeroradiometrie an der internationalen RANET-Übung CONTEX 2018 in Dänemark teil. Die detaillierten Ergebnisse sämtlicher Messungen werden in einem PSI-Bericht im Verlauf des Jahres 2019 veröffentlicht.

Literatur

- Schwarz, G. F., 1991: Methodische Entwicklungen zur Aerogammaspektrometrie. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geophysik Nr.23, Schweizerische Geophysikalische Kommission.
- 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.

