

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:	- (2019)
Rubrik:	Rayonnement externe = Externe Strahlung

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

Rayonnement externe Externe Strahlung

2019

- Mesures in situ & exposition externe
- Réseau NADAM
- Mesures d'aéroradiométrie
- In situ Messungen
- Netzwerk NADAM
- Aeroradiometrische Messungen

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 2019, les mesures de spectrométrie in situ ont essentiellement porté sur le voisinage des installations 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 2019 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 le débit d'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 le débit d'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 ^{238}U et du ^{232}Th ainsi que pour le ^{40}K et le ^{137}Cs , 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 (^{40}K , séries ^{238}U et ^{232}Th), évaluées pour une distribution homogène de ces radionucléides dans le sol, avec la contribution du rayonnement cosmique calculée à l'altitude du site. Notons que la formule permettant de calculer la contribution du rayonnement cosmique au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ a également du être adaptée par rapport à celle anciennement utilisée pour le débit de kerma dans l'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 ^{238}U et du ^{232}Th ainsi que pour le ^{40}K et le ^{137}Cs , 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/documents/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 2019

En 2019, 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 2019, le col du Susten et les cinq nouveaux emplacements des stations du réseau NADAM. Cette méthode a également été utilisée lors de l'exercice général d'urgence GNU19.

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, 3 et 4 pour les principaux sites suisses examinés en 2019. 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, du PSI et du ZWILAG 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 2019 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) 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.

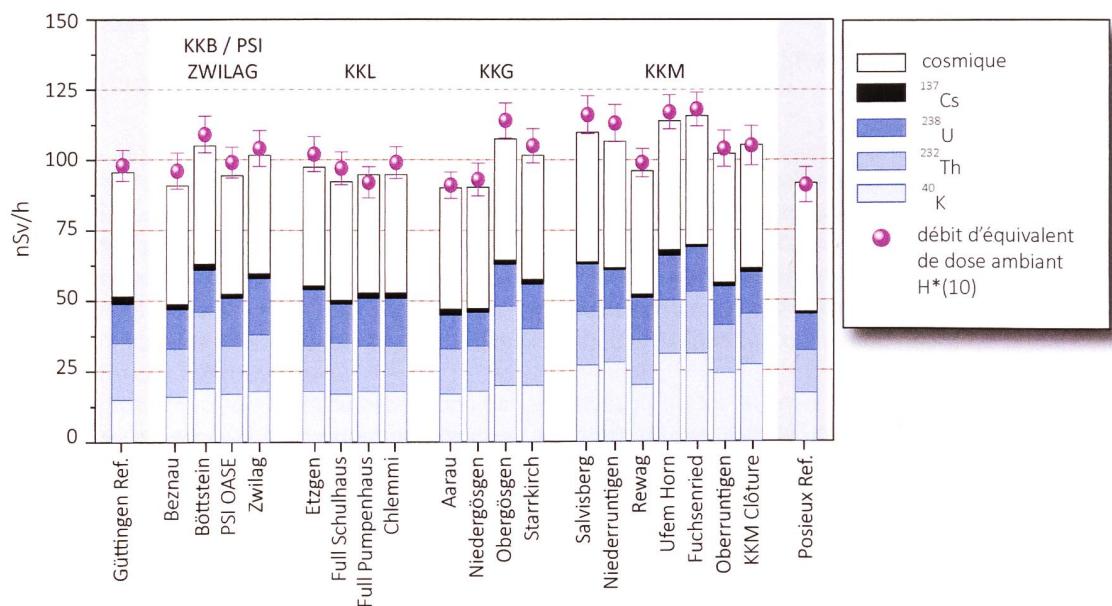


Figure 1:

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 2019 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) 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.

La situation radiologique au voisinage de la centrale nucléaire de Mühleberg, qui a été 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. 2). En effet, contrairement à un rejet éventuel par voie atmosphérique tel qu'il pourrait se produire en période d'exploitation, l'éventuel impact des travaux de désaffectation devrait être localisé dans un périmètre plus restreint.

La figure 2 indique l'emplacement des sept sites examinés en 2019 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.

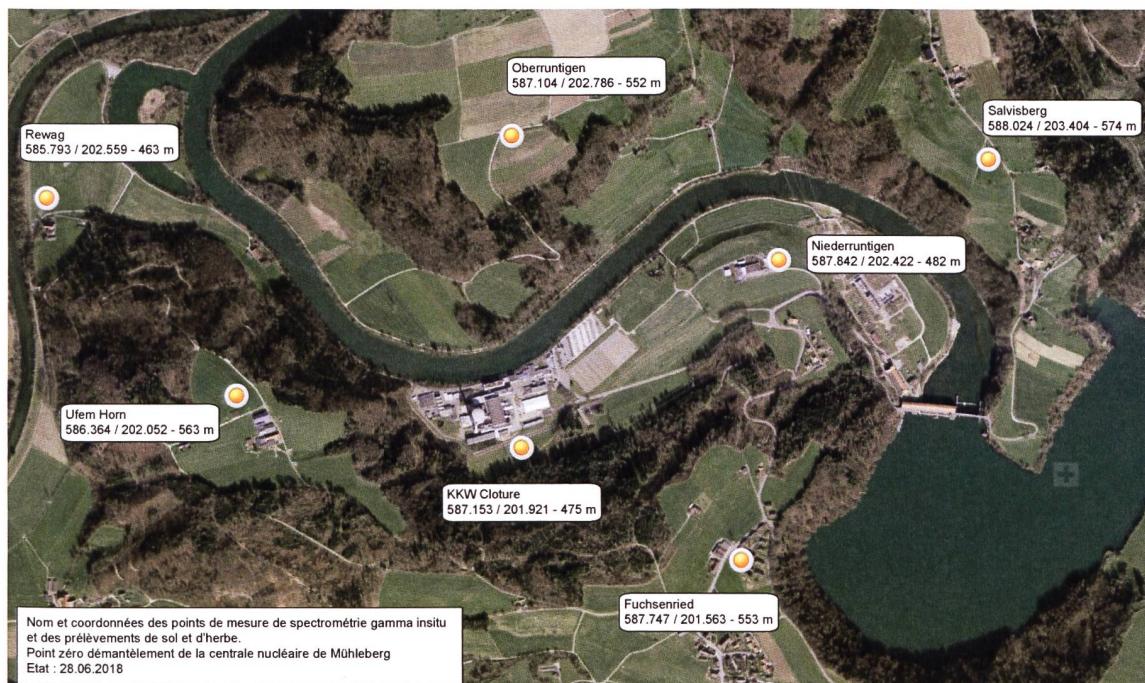


Figure 2:
Emplacement des 7 sites de mesure de spectrométrie gamma in situ et de prélèvement de sol et de végétation dans la région de la centrale nucléaire de Mühleberg en 2019.

Comme en 2017 et 2018 aucune différence notable n'a pu être remarquée entre les sites de la surveillance habituelle et les valeurs mesurées aux 3 points supplémentaires (fig. 1). A noter que 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 3 montre les résultats des mesures in situ réalisées au voisinage du CERN en 2019. Ces résultats ne se distinguent pas de ceux enregistrés sur le site de référence de Posieux. Notons que pour l'année 2019 aucune trace d' ^{41}Ar dans l'air n'a été décelée dans l'enceinte du centre de recherche (BAT 588) contrairement aux années précédentes. Ce gaz rare de courte période (demi-vie de 109.6 minutes) est produit dans les

4.3.2. Mesures de la dose équivalente à l'air ambiant

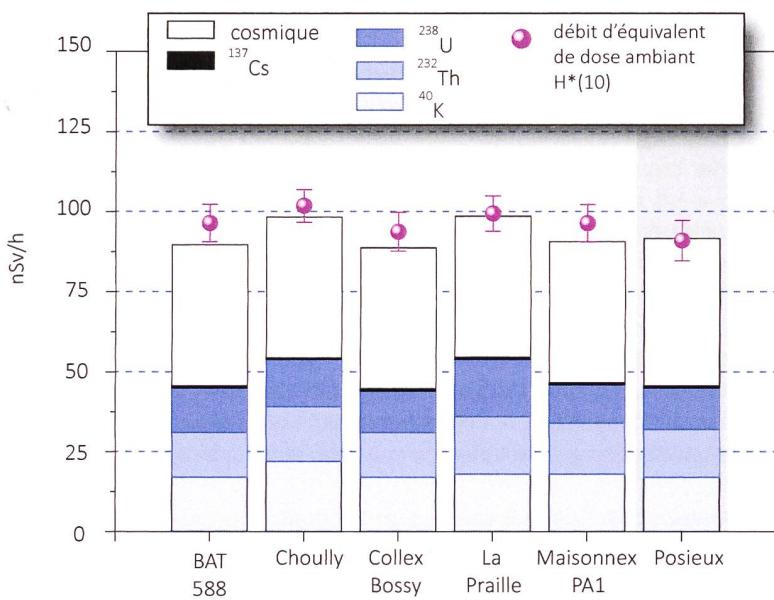


Figure 3:

Contributions individuelles au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ calculées à partir des spectres in situ (distribution supposée homogène des radionucléides dans le sol) mesurés en 2019 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.

mis en évidence aucun radionucléide d'origine artificielle sur ces sites. A noter que le débit d'équivalent de dose le plus élevé a, comme attendu, été mesuré au col du Susten (2'260 m d'altitude) où le rayonnement cosmique⁵ est presque doublé par rapport aux sites de plaine.

⁵ formule de calcul de la contribution du rayonnement cosmique - page 39

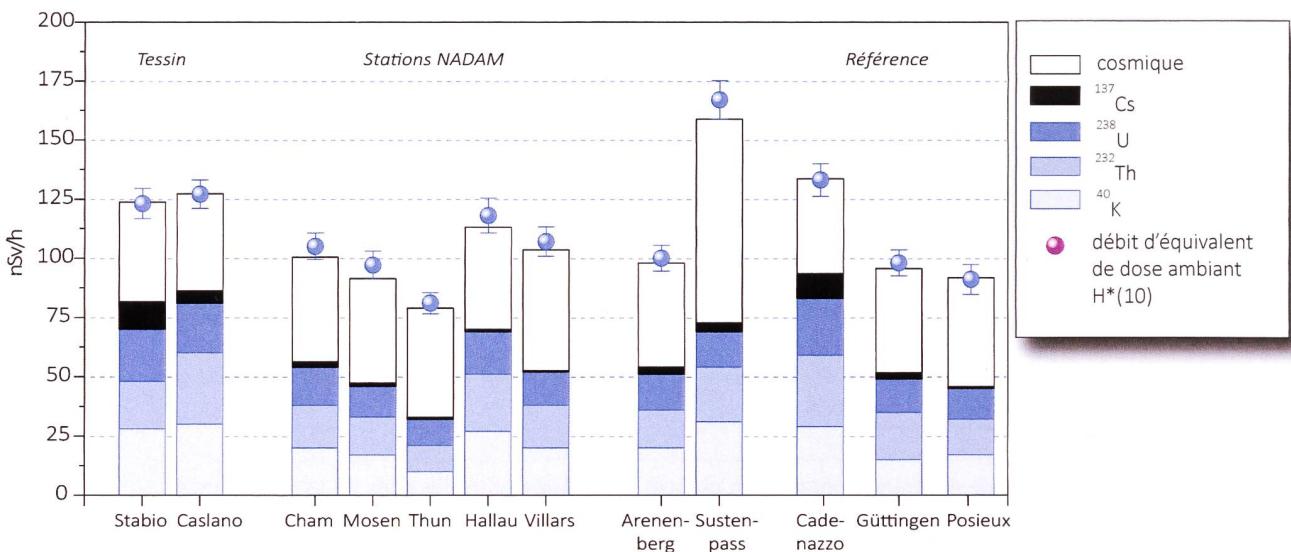


Figure 4:

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 en 2019 au Tessin, aux cinq nouvelles stations NADAM, à Arenenberg et au col du Susten ainsi que sur les trois sites de référence. La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ avec chambre d'ionisation est également représentée.

accélérateurs du centre de recherche et l'arrêt prolongé des installations du CERN en 2019 explique cette absence.

En plus du suivi des contaminations rémanentes en ¹³⁷Cs au Tessin, un certains nombres de sites supplémentaires ont été examinés en 2019, comme le col du Susten ou encore 5 nouveaux sites NADAM. Dans la mesure du possible, une mesure par spectrométrie gamma in situ est en effet effectuée pour toute nouvelle station NADAM (Cham/ZG, Hallau/SH, Mosen/LU, Thun/BE et Villars-Tiercellin/VD). Le site d'Arenenberg/TG a été également examiné en 2019. Les mesures in situ ainsi qu'un prélèvement de végétation et de sol annuel seront reconduites les années prochaines sur ce site.

La figure 4 montre les résultats des mesures effectuées au Tessin et sur les sites supplémentaires mesurés en 2019. Hormis des traces de ¹³⁷Cs, plus importantes dans le Nord-Est de la Suisse (Güttingen, Arenenberg) en raison de retombées plus importantes de Tchernobyl par rapport à l'ouest ou au centre de la Suisse (Thun, Villars), les résultats des mesures in situ n'ont

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 4, 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 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 %.

Conclusions

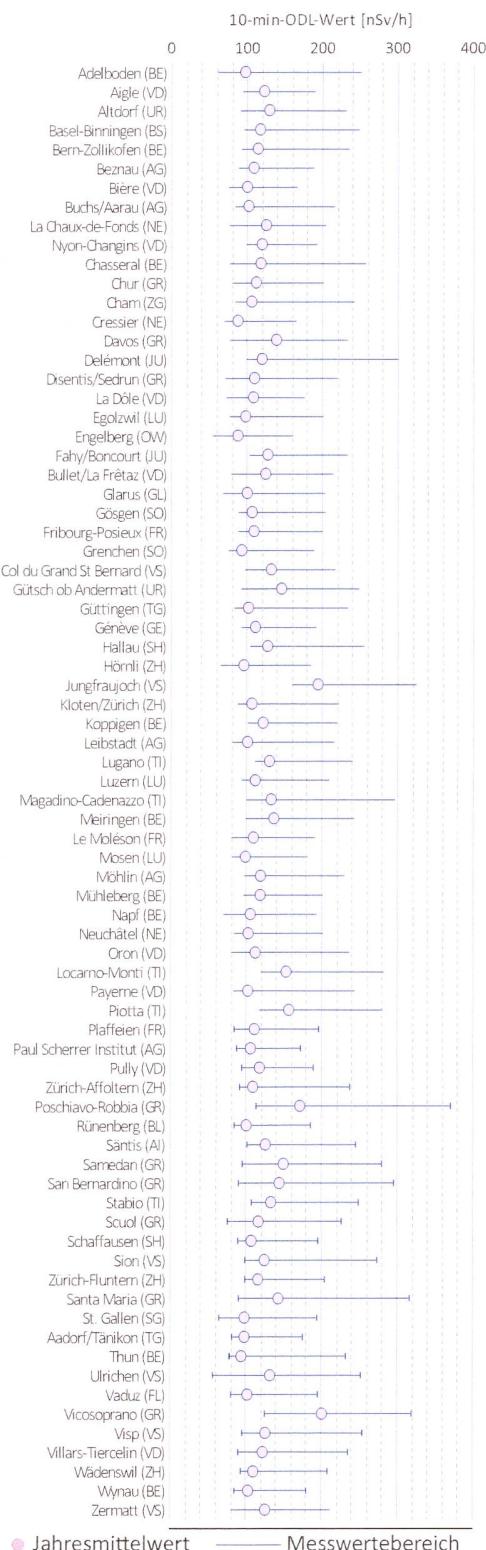
Les mesures de spectrométrie gamma in situ réalisées par l'OFSP en 2019 ont permis de caractériser les sites d'intérêt du point de vue de leur composition en radionucléides gamma et des contributions individuelles au débit d'exposition qui en résultent pour le public. Le champ d'application de ces mesures a visé à répondre à des objectifs d'ordre réglementaire (voisinage des installations nucléaires suisses) et d'ordre radioécologique (suivi des contaminations ^{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.

3.2

Die automatische Überwachung der Ortsdosisleistung mit NADAM



Adrian Hess, Franziskus Stoffel, Cristina Poretti

Nationale Alarmzentrale NAZ,
Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS,
Guisanplatz 1B, 3003 Bern

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 allfälliger zuordnender Schutzmassnahmen.

Im Jahr 2019 wurden keine Werte gemessen, die auf eine erhöhte Strahlenbelastung der Bevölkerung schliessen lassen.

Einleitung

Die Nationale Alarmzentrale (NAZ) ist die Fachstelle des Bundes für ausserordentliche Ereignisse. Im Ereignisfall muss die NAZ Behörden warnen und orientieren, Bundesstellen und Kantone informieren und den Kontakt mit internationalen Behörden sicherstellen. Im Bereich «erhöhte Radioaktivität» hat sie besonders umfangreiche Aufgaben. Ein zentrales Element ist die Probenahme- und Messorganisation des Bundes, welche durch die NAZ koordiniert und eingesetzt wird und ihr den Zugriff auf ein umfangreiches Netzwerk von eigenen und fremden Ressourcen ermöglicht. Gemäss der Verordnung über die Nationale Alarmzentrale (VNAZ, SR520.18) betreibt sie dafür unter anderem das NADAM-Messnetz zur ständigen Überwachung der Radioaktivität und als Frühwarnsystem. Eine Überschreitung der Alarmschwelle

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 2019.

(1 mikroSv/h) löst in der NAZ eine Alarrrnung aus. Dort wird der Wert verifiziert (Ausschluss von technischen Problemen, Überprüfung der meteorologischen Daten und Vergleich mit Nachbarstationen). Bei Bedarf werden weitere Messmittel für Abklärungen vor Ort aufgeboten, zum Beispiel kann die Kantonale Messunterstützung zugunsten der NAZ (KAMU NAZ) für Kontrollmessungen vor Ort aufgeboten werden. Bei einem radiologischen Ereignis kann die NAZ so rasch das gefährdete Gebiet bestimmen, Behörden des betroffenen Kantons orientieren und bei unmittelbarer Gefährdung zudem die Alarmierung und Sofortmassnahmen zum Schutz der Bevölkerung anordnen.

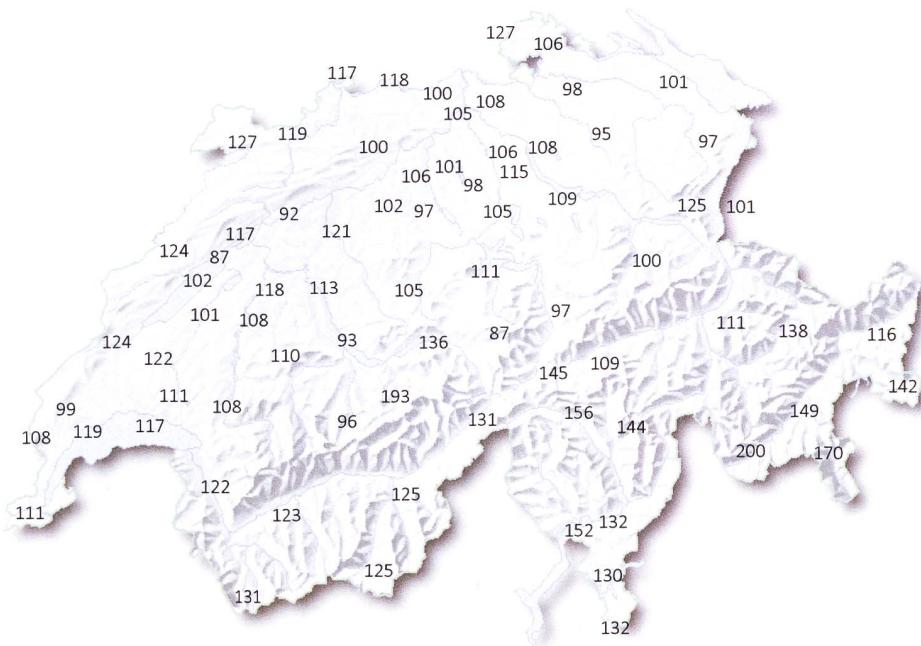
Die permanente Überwachung der externen Strahlung in der Schweiz wird von den 76 über die ganze Schweiz verteilten NADAM-Stationen garantiert. Diese befinden sich bei den Wetterstationen der MeteoSchweiz und liefern alle zehn Minuten Daten zur Ortsdosiseleistung (ODL, H*(10)). In Ergänzung zu den ODL-Daten sind damit auch Wetterdaten verfügbar, die wichtige Zusatzinformationen für die Interpretation der Messwerte liefern.

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

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 der NAZ zu übermitteln. Mit dieser Redundanz ist die Ausfallsicherheit der Datenübertragung erhöht, insbesondere da im Fall einer Katastrophe die terrestrischen Kommunikationsnetze beeinträchtigt sein könnten.

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 2019 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.



Figur 2:

Karte mit den Jahresmittelwerten 2019 aller NADAM-Sonden in Nanosievert pro Stunde, basierend auf den 10 min-Werten. Der Jahresmittelwert der Ortsdosiseleistung variiert je nach Standort zwischen 87 nSv/h in Engelberg und 200 nSv/h in Vicosoprano im Bergell.

Jahresmittelwerte und Erfahrungsbereiche 2019

Die ODL-Jahresmittelwerte und die Maxima und Minima der 10-Minuten-Werte aller Stationen sind in Figur 1 dargestellt. Im Vergleich mit den Messresultaten des letzten Jahres fällt auf, dass weniger Maximalwerte über 300 nSv/h liegen. Im ausserordentlich trockenen Herbst 2018 hatte es jeweils während oder kurz nach Regenfällen, die auf besonders lange Trockenperioden gefolgt waren, an zehn Standorten ungewöhnlich viele Maximalwerte über diesem Wert gegeben. Im Folgejahr wurde der Wert von 300 nSv/h nun bei einer Sonde (Delémont) gerade erreicht und auf vier Messstationen (Jungfraujoch, Poschiavo Robbia, Santa Maria, und Vicosoprano) überschritten. Damit entsprach 2019 das Auftreten dieser Spitzenwerte, verteilt über einen grösseren Zeitraum vom April bis November, wieder den langjährigen Beobachtungen. Wie gewohnt wurden diese Werte jeweils während oder kurz nach Niederschlägen gemessen, wenn natürlicherweise in der Luft befindliche radioaktive Partikel ausgewaschen und am Boden, d.h. in Sondennähe, deponiert wurden.

Als Erfahrungsbereich einer Station gilt bei der NAZ derjenige 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. Dieser Erfahrungsbereich wird für jede Station jährlich überprüft und wo nötig angepasst.

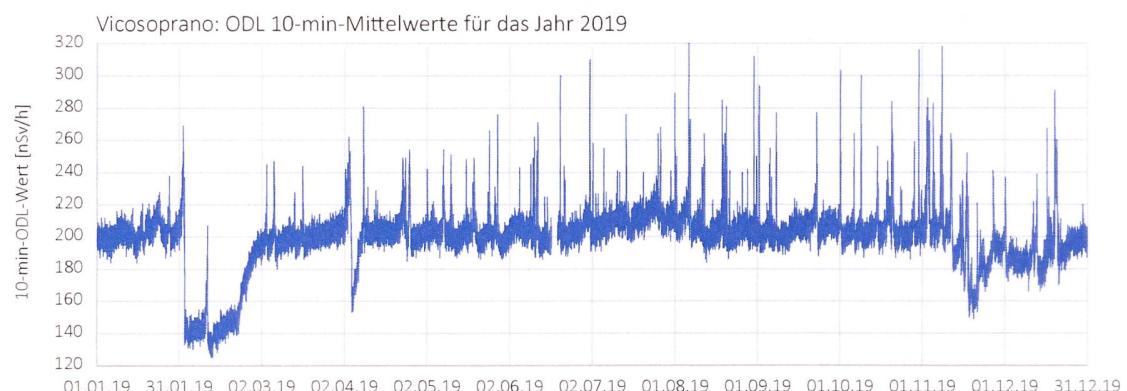
In Figur 2 sind die numerischen Jahresmittelwerte in eine Schweizer Übersichtskarte eingetragen. Die natürlich bedingte Ortsdosisleistung (ODL) wird vom Standort (geologischer Untergrund, Höhe über Meer) und von den meteorologischen Verhältnissen (Regen, Schneedecke) beeinflusst. Die Beiträge der terrestrischen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

Der geologische Untergrund bestimmt den Beitrag der terrestrischen Strahlung zur ODL. 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 200 nSv/h der höchste ODL-Jahresmittelwert aller NADAM-Stationen gemessen wurde.

Die Höhe des Sondenstandortes über Meer bestimmt den kosmischen Anteil der ODL. Je höher der Messstandort, desto weniger wird die kosmische Strahlung durch die Atmosphäre abgeschwächt, entsprechend grösser wird die Intensität der kosmischen Strahlung. Die Messstation Jungfraujoch liegt auf 3'580 m.ü.M. Die kosmische Strahlung in dieser Höhe führte im Jahr 2019 mit 193 nSv/h zu einem ähnlichen Jahresmittelwert wie in Vicosoprano. An allen anderen Standorten lagen die Jahresmittelwerte unter 175 nSv/h.

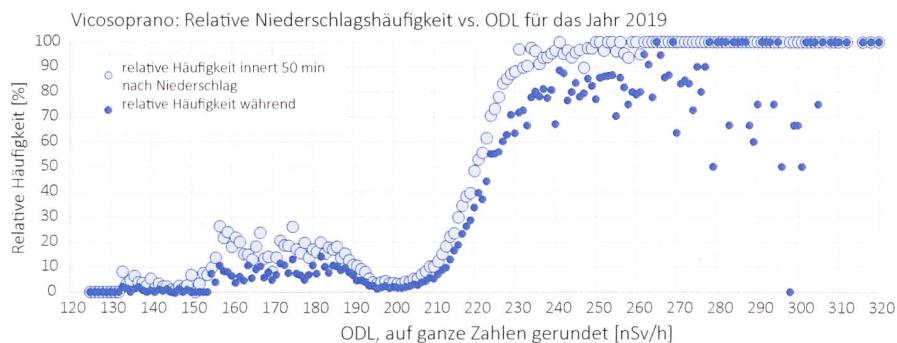
Eine detailliertere Analyse der Station Vicosoprano

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



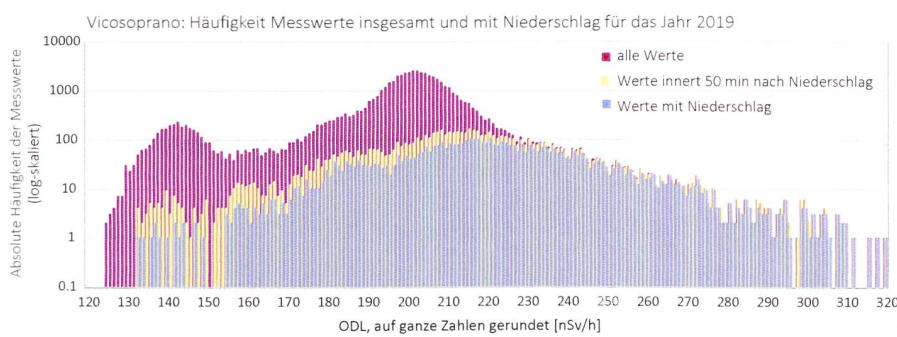
Figur 3:

Zeitverlauf der 10 min-ODL-Werte für die Station Vicosoprano im Jahr 2019. Deutlich sichtbar sind die bis zu 37% unter dem Jahresmittelwert liegenden ODL-Werte im Winter aufgrund der Abschirmung der terrestrischen Strahlung durch die Schneedecke.



Figur 4:

Korrelation zwischen den 10 min-Werten und den Niederschlägen für die Station Vicosoprano im Jahr 2019. Die ODL-Werte über 240 nSv/h korrelieren gut mit Niederschlägen, d.h. in den meisten Fällen traten hohe ODL-Werte gleichzeitig mit Niederschlag auf. Die im Hintergrund mit hellroter Markierung dargestellten Datenpunkte berücksichtigen auch Niederschlag innerhalb der letzten 50 min. In dieser Darstellung wird klar, dass alle Datenpunkte über 262 nSv/h aufgrund von Niederschlag zustande gekommen sind.



Figur 5:

Verteilung der 10 min-Werte für die Station Vicosoprano im Jahr 2019; rot: alle Messwerte; blau: Messwerte während Niederschlag; gelb: Messwerte innerhalb von 50 min nach erfolgtem Niederschlag. Werte über 230 nSv/h gehen fast immer einher mit Niederschlag.

Station Vicosoprano. Der Jahresmittelwert liegt bei 200 nSv/h. Peaks bis zu 320 nSv/h ergeben sich durch Niederschläge, welche insbesondere nach trockenen Zeitabschnitten zu einer Auswaschung von Partikeln mit natürlich vorkommenden Radionukliden (v.a. Zerfallsprodukte von Radon ^{222}Rn) aus der Atmosphäre und deren Deposition am Boden führen. Umgekehrt erkennt man an tiefen Messwerten bis 125 nSv/h, dass in den Wintermonaten eine Schneedecke die terrestrische Strahlung teilweise abgeschirmt hat. Zwischen dem 17.06. und dem 19.06.2019 sind aufgrund einer Panne bei der Station keine Messdaten vorhanden.

In Figur 4 ist die Korrelation der ODL-Werte mit dem Niederschlag dargestellt. Die dunkelblau aufgetragenen Punkte repräsentieren die relative Häufigkeit, mit der einzelne ODL-Werte zeitgleich mit Niederschlag gemessen wurden. ODL-Werte über 240 nSv/h gehen in den meisten Fällen einher mit Niederschlag.



Figur 6:

Zeitverlauf der ODL 10 min-Mittelwerte, der 10 min Niederschlagssummen und der integrierten Niederschlagsmenge für den Zeitraum vom 31.01. bis 02.02.2019 für die Station Vicosoprano.

Einige Datenpunkte zeigen auch bei höheren ODL-Werten relative Niederschlagshäufigkeiten unter 100%. Um diese zu erklären, wurde zusätzlich die Häufigkeit ermittelt, mit der die ODL-Werte gemessen wurden, wenn innerhalb der letzten 50 min Niederschlag stattgefunden hatte. Diese Datenpunkte sind mit hellroter Markierung im Hintergrund dargestellt. Damit wird klar, dass ODL-Werte über 262 nSv/h, also die ODL-Spitzen in Figur 3, zu 100% mit einer Niederschlagsperiode erklärt werden können. Der Niederschlagseffekt zeigt sich in den maximalen 10 Minuten-Werten vieler Stationen und entsprechend in den Maximalwerten der in Figur 1 gezeigten Wertebereichen. Besonders ausgeprägt zu erkennen war er 2019 an den Standorten Payerne (140% über dem Jahresmittelwert), Thun (150%), Delémont (152%) und Adelboden (160%).

Figur 5 zeigt die absolute Häufigkeitsverteilung der 10 Minuten ODL-Werte in Vicosoprano, wobei die vertikale Diagrammachse logarithmisch skaliert ist. Rot eingezeichnet ist die Verteilung aller ODL-Daten, unabhängig von der Witterung. Der häufigste gemessene ODL-Wert liegt bei 203 nSv/h, ein lokales Maximum ergibt sich bei 142 nSv/h aus zwei Perioden im Februar 2019 (siehe Figur 3) mit Messwerten, die aufgrund der Schneedecke über mehrere Tage auf einem deutlich unter dem häufigsten ODL-Wert liegenden Niveau blieben. Bei 163 nSv/h lässt sich ein schwaches weiteres lokales Maximum erahnen, da aufgrund der kalten Wettersituation Anfang April und Mitte November ebenfalls eine leichte Häufung von Messwerten um diesen Wert verzeichnet wurde. An den blau eingezeichneten Werten erkennt man die unmittelbare Korrelation von Niederschlag mit erhöhter ODL, im Speziellen über 240 nSv/h. Gelb dargestellt ist die Häufigkeit der ODL-Werte, die während oder innerhalb von 50 min nach Niederschlag aufgezeichnet wurden. Diese Daten zeigen, dass die Messwerte im oberen ODL-Bereich ausnahmslos mit Niederschlag erklärt werden können.

Bei eher tiefen ODL-Werten zwischen 130 und 150 nSv/h scheint ebenfalls eine leichte Häufung von Messwerten zu bestehen, die verzögert nach Niederschlag gemessen wurden. Dies lässt sich so interpretieren, dass Schneefall zu einer Schneedecke führt, welche die Radioaktivität aus dem Boden teilweise abschirmt und so im Nachgang zu tieferen Messwerten führt.

Ein Ausschnitt der in Figur 3 gezeigten Messreihe wird in Figur 6 mit der gleichzeitig aufgezeichneten Niederschlagskurve verglichen. Rot eingezeichnet und auf der linken y-Achse skaliert ist der 10 min Mittelwert der ODL in Nanosievert pro Stunde [nSv/h] über den Zeitraum von zweieinhalb Tagen Ende Januar / Anfang Februar 2019. Die 10 min Niederschlagswerte sind als blaue Balken, aufgetragen und auf der rechten y-Achse skaliert.

Zu Beginn der dargestellten Periode liegt die ODL um 200 nSv/h, was typisch ist für den Standort Vicosoprano mit einem vergleichsweise hohen natürlichen Strahlungsuntergrund. Am Abend des 31.01. setzt leichter Niederschlag ein, der einen visuell knapp erkennbaren Anstieg der ODL um ca. 10 nSv/h zur Folge hat. Deutlicher sichtbar ist die erhöhte ODL während der ab dem Morgen des 01.02.2019 zunehmenden Niederschläge. Diese Korrelation röhrt 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 oder auf der Schneedecke deponiert werden und dort zu kurzfristig erhöhten Werten führen. Ab dem 02.02.2019 führt eine zunehmende Schneedecke zum gegenteiligen Effekt, nämlich zu einer teilweisen Abschirmung der aus dem Boden stammenden Radioaktivität. Dies hat eine reduzierte ODL um 140 nSv/h zur Folge, also deutlich unter dem für Vicosoprano üblichen Bereich liegende Werte.

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. Aufgrund der nur kurz anhaltenden Schneedecke im Winter 2019 liegt der Jahresmittelwert in Vicosoprano nur 1.5 % tiefer als der häufigste Messwert. Dieser Unterschied fällt deutlich geringer aus als im Vorjahr mit 9%. An anderen Standorten war der Unterschied zwischen Jahresmittelwert und häufigstem Wert grösser als in Vicosoprano, auf den Stationen Davos und San Bernardino beträgt er 11% und in Ulrichen sogar 23% (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 2019 in Gütsch ob Andermatt Fall (häufigster Wert 33% tiefer als Jahresmittelwert). In überwiegend schneefreien Gebieten sind der häufigste Messwert und der Jahresmittelwert sehr ähnlich.

Qualitätssicherung und Werterhalt NADAM-Netz

Die Sonden sind vom Hersteller typengeprüft und werden durch die anerkannte Eichstelle des «Institut de Radiophysique» (IRA) des CHUV in Lausanne 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 Eichungsresultate. Falls die Abweichung bei Dosisleistungen ≤ 50 mikroSv/h grösser als 7% oder bei Dosisleistungen > 50 mikroSv/h grösser als 15% ist, wird ein Korrekturkoeffizient angewandt. Damit wird sichergestellt, dass die Sonde in 95% der Fälle im Toleranzbereich liegt.

Zudem werden die Sonden jährlich von MeteoSchweiz vor Ort im Feld getestet. Mit diesen 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 höchstens 15 nSv/h unterscheiden. Bei technischen Defekten werden die Sonden ausgewechselt und bei MeteoSchweiz in Payerne im Labor getestet.
- 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 (Zürich, Payerne, Locarno und Davos) bereit.

Jede Sonde wird mindestens alle 12 Monate geprüft. An den Standorten La-Chaux-de-Fonds, Güttingen und Scuol war nach einem Austausch der Sonde jeweils ein zweiter Test nötig, somit wurden im Jahr 2019 insgesamt 79 Sondentests durchgeführt. Die NADAM-Sonden sind stabil und zuverlässig.

Zusätzlich zu den stationären Sonden besitzt die NAZ 30 mobile NADAM-Sonden, mit denen das Messnetz 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 direkt an die Datenbank der NAZ.

Eine wesentliche Änderung des NADAM-Netzes steht nun für das Jahr 2020 bevor. Die technische Unterstützung durch den Hersteller der bisherigen Sonden ist nicht mehr gegeben und die mobilen Sonden sind nicht mit neuen Mobilfunkstandards kompatibel. Daher müssen alle NADAM-Sonden im Lauf der Jahre 2020 und 2021 ersetzt werden, die mobilen Sonden sogar schon vor Ende 2020. Zusammen mit dem ENSI, das im MADUK-Netz mit dem gleichen Sondentyp die Ortsdosleistung in der Umgebung der Schweizer Kernanlagen überwacht, wurde eine WTO-Ausschreibung durchgeführt. Den Zuschlag für die Lieferung der neuen Sonden hat die Firma Bertin GmbH erhalten. Im Jahr 2019 wurden Prototypen der neuen Sonden ausgiebig getestet. Im Laufe des Jahres 2020 werden nun alle mobilen und ein Teil der stationären Sonden der NADAM- und MADUK-Netze durch die anerkannten Eichstellen geeicht und im Feld ersetzt.

Station	Kanton	Datum der Inbetriebnahme	Hohe [m ü.M.]	Jahresmittelwert [$\mu\text{Sv}/\text{h}$]	Häufigster Wert [$\mu\text{Sv}/\text{h}$]	Minimum [$\mu\text{Sv}/\text{h}$]	Maximum [$\mu\text{Sv}/\text{h}$]
Adelboden (ABO)	BE	04.11.09	1322	96	97	61	251
Aigle (AIG)	VD	09.09.09	382	122	116	95	190
Altdorf (ALT)	UR	28.10.09	439	129	128	92	231
Basel-Binningen (BAS)	BS	19.11.09	317	117	114	97	249
Bern-Zollikofen (BER)	BE	30.09.09	554	113	112	93	235
Beznau (BEZ)	AG	19.11.09	327	108	107	89	188
Bière (BIE)	VD	12.01.17	684	99	99	76	166
Buchs/Aarau (BUS)	AG	20.11.09	388	101	100	85	216
La Chaux-de-Fonds (CDF)	NE	17.09.09	1018	124	127	77	204
Nyon-Changins (CGI)	VD	23.09.09	459	119	117	100	192
Chasseral (CHA)	BE	17.09.09	1594	117	125	78	257
Chur (CHU)	GR	09.10.09	557	111	110	81	201
Cham (CHZ)	ZG	29.01.18	442	105	105	85	242
Cressier (CRM)	NE	03.11.16	431	87	86	71	165
Davos (DAV)	GR	08.10.09	1589	138	155	78	233
Delémont (DEM)	JU	03.11.16	439	119	117	100	300
Disentis/Sedrun (DIS)	GR	28.10.09	1197	109	111	72	220
La Dôle (DOL)	VD	23.09.09	1670	108	114	73	176
Egolzwil (EGO)	LU	22.09.10	523	97	90	78	201
Engelberg (ENG)	OW	30.10.09	1035	87	88	55	161
Fahy/Boncourt (FAH)	JU	14.10.09	597	127	125	104	233
Bullet/La Frétaz (FRE)	VD	24.09.09	1206	124	128	80	214
Glarus (GLA)	GL	02.12.09	518	100	99	69	203
Gösgen (GOE)	SO	20.11.09	381	106	105	90	204
Fribourg-Posieux (GRA)	FR	13.01.17	646	108	107	89	200
Grenchen (GRE)	SO	06.12.10	431	92	90	76	189
Col du Gd-St-Bernard (GSB)	VS	09.09.09	2491	131	144	98	217
Gütsch ob Andermatt (GUE)	UR	01.09.05	2296	145	109	93	249
Güttingen (GUT)	TG	03.12.09	441	101	99	84	234
Genève (GVE)	GE	24.09.09	412	111	109	93	192
Hallau (HLL)	SH	29.01.18	419	127	124	105	255
Hörnli (HOE)	ZH	12.11.09	1133	95	96	66	185
Jungfraujoch (JUN)	VS	29.09.09	3581	193	188	161	324
Kloten/Zürich (KLO)	ZH	24.11.09	427	106	104	89	222
Koppigen (KOP)	BE	13.01.17	484	121	119	102	220
Leibstadt (LEI)	AG	19.11.09	342	100	98	82	216
Lugano (LUG)	TI	21.10.09	273	130	128	112	240
Luzern (LUZ)	LU	05.11.09	455	111	110	95	210
Magadino-Cadenazzo (MAG)	TI	22.10.09	204	132	128	101	296
Meiringen (MER)	BE	06.10.11	590	136	134	100	243
Le Moléson (MLS)	FR	19.08.09	1975	108	113	81	191
Mosen (MOA)	LU	19.01.18	452	98	96	82	181
Möhlin (MOE)	AG	09.09.10	341	118	116	98	230
Mühleberg (MUB)	BE	15.10.09	481	118	117	97	201
Napf (NAP)	BE	05.11.09	1405	105	110	70	193
Neuchâtel (NEU)	NE	10.12.09	485	102	101	85	201
Oron (ORO)	VD	29.02.12	828	111	110	81	236
Locarno-Monti (OTL)	TI	22.10.09	368	152	149	120	282
Payerne (PAY)	VD	13.08.09	490	101	101	84	244
Piotta (PIO)	TI	29.10.09	990	156	158	118	280
Plaffeien (PLF)	FR	14.08.09	1043	110	110	84	197
Paul Scherrer Institut (PSI)	AG	27.07.11	335	105	104	87	173
Pully (PUY)	VD	23.09.09	456	117	120	94	190
Zürich-Affoltern (REH)	ZH	13.11.09	444	108	107	91	238
Poschiavo-Robbia (ROB)	GR	07.10.09	1079	170	164	113	371
Rünenberg (RUE)	BL	20.11.09	612	100	97	84	186
Santis (SAE)	AI	11.11.09	2503	125	125	101	246
Samedan (SAM)	GR	25.08.09	1710	149	166	95	280
San Bernardino (SBE)	GR	29.10.09	1640	144	161	90	296
Stabio (SBO)	TI	21.10.09	352	132	130	107	250
Scuol (SCU)	GR	27.08.09	1305	116	124	75	227
Schaffhausen (SHA)	SH	04.12.09	439	106	106	89	196
Sion (SIO)	VS	10.09.09	482	123	122	98	274
Zürich-Fluntern (SMA)	ZH	24.11.09	557	115	113	98	205
Santa Maria (SMM)	GR	15.12.11	1385	142	144	90	317
St. Gallen (STG)	SG	12.11.09	777	97	98	64	195
Aadorf/Tänikon (TAE)	TG	03.12.09	539	97	95	81	176
Thun (THU)	BE	29.01.18	570	93	91	78	233
Ulrichen (ULR)	VS	04.11.09	1347	131	171	56	253
Vaduz (VAD)	FL	03.12.09	458	101	99	80	196
Vicosoprano (VIO)	GR	06.02.13	1089	200	203	125	320
Visp (VIS)	VS	11.09.09	640	125	123	95	255
Villars-Tiercelin (VIT)	VD	29.01.18	859	122	121	90	236
Wädenswil (WAE)	ZH	02.12.09	487	109	108	93	209
Wynau (WYN)	BE	15.10.09	423	102	100	85	181
Zermatt (ZER)	VS	11.09.09	1640	125	132	81	212

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 2019 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 anfangs Juni 2019 wurde turnusgemäß die Umgebung der Kernkraftwerke Gösgen (KKG) und Mühleberg (KKM) abgedeckt. Zudem wurden die Messungen innerhalb der Notfallschutzzone 2 des KKG komplettiert. Die Ergebnisse bei den Kernkraftwerken lagen im Bereich der Ergebnisse aus früheren Jahren.

Weitere Messflüge wurden in der Umgebung von Bulle, Köniz und Vevey absolviert. In diesen Arealen wurden nur Schwankungen des Gehalts an natürlichen Radionukliden im Boden und die Absorption von terrestrischer Gammastrahlung durch Seen und Flüsse registriert.

Zusätzlich wurde über dem Neuenburgersee ein Steigflug zur Charakterisierung des neuen Messsystems durchgeführt und von Torre im Tessin bis Chur ein Profil aufgenommen. Die Suche von radioaktiven Quellen wurde über dem ABC-Übungsgelände in Spiez trainiert.

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 zivil unter der Regie der Nationalen Alarmzentrale (NAZ) und militärisch unter der Regie des Kompetenzzentrums ABC KAMIR der Armee. Zum Training der ARM-Teams, bestehend aus Operateuren (Messspezialisten an Bord), Piloten und Bodenpersonal, werden jährlich von der NAZ und dem Kompetenzzentrum ABC KAMIR der Armee Übungsmessflüge durchgeführt.

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

Mit den Messflügen 2019 erfolgte die Ablösung der alten Ausrüstung durch ein Messsystem der Firma Mirion, welches durch die RUAG im Super Puma Helikopter der Schweizer Luftwaffe integriert wurde. Dieses wurde in den vorangehenden Messübungen eingehend getestet und die Ergebnisse mit denen des alten Systems verifiziert. Das neue System steht in vierfacher Ausführung für die Aufgaben der NAZ sowie des Kompetenzzentrums ABC KAMIR der Armee zur Verfügung. Wartung und Unterhalt erfolgt durch die Lieferanten.

Messungen und Messresultate 2019

Vom 3. bis 7. Juni 2019 wurde turnusgemäß die Umgebung der Kernkraftwerke Gösgen (KKG) und Mühleberg (KKM) ausgemessen. Im Rahmen der Messflüge 2019 wurden zudem die Messungen innerhalb der Zone 2 des KKG komplettiert. Entlang der Transversale von Torre (TI) bis Chur (GR) wurde außerdem ein Profil aufgenommen, und über dem Neuenburgersee wurde ein Steigflug zur Charakterisierung des neuen Messsystems durchgeführt.

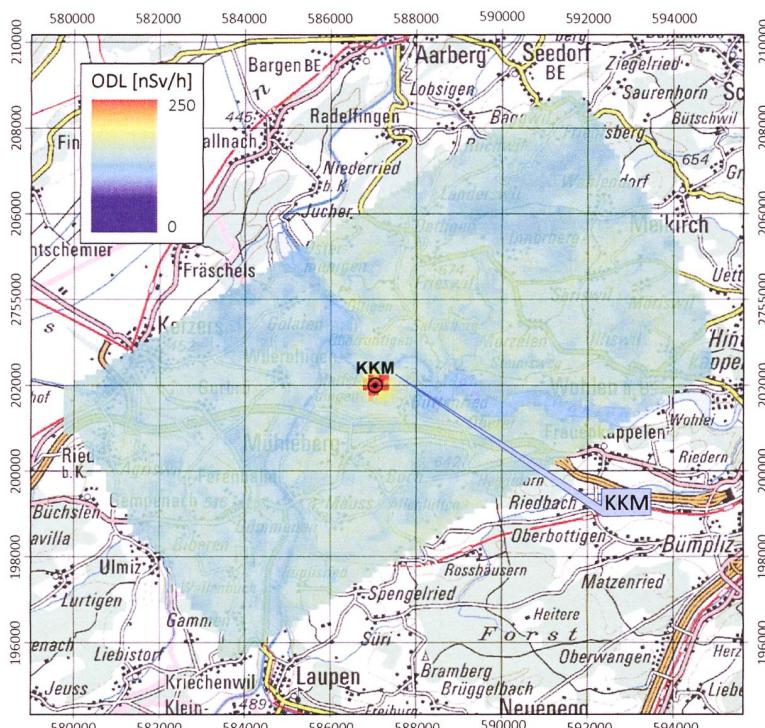


Figure 1:
Ortsdosleistung 2019 im Messgebiet KKM.
Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.

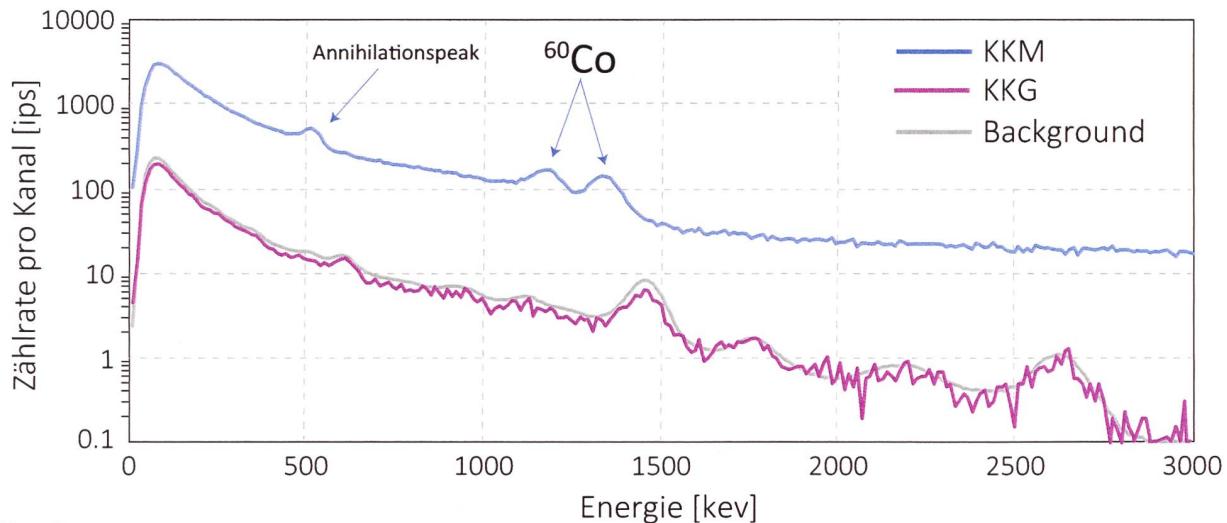
hochenergetische Gammastrahlung führt über Paarbildung und die damit verbundene Annihilationsstrahlung auch zu einem Peak bei 511 keV im Spektrum (Figur 2).

Zum Zeitpunkt der Messflüge war zudem ein Lagerschacht im Zwischenlager geöffnet. Es wurden konditionierte Abfallgebinde mit ^{60}Co in das Zwischenlager transferiert. Entsprechend konnte in den Spektren der Doppelpeak von ^{60}Co detektiert werden (Figur 2).

Im Bereich des KKG sind keine besonderen Werte bei der Ortsdosleistung (Figur 3) zu erkennen. KKG mit seinem Druckwasserreaktor konnte aeroradiometrisch weder aufgrund der Ortsdosleistung

Weitere Messflüge wurden im Zeitraum vom 2. bis 5. September 2019 in der Umgebung von Bulle, Köniz und Vevey absolviert. In derselben Woche wurde außerdem über dem ABC Trainingsgelände in Spiez die Suche von radioaktiven Quellen trainiert. Die detaillierten Ergebnisse sämtlicher Messungen wurden in einem PSI-Bericht anfangs des Jahres 2020 publiziert (Butterweck et al., 2020).

Die Messresultate in den Messgebieten des KKG und des KKM zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegangenen Messkampagnen. Am Standort des KKM können in der Ortsdosleistungskarte (Figur 1) erhöhte Messwerte erkannt werden. Diese sind beim KKM mit seinem Siedewasserreaktor hauptsächlich auf gestreute, hochenergetische Photonenstrahlung zurückzuführen, die zu erhöhten Zählraten über das gesamte gemessene Spektrum führen (Figur 2). 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 hochener-

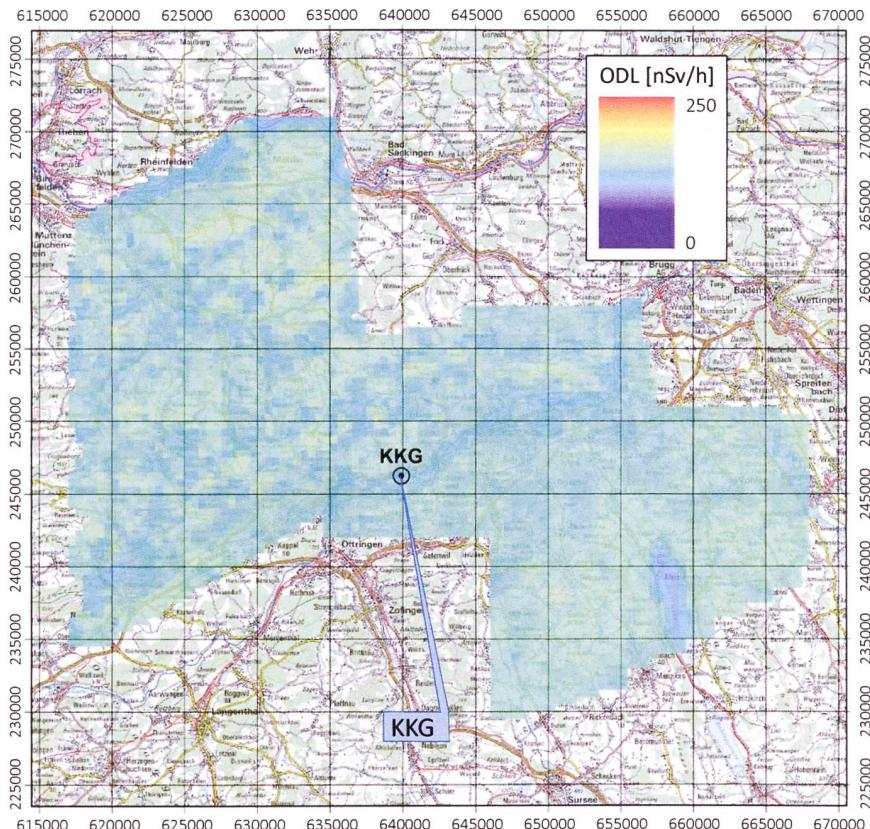


Figur 2:

Gemittelte Spektren im Bereich des Betriebsgeländes KKM, KKG und in der weiteren Umgebung (Background).

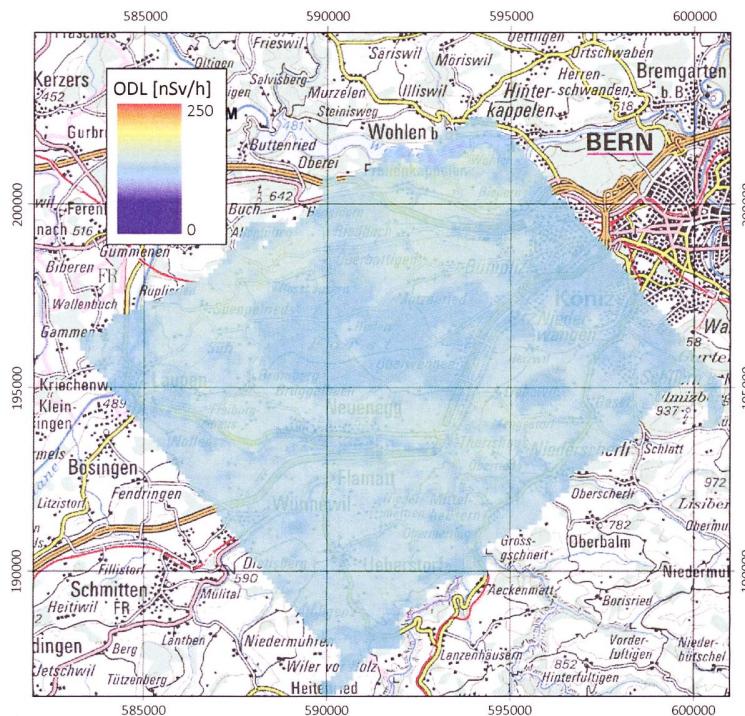
(Figur 3) noch aufgrund des MMGC-Verhältnisses erkannt werden. Das MMGC-Verhältnis steht für den Quotientender Zählraten im Energiebereich von 400-1'400 keV und 1'400-3'000 keV. Da die meisten Spaltprodukte Gammalinen im Energiebereich unterhalb von 1'400 keV aufweisen, stellt das MMGC-Verhältnis ein empfindliches Instrument zur Lokalisierung künstlicher Radionuklide dar.

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

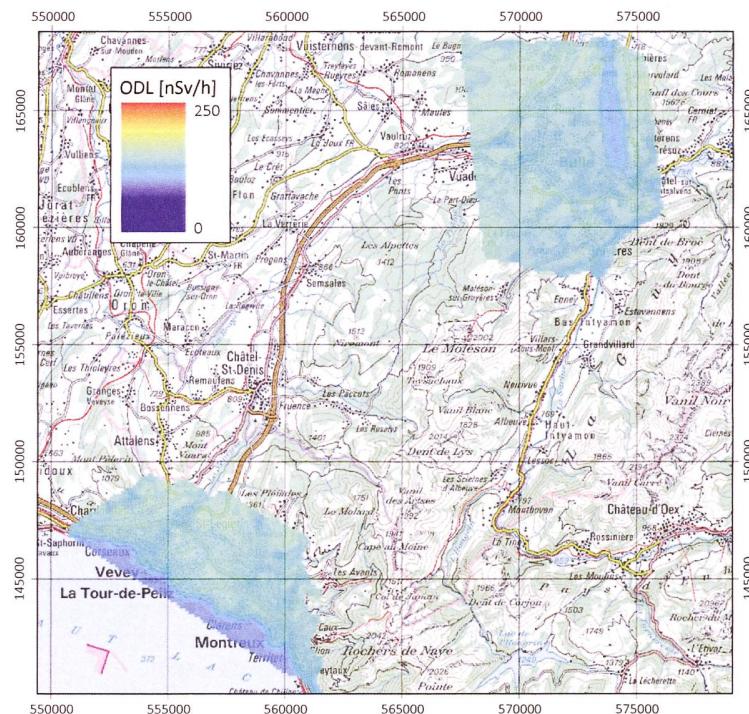


Figur 3:

Ortsdosisleistung im Messgebiet der Zone 2 von KKG. Kartendaten PK100 © Bundesamt für Landestopografie.



Figur 4:
Ortsdosisisleistung 2019 im Messgebiet südwestlich von Köniz bei Bern.
Kartendaten PK100 © Bundesamt für Landestopografie.



Figur 5:
Ortsdosisisleistung 2019 in den Messgebieten bei Bulle und Vevey.
Kartendaten PK100 © Bundesamt für Landestopografie.

gilt auch für das Profil Torre- Chur.

Im Messgebiet der Notfallschutzone 2 von KKG liegen die Messwerte im erwarteten Bereich. Unterschiede sind auf Einflüsse der Topographie wie Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen. (Figur 3).

Die Messungen über den weiteren Arealen zeigten nur Schwankungen des Gehalts an natürlichen Radionukliden im Boden und die Absorption von terrestrischer Gammastrahlung durch Seen und Flüsse auf. In den Figuren 4 und 5 sind die Ortsdosisisleistungskarten in der Umgebung von Köniz (Figur 4), Bulle und Vevey (Figur 5) dargestellt.

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.
- Butterweck, G., Bucher, B., Rybach L., Poretti, C., Maillard, S., Schindler, M., Hofstetter-Boillat, B., Mayer, S., Scharding S., 2020: Aeroradiometric Measurements in the Framework of the Swiss Exercise ARM19. PSI Bericht Nr. 20-01. February 2020. ISSN 1019-0643.

