

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:	- (2021)
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

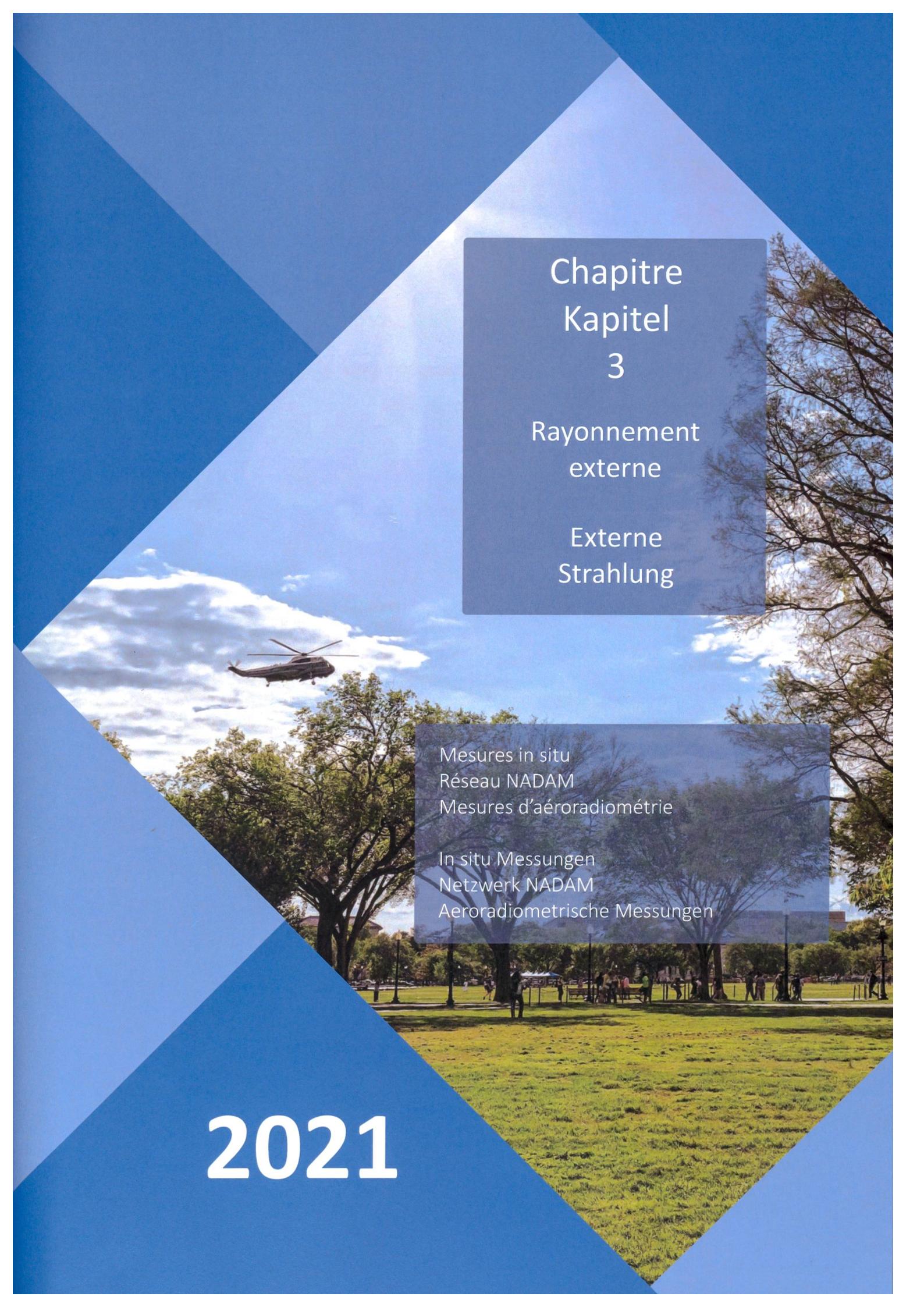
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées 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: 14.02.2026

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



Chapitre Kapitel 3

Rayonnement
externe

Externe
Strahlung

Mesures in situ
Réseau NADAM
Mesures d'aéroradiométrie

In situ Messungen
Netzwerk NADAM
Aeroradiometrische Messungen

2021

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

Les campagnes de mesures de spectrométrie gamma 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 pour l'année 2021. Cette contamination reste plus importante au Tessin et dans le nord-est de la Suisse par rapport au Plateau suisse, mais malgré cela, les résultats de spectrométrie in situ 2021 n'ont signalé aucune valeur susceptible de représenter un risque pour la santé du public.

Introduction

Le suivi permanent de l'exposition ambiante repose en Suisse sur les réseaux NADAM (échelle nationale) et MADUK (voisinage des installations nucléaires). L'objectif de ces réseaux en alerte 24h sur 24h est de signaler des augmentations anormales de l'exposition ambiante. Ces mesures, comme celles des dosimètres à thermoluminescence, recensent l'exposition ambiante globale sans permettre d'en distinguer les composantes individuelles. Les mesures de spectrométrie gamma effectuées en laboratoire sur des échantillons s'orientent, quant à elles, avant tout sur la mise en évidence de traces de radionucléides. Les résultats ont un caractère très ponctuel et ne renseignent pas sur l'exposition ambiante. Pour combler cette lacune, les laboratoires mobiles de l'OFSP (Section URA, Berne), de l'IFSN (Brugg), du Laboratoire de Spiez et de l'IRA (Lausanne) misent sur la spectrométrie gamma directe sur site (in situ). En effet, cette méthode possède l'avantage de permettre l'identification des radionucléides émetteurs gamma présents sur le site, d'estimer leurs activités et de calculer leur contribution individuelle à l'exposition du public. La spectrométrie gamma in situ informe ainsi de manière sensible et réaliste sur les concentrations moyennes des radionucléides gamma ainsi que sur l'exposition ambiante qui en résulte.

Méthodologie in situ

L'exploitation de la spectrométrie gamma in situ en Suisse se base largement sur les recommandations ICRU¹, notamment pour la détermination de l'activité des radionucléides présents sur le site.

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 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 d'équivalent 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' ^{238}U et du

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

^{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}.

Tableau 1:

Facteurs de conversion de l'activité spécifique en débit d'équivalent de dose ambiant $\text{H}^*(10)$ 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

La contribution d'origine naturelle au débit d'équivalent de dose ambiant $\text{H}^*(10)$ 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. La formule suivante permet de calculer la contribution du rayonnement cosmique au débit d'équivalent de dose ambiant $\text{H}^*(10)$

$$\text{H}^*(10)_{\text{cosm}} [\text{nSv/h}] = 37 \cdot \exp(0.38 \cdot Z)$$

où Z est l'altitude en km.

Pour connaître la contribution des radionucléides artificiels au débit d'équivalent de dose ambiant $\text{H}^*(10)$, deux approches sont possibles. La première consiste à soustraire la contribution d'origine naturelle, calculée précédemment, à la valeur globale de $\text{H}^*(10)$ 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.

2 Lemercier et al., «Specific Activity to $\text{H}^*(10)$ 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/kommision-strahlenschutz/stellungnahmen-dosimetrie/2010-empfehlung-umrechnungsfaktoren-gammaspektrometrie.pdf.download.pdf/2010-empfehlung-umrechnungsfaktoren-gammaspektrometrie.pdf>

Sites examinés en 2021

En 2021, les mesures de spectrométrie gamma in situ ont été réalisées au voisinage des centrales nucléaires de Beznau (KKB), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) et Mühlberg (KKM), des centres de recherche (PSI, CERN), du site d'entreposage temporaire de déchets radioactifs (ZWILAG) ainsi qu'au Tessin, région de Suisse la plus touchée par les retombées de l'accident de Tchernobyl, conformément au programme de surveillance habituel.

Grangeneuve-Posieux/FR, Göttingen/TG et Cadennazzo/TI, trois sites de référence pour la surveillance de la radioactivité dans l'environnement en Suisse, ont également été examinés en 2021. Le site d'Arenenberg/TG complète la liste des sites visités en 2021. Cette méthode a également été utilisée dans le cadre du plan d'action radium sur différents sites tels que le Rosengarten à Bümpliz/BE, et à Bienna.

Résultats in situ 2021

Les contributions respectives au débit d'équivalent de dose ambiant $\text{H}^*(10)$ des différents radionucléides identifiés par spectrométrie gamma in situ (descendants compris pour les séries naturelles) sont représentées sur les figures 1 à 5 pour les sites suisses examinés en 2021. 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'apprecier la fiabilité de la reconstitution, la valeur et son incertitude de la mesure globale avec chambre d'ionisation sont également représentées. En 2021, le seul émetteur gamma d'origine artificielle mis en évidence sur l'ensemble des sites est le ^{137}Cs .

Les résultats des mesures effectuées au voisinage des centrales nucléaires, du PSI et du ZWILAG (figure 1) sont semblables à ceux enregistrés sur les sites de référence, situés hors influence de ces installations, comme Göttingen ou Posieux, hormis le ^{41}Ar détecté au point de mesure de Beznau situé près de l'enceinte.

En ce qui concerne la centrale nucléaire de Mühlberg, à l'arrêt depuis décembre 2019 (officiellement hors service en septembre 2020) les mesures in situ ont été réalisées en 2021 sur les sept sites examinés dans le cadre du programme complémentaires «Point zéro Démantèlement KKM 2017-2019» (voir figure 2) dont le rapport établi conjointement par

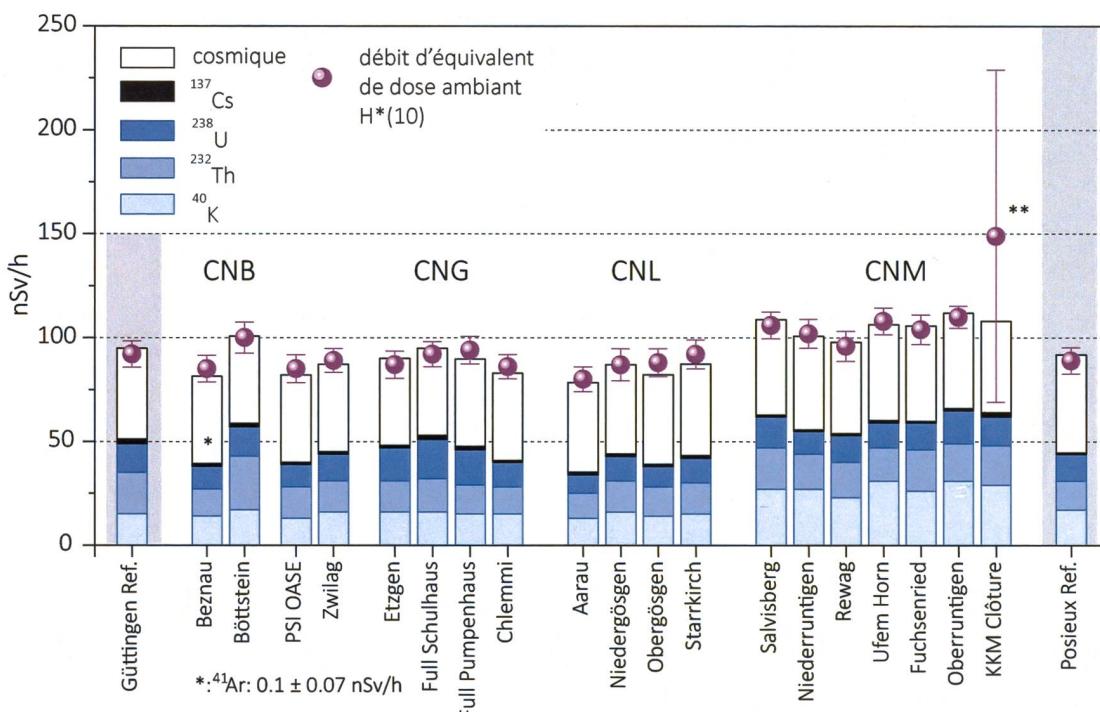


Figure 1:

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 2021 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. ** La valeur plus élevée de débit de dose mesurée à la clôture de KKM est due à la présence de matériaux issus des travaux de démantèlement, stockés temporairement sur le site (voir texte).

l'IFSN et l'OFSP, Démantèlement de la centrale nucléaire de Mühleberg: Mesures Point Zéro 2017-2019⁴ est consultable sur le site internet de l'OFSP.

Outre les quatre sites examinés au cours de la période d'exploitation, ce programme comprend l'analyse de trois points supplémentaires (Fuchsried, Oberruntigen et Clôture), situés à proximité immédiate de la centrale. En effet, contrairement à un rejet éventuel par voie atmosphérique tel qu'il pourrait se produire en période d'exploitation, l'éventuel impact des travaux de désaffectation devrait être localisé dans un périmètre plus restreint.

La valeur plus élevée de débit d'équivalent de dose ambiant (149 ± 80 nSv/h) mesurée sur le site «clôture», qui comme son nom l'indique est très proche (env. 25 m, voir figure 3) de la barrière d'enceinte de la centrale, est due à la présence de matériel radioactif issu des travaux de démantèlement, entreposé temporairement à l'intérieur du site. Le spectre de la mesure de spectro-métrie gamma *in situ* et l'évolution temporelle des mesures du débit de dose ambiant de la figure 3 illustrent ce cas particulier. Du ^{60}Co a été détecté lors de la mesure *in situ* et des pics du débit de dose ambiant atteignant 450 nSv/h ont été mesurés. La mesure gamma en labo-

ratoire du sol prélevé simultanément ne contenant pas de ^{60}Co (< 0.3 Bq/kg) indique bien que ces valeurs sont dues au matériel démonté et entreposé. Une estimation de la contribution au débit d'équivalent de dose ambiant due au rayonnement de ces matériaux issus des travaux de démantèlement peut être obtenue en soustrayant les contributions du ^{40}K , du ^{137}Cs et des séries de ^{238}U et ^{232}Th ainsi que la contribution du rayonnement cosmique à l'équivalent de dose ambiant total mesuré à l'aide d'une chambre d'ionisation. Cette contribution artificielle est ainsi d'environ 40 nSv/h comprenant entre autres le ^{60}Co visible sur le spectre gamma *in situ* et ev. d'autres éléments non décelables par cette méthode. Lors de ses mesures de contrôle périodique, l'IFSN a également enregistré des valeurs de débit de dose temporairement plus élevée au voisinage de la clôture de la centrale de Mühleberg en 2021 en raison des travaux de démantèlement (voir chapitre 8.2).

La figure 4 montre les résultats des mesures *in situ* réalisées au voisinage du CERN en 2021. Hormis le ^{41}Ar détecté au point de mesure de La Praille près de l'enceinte du centre de recherche, ces résultats ne se distinguent pas de ceux enregistrés sur le site de référence de Posieux. Ces traces de ^{41}Ar détectées dans l'air, proviennent très probablement de l'activation des tunnels du CERN. En 2021, le ^{22}Na n'a pas été détecté dans le sol des 5 sites

⁴ https://www.bag.admin.ch/dam/bag/fr/dokumente/str/ura/AutresRapports/KKM_NULLPEGELMESSUNG_2017_2019.pdf.download.pdf/KKM_NULLPEGELMESSUNG_2017_2019.pdf

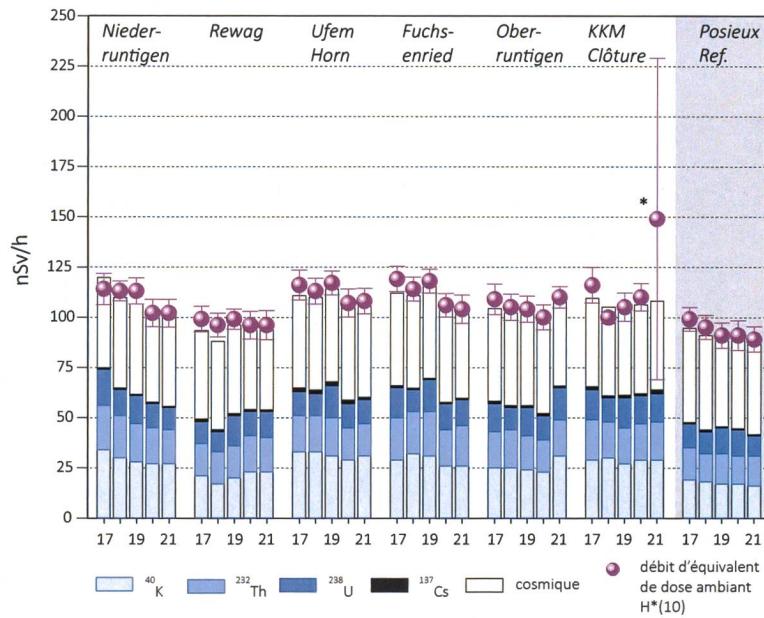


Figure 2:

Suivi 2017-2021 des 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 ainsi qu'au point de référence de Posieux/FR (en grisé). La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ avec chambre d'ionisation est également représentée. * La valeur plus élevée de débit de dose mesurée à la clôture de KKM en 2021 est due à la présence de matériaux issus des travaux de démantèlement, stockés temporairement sur le site (voir texte).

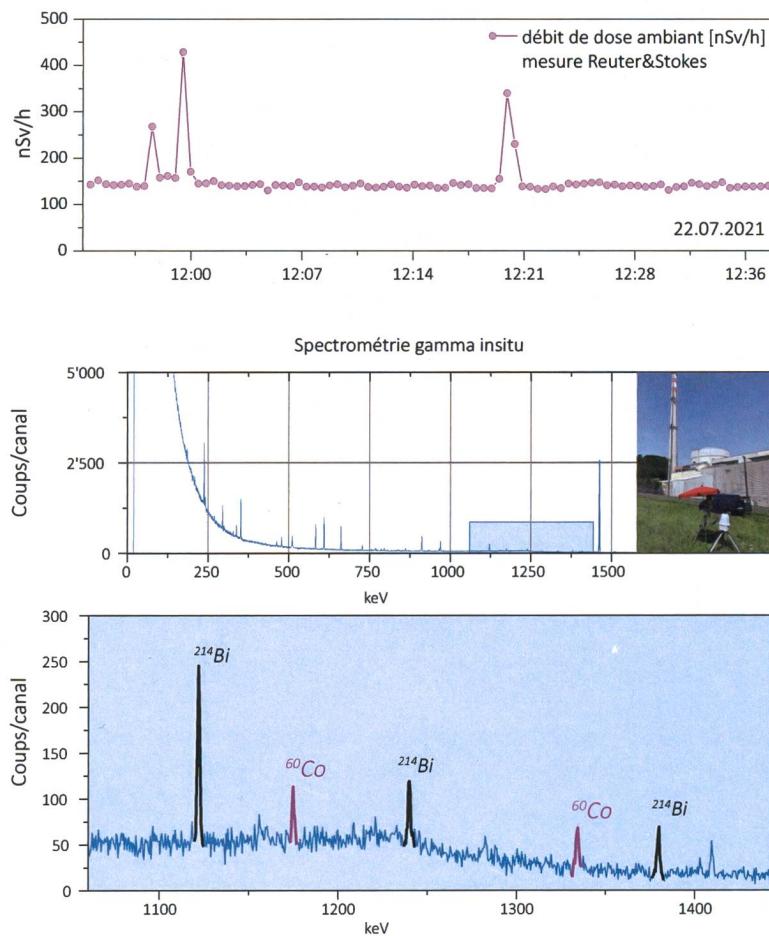


Figure 3:

Valeurs du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ et spectre de mesure *in situ* gamma effectués au point «Clôture» situé au voisinage proche de l'enceinte de la centrale nucléaire de Mühleberg en 2021.

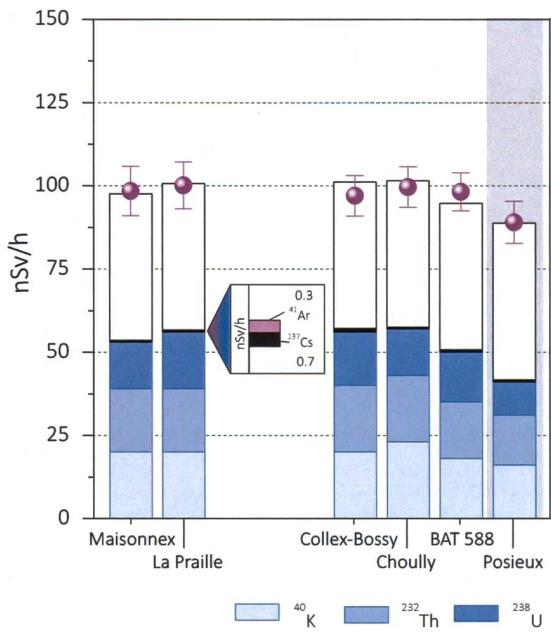


Figure 4:

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 2021 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.

examinés.

Au Tessin, comme le montre la figure 5, 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. 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.).

Au Nord-Est de la Suisse (Güttingen, Arenenberg), les retombées de ^{137}Cs dues à l'accident de Tchernobyl ont été plus importantes que sur le reste du plateau suisse, mais sont restées nettement plus faibles qu'au sud des Alpes.

Notons encore que pour tous les sites examinés, les différences entre reconstruction *in situ* et mesures par chambre d'ionisation sont restées inférieures à 10%, confirmant ainsi la fiabilité de la méthode.

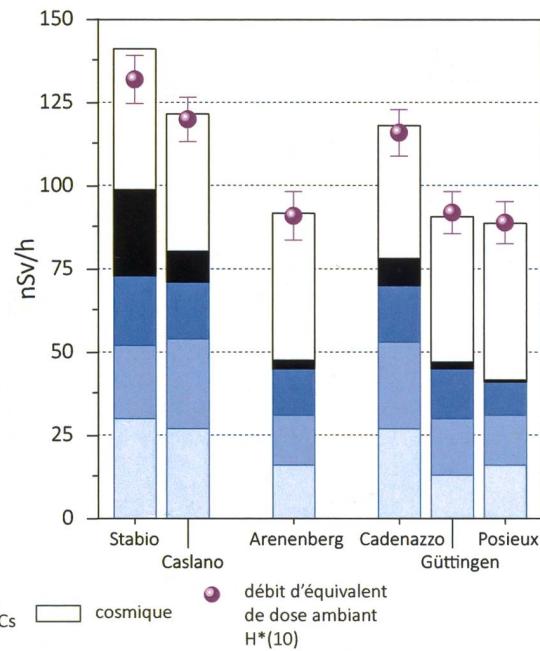


Figure 5 :

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 2021 au Tessin, à Arenenberg 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 2021 ont permis de caractériser les sites d'intérêt du point de vue de leur composition en radionucléides émetteurs 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 risque pour la santé de la population.

3.2

Die automatische Überwachung der Ortsdosisleistung mit NADAM

Adrian Hess

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

Zusammenfassung

Das Netz für die automatische Dosisleistungs-Alarmierung und -Messung NADAM wird durch die Nationale Alarmzentrale NAZ betrieben. Es dient der grossräumigen und permanenten Überwachung der externen radioaktiven Strahlung in der Schweiz. Das NADAM-Netz ermöglicht eine detaillierte Erhebung der Gamma-Ortsdosisleistung an Standorten in der ganzen Schweiz, es dient als Frühwarnsystem bei Überschreitung eines Alarmwerts und unterstützt die NAZ im Falle eines nuklearen/radiologischen Ereignisses bei der Bestimmung des gefährdeten Gebietes und bei der Definition allfälliger anzuordnender Schutzmassnahmen.

Im aktuellen Bericht wird die NADAM-Station in Meiringen als Beispiel herangezogen, um die Charakteristik der erhobenen Daten und deren Abhängigkeit von verschiedenen Einflüssen zu illustrieren.

Im Jahr 2021 wurden mit dem NADAM-Netz keine Werte gemessen, die auf eine erhöhte Strahlenbelastung der Bevölkerung schliessen lassen.

Einleitung

Als Fachstelle des Bundes für ausserordentliche Ereignisse ist die Nationale Alarmzentrale (NAZ) 365 Tage pro Jahr rund um die Uhr erreichbar und bereit, im Bedarfsfall in den Einsatz zu gehen. Ihre Hauptaufgabe ist es dann, die Übersicht über die bevölkerungsschutzrelevante Lage sicherzustellen. Dies ist die Grundlage, um Behörden im In- und Ausland, internationale Organisationen und andere Partner warnen und orientieren, die Bevölkerung im Inland alarmieren und informieren zu können.

Die Aufgaben der NAZ im Bereich «Erhöhte Radioaktivität» sind besonders umfangreich. Als zentrales Element der Bewältigung eines radiologischen oder nuklearen Ereignisses wird die Probenahme- und Messorganisation des Bundes durch die NAZ koordiniert und eingesetzt. Sie ermöglicht der NAZ den Zugriff auf ein umfangreiches Netzwerk von eigenen und fremden Messressourcen. Dazu zählen sowohl fest installierte Systeme als auch Komponenten, die

mobil und flexibel eingesetzt werden können, ein Teil davon fix-installiert und Teil mobil und ad-hoc einsetzbar.

Gemäss der Verordnung über den Bevölkerungsschutz (BevSV, SR 520.12) ist die NAZ zuständig für den Betrieb des **Netzes für die automatische Dosisleistungs-Alarmierung und -Messung (NADAM)**. Es dient ebenso der ständigen Überwachung der Radioaktivität, wie auch als Frühwarnsystem. Überschreitet der Messwert auf einer NADAM-Station einen Alarmwert, wird automatisch das Pikett (Bereitschaftsdienst) der NAZ alarmiert, und der Messwert muss durch Fachpersonen der NAZ validiert werden (Ausschluss technischer Probleme, Überprüfung der Wetterdaten, Vergleich mit Nachbarstationen).

Bei Bedarf werden weitere Messmittel aufgeboten, zum Beispiel kann die kantonale Messunterstützung zugunsten der NAZ (KAMU NAZ) mit einer Kontrollmessung vor Ort beauftragt werden. So kann die NAZ bei einem radiologischen Ereignis rasch das

gefährdete Gebiet bestimmen, Behörden des betroffenen Kantons orientieren und bei unmittelbarer Gefährdung eine Alarmierung auslösen und Sofortmassnahmen zum Schutz der Bevölkerung anordnen.

Die mit dem NADAM-Netz ermittelte Ortsdosisleistung (ODL) wird als 10 Minuten-Mittelwerte abgelegt. In erster Linie dienen diese Daten der NAZ zur Beurteilung der radiologischen Situation im Normalzustand und im Ereignisfall. Zudem werden sie mit den Behörden mehrerer Nachbarstaaten geteilt.

Es werden auch ODL-Stunden- und Tagesmittelwerte berechnet und zweimal täglich auf der Internetseite der NAZ (www.naz.ch/de/aktuell/messwerte.html) publiziert. Damit stehen der Öffentlichkeit die Ortsdosisleistungs-Stundenmittelwerte der jeweils letzten drei Tage und die Tagesmittelwerte vom Vortag zur Verfügung. Im Ereignisfall oder nach Bedarf kann der Publikationsrhythmus erhöht werden.

Die Stundenmittelwerte werden auch der «European Radiological Data Exchange Platform» ([EURDEP](#)) und dem «International Radiation Monitoring Information System» (IRMIS) der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO bzw. englisch: IAEA) zur Verfügung gestellt. Damit erhalten die Teilnehmerstaaten beider Plattformen Zugang zu den Schweizer Messdaten. Im Gegenzug erhält die Schweiz Zugriff auf die entsprechenden Daten der anderen Teilnehmerstaaten.

Das NADAM-Netz und die Messdaten

Die permanente Überwachung der externen Strahlung in der Schweiz wird mit 76 ortsfesten NADAM-Messsonden sichergestellt, die sich verteilt über die ganze Schweiz auf Wetterstationen von MeteoSchweiz befinden. Damit stehen für jeden Standort Wetterdaten zur Verfügung, die wichtige Zusatzinformationen für die Interpretation der Messwerte liefern.

Weitere Vorteile dieser Konfiguration liegen in der vorhandenen Infrastruktur für Stromversorgung, Messdatenübermittlung und -speicherung und darin, dass die Wartung der Sonden durch Techniker von MeteoSchweiz erfolgen kann, welche auch andere Systeme auf ihren Stationen betreuen. In diesem Rahmen wird jede Sonde einmal jährlich einer Funktionsprüfung unterzogen.

An vier Wartungsstandorten von MeteoSchweiz (Zürich, Payerne, Locarno, Davos) stehen einsatzbereite NADAM-Sonden bereit, damit defekte Einheiten schnell ersetzt werden können. Da jederzeit damit gerechnet werden muss, dass einige Sonden infolge Reparatur- oder Kalibrierungsarbeiten nicht zur Verfügung stehen, verfügt die

NAZ insgesamt über 110 für den ortsfesten Betrieb vorge-sehenen NADAM-Sonden.

Hinzu kommen 30 mobile NADAM-Sonden mit derselben Sensorik wie die ortsfesten Sonden. Die mobilen Sonden sind mit Stativ, Regensor, Solarpanel und Mobilfunkmodul ausgerüstet, können dauerhaft autark betrieben werden und Messdaten direkt in die Datenbank der NAZ übermitteln. Diese Sonden sind im Labor Spiez stationiert. Die NAZ kann Equipoisen des Labors Spiez aufbieten und veranlassen, damit bei Bedarf innerhalb weniger Stunden das NADAM-Netz ergänzt bzw. verdichtet wird. Im Jahr 2021 gab es keinen Anlass zu einer solchen Verdichtung des NADAM-Netzes mit mobilen Sonden, darum werden in diesem Bericht keine Messdaten diskutiert, die mit den mobilen Sonden ermittelt wurden.

Alle NADAM-Sonden sind mit Geiger-Müller-Zählrohren für den Nieder- und den Hochdosismodus bestückt. Sie messen die γ -Ortsdosisleistung (ODL, $H^*(10)$) und speichern diese als 10 min-Mittelwerte. Der Abgleich der Daten von beiden Zählrohren ermöglicht eine erste automatische Plausibilisierung allfälliger erhöhter Messwerte. Der Messbereich einer Sonde geht von 10 nSv/h (Nanosievert pro Stunde) bis 10 Sv/h und deckt somit gut den Bereich ab von der natürlicherweise vorhandenen Radioaktivität bis hin zu Dosisleistungen, wie sie z.B. nach einer Nuklearwaffenexplosion auftreten könnten.

Die Messdaten werden terrestrisch über Mobilfunk- oder Kabelverbindungen übertragen. Seit 2017 sind 15 Stationen mit der zusätzlichen Möglichkeit ausgerüstet, Messdaten via Satellitenverbindung zu übermitteln. Mit dieser Redundanz ist die Ausfallsicherheit der Datenübertragung erhöht, insbesondere da für den Fall einer Katastrophe mit Beeinträchtigungen der terrestrischen Kommunikationsnetze gerechnet werden muss.

Da die technische Unterstützung durch den Hersteller der bisherigen Sonden nicht mehr gegeben ist und um die Kompatibilität der mobilen Kommunikationseinheiten mit aktuellen Mobilfunkstandards zu gewährleisten, werden im Rahmen des Werterhalts-Projektes NADAM 2020 seit dem Jahr 2020 alle NADAM-Sonden sukzessive durch neue Sonden des Typs Gamma Tracer XL2-2 des Herstellers Bertin GmbH ersetzt.

Die Evaluation und Beschaffung der neuen Sonden wurde mit dem ENSI gemeinsam durchgeführt, welches in seinem MADUK-Netz in der Umgebung der Schweizer Kernanlagen baugleiche Sonden einsetzt. Mit dem Ersatz der letzten 10 ortsfesten NADAM-Sonden wird das Projekt NADAM 2020 im Jahr 2022 abgeschlossen werden.

Die Sonden sind vom Hersteller typengeprüft. Vor der Inbetriebnahme und nach Reparaturen erfolgt eine zer-tifizierte Eichung durch eine anerkannte Eichstelle in der

Schweiz, entweder am Institut de Radiophysique (IRA) des CHUV in Lausanne oder am Paul Scherrer Institut (PSI) in Villigen AG. Mit dem METAS wurde für die neu beschafften Sonden eine Gültigkeitsdauer der Eichung von max. 12 Jahren vereinbart, solange alle 12 Monate eine Funktionskontrolle die ausreichende Messgenauigkeit der betreffenden Sonde bestätigt.

Diese periodische Funktionskontrolle erfolgt mit einer zertifizierten radioaktiven Quelle durch Techniker von MeteoSchweiz oder vom Labor Spiez am Sondenstandort. Damit wird sichergestellt, dass der durch eine Sonde gemessene Wert im definierten Wertebereich nicht mehr als 20% vom Sollwert abweicht. Bei grösseren Abweichungen oder technischen Defekten werden die Sonden ausgetauscht. Bei jedem Sondentest werden zudem die Meldewege überprüft, insbesondere die korrekte Auslösung und Übermittlung eines Alarms.

Die an einem Standort gemessene ODL setzt sich natürlicherweise aus einem terrestrischen und einem kosmischen Beitrag zusammen. Sollte im Falle eines radiologisch/nuklearen Ereignisses Radioaktivität in die Umwelt gelangen, könnte dies einen zusätzlichen, künstlichen Beitrag zur Folge haben.

Der terrestrische Beitrag an die ODL ist in erster Linie abhängig vom geologischen Untergrund. Uran- und thoriumhaltiges Gestein im Boden führt zu einem höheren terrestrischen Strahlungsbeitrag. Eine solche Bodenbeschaffenheit tritt in alpinen Gebieten häufiger auf als z.B. im Mittelland. Ein Beispiel für eine Station mit vergleichsweise hohem terrestrischen ODL-Beitrag ist Vicosoprano auf 1'089 m.ü.M. am Talgrund im Bergell, wo mit 178 nSv/h der zweithöchste ODL-Jahresmittelwert aller NADAM-Stationen gemessen im Jahr 2021 wurde.

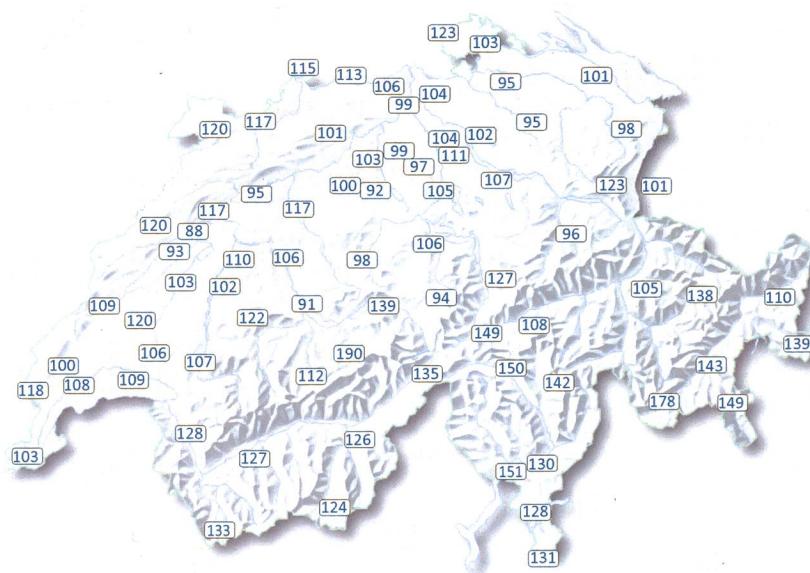
Die Höhe des Sondenstandortes über Meer bestimmt den kosmischen Anteil an der ODL. Je höher der Standort, desto weniger wird die kosmische Strahlung durch die Atmosphäre abgeschwächt, entsprechend grösser wird ihre

Intensität. Die Messstation Jungfraujoch liegt auf 3'580 m.ü.M. Die kosmische Strahlung in dieser Höhe führte im Jahr 2021 mit 190 nSv/h zum einzigen Jahresmittelwert der höher liegt als derjenige in Vicosoprano.

Der Messwertebereich, der die Minima und Maxima der letzten Jahre sicher einschliesst, wird bei der NAZ als Erfahrungsbereich einer bestimmten NADAM-Station bezeichnet. Dieser wird jährlich überprüft und wo nötig angepasst. Er 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.

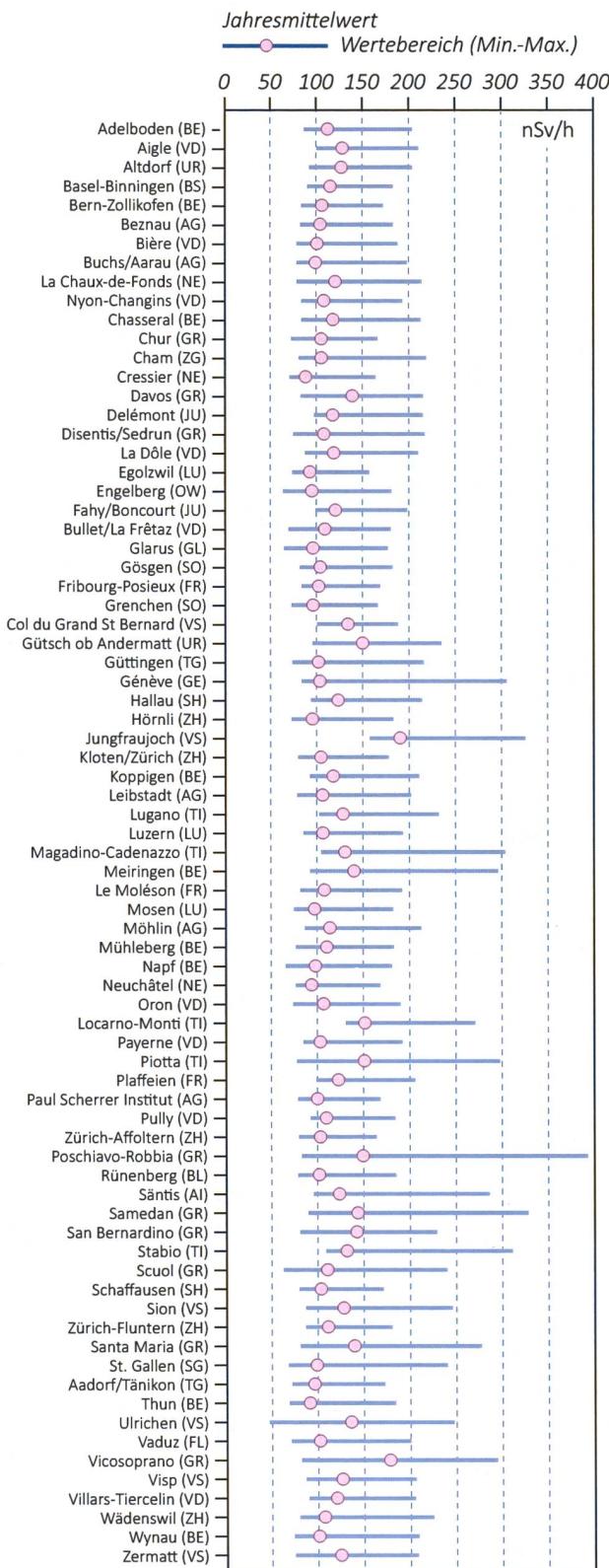
Aus der gemessenen ODL werden auch Mittelwerte für jede volle Stunde und für jeden Kalendertag berechnet. Diese werden ausländischen Partnern zur Verfügung gestellt und auf der NAZ-Homepage publiziert. Auch für die Stundenmittelwerte sind Erfahrungsbereiche definiert, welche enger ausfallen als diejenigen für die 10 min-Mittelwerte, da die Mittelung über längere Zeitabschnitte kleinere Schwankungen zur Folge hat.

Für langfristige Statistiken werden einige Kennzahlen für jedes Kalenderjahr berechnet. Aus allen auf einer Station registrierten ODL-Werten wird der Mittelwert bestimmt und zusätzlich derjenige Wert, der am häufigsten gemessen wurde. Wenn über ganze Zeiträume höhere oder tiefere Werte gemessen werden, beeinflusst dies den Jahresmittelwert,



Figur 1:

Karte mit den Jahresmittelwerten 2021 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 190 nSv/h auf dem Jungfraujoch (VS).



Figur 2:

Jahresmittelwerte und Messwertebereiche der NADAM-Sonden. Der dargestellte Messwertebereich jeder Station entspricht dem Bereich zwischen dem minimalen und dem maximalen 10 min-Wert der Sonden im Jahr 2021.

jedoch bleibt der häufigste Messwert ähnlich, sofern die Perioden mit abweichenden Werten einen kleinen Anteil an der gesamten Messdauer ausmachen. Wenn beispielsweise eine Schneedecke während einiger Wochen den terrestrischen Anteil der Strahlung teilweise abgeschirmt, führt dies zu einem tieferen Jahresmittelwert, während der häufigste Messwert zunächst nicht beeinflusst wird. Hält die Schneedecke besonders lange an, kann dies hingegen zur Folge haben, dass der häufigste Wert unter dem Jahresmittelwert zu liegen kommt.

Am Beispiel der Station Meiringen wird weiter unten in diesem Bericht der Einfluss der Witterungsbedingungen auf den Verlauf der Ortsdosisleistung im Detail diskutiert.

Gemessene Daten

Alle NADAM-Fix-Stationen der Schweiz sind mit ihrem jeweiligen numerischen Jahresmittelwert in der Übersichtskarte in Figur 1 eingetragen. Die wichtigsten Einflussfaktoren, welche sich auf die ODL und damit auf deren Jahresmittelwerte auswirken, liegen in den Beiträgen der terrestrischen und der kosmischen Strahlung, sowie den meteorologischen Verhältnissen (Niederschlag, Schneedecke).

Im Mittelland mit kaum anhaltenden Schneedecken wurden mehrheitlich Werte um 100 nSv/h gemessen. In den Alpen und auf der Alpensüdseite führt die Beschaffenheit des Gesteins im Boden regional zu einem höheren terrestrischen Beitrag, in grosser Höhe ist hingegen der kosmische Beitrag erhöht. Beide Effekte haben höhere ODL-Jahresmittelwerte von bis 190 nSv/h zur Folge.

Die ODL-Jahresmittelwerte und die Messwertebereiche aller Stationen, die sich aus den Maxima und Minima der 10 min-Werte ergeben, sind in Figur 2 dargestellt. Die Werte entsprechen den langjährigen Erfahrungen, mit Mittelwerten im gewohnten Bereich und natürlichen Abweichungen, die sich gut mit den jeweiligen Wettersituationen erklären lassen.

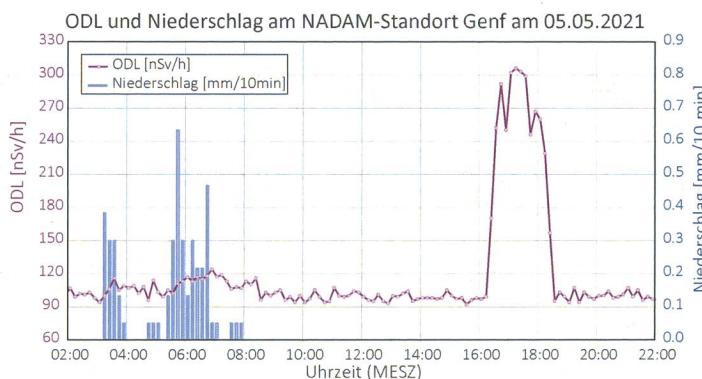
Auch im Jahr 2021 war es so, dass deutlich über dem Jahresmittelwert liegende Maxima während oder unmittelbar nach einsetzendem Niederschlag gemessen wurden, wenn natürlicherweise in der Luft befindliche radioaktive Partikel ausgewaschen und am Boden, d.h. in Sondennähe, deponiert wurden. Dieser Effekt erklärt, warum die in Figur 2 aufgetragenen Maxima deutlich weiter von den Mittelwerten entfernt sind als die jeweiligen Minima.

Tiefere ODL-Werte ergeben sich, wenn nur reduzierte Strahlung die Sonde erreicht. Dies kann der Fall sein, wenn nach starken Niederschlägen in der Luft befindliche Partikel ausgewaschen und im Boden versickert oder abgeflossen sind und anschliessend die mit Wasser gesättigten obersten Bodenschichten oder eine Schneedecke allfällige Strahlung aus tieferliegenden Gesteinsschichten abschirmen sowie das Aufsteigen gasförmiger Radionuklide verhindern.

Daher liegen die Minimalwerte besonders tief unter den Mittelwerten an Standorten mit zeitweise dicker Schneedecke.

Erhöhte Radioaktivität in Genf

In einem Fall wurden durch eine NADAM-Sonde über einen Zeitraum von ca. 2 h deutlich über dem Erfahrungsbereich, jedoch klar unter einer Alarmschwelle liegende ODL-Werte gemessen. Die NADAM-Messwerte der Station Genf an diesem Tag sind in Figur 3 dargestellt.



Figur 3:
Verlauf der 10 min-ODL-Werte und der Niederschlagsmenge am Standort Genf am 05.05.2021. Am Morgen fiel Niederschlag, am späteren Nachmittag wurden aufgrund des Einsatzes einer Strahlungsquelle in Sondennähe erhöhte ODL-Werte gemessen.

In der Nacht und am Morgen vor 08:00 Uhr MESZ fiel Niederschlag. Ein Einfluss des Niederschlages auf den ODL-Verlauf lässt sich nur knapp erahnen, da es schon am Vorabend geregnet hatte und etwaige in der Atmosphäre befindlichen partikelförmige Radionuklide bereits ausgewaschen waren.

Im 10 min-Intervall zwischen 16:20 und 16:30 Uhr begann die ODL deutlich anzusteigen, verblieb für knapp zwei Stunden im Bereich um 250 - 300 nSv/h und fiel schliesslich wieder auf das gewohnte Niveau um 100 nSv/h. Die Sonde registrierte keine Fehlfunktion und der ODL-Verlauf wirkte plausibel.

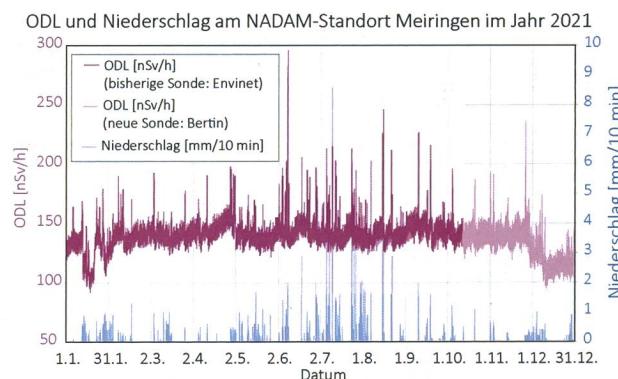
Da sich die erhöhten Messwerte nicht mit Niederschlag erklären liessen und die nächstgelegenen NADAM-Stationen unauffällige Verläufe registrierten, bot der Fachbereich Einsatz-Radioaktivität (ERA) der NAZ die kantonale Messunterstützung KAMU des Kantons Genf auf, um die Situation vor Ort zu untersuchen. Im Dialog mit der Flughafenverwaltung konnte der KAMU eruieren, dass in der fraglichen Zeit unter Verwendung einer Strahlungsquelle Schweissnahtprüfungen in der Nähe der NADAM-Sonde stattgefunden hatten, was schliesslich die beobachteten Werte plausibel erklären konnte.

Detaillierte Betrachtung der NADAM-Station Meiringen

Figur 4 zeigt den Verlauf der ODL-10 min-Mittelwerte in Nanosievert pro Stunde (nSv/h) am Standort Meiringen über das ganze Jahr 2021. Ebenfalls aufgetragen und auf der rechten y-Achse skaliert ist die Niederschlagsmenge in Millimetern pro 10 Minuten (mm/10 min). Der Jahresmittelwert der ODL liegt bei 139 nSv/h, beinahe gleich wie der häufigste Wert von 140 nSv/h. Dazu sind Spikes bis zu einem Maximalwert von 296 nSv/h zu erkennen.

Die ODL-Spikes über 180 nSv/h korrelieren eindeutig mit Niederschlag. Die Höhe der gemessenen Spikes ist nicht zur Niederschlagsmenge proportional, da der kurzfristige Anstieg der ODL primär davon abhängt, wie viele partikelgetragene Radionuklide (v.a. Zerfallsprodukte von Radon ^{222}Rn) sich gerade in der Atmosphäre befinden, wenn der Niederschlag einsetzt und die Deposition der Partikel am Boden in Sondennähe bewirkt.

Mit 296 nSv/h wurde am 08.06.2021 der höchste 10 min-ODL-Wert des Jahres 2021 in Meiringen gemessen. Um diesen Peak genauer betrachten zu können, ist in Figur 5 der Niederschlag und die ODL vom 07. bis 09.06.2021 dargestellt. Dem ODL-Anstieg war keine besonders lange Trockenphase vorangegangen.



Figur 4:
Verlauf der 10 min-ODL-Werte und 10 min-Niederschlagswerte am Standort Meiringen über das Jahr 2021. Die ODL-Spikes jeweils bei einsetzendem Niederschlag sind gut zu erkennen. Am 12.10.2021 wurde die Sonde im Rahmen des Werterhaltes NADAM 2020 ersetzt. Die mit der neuen Sonde gemessenen Werte sind in hellem Rot eingezzeichnet.

Die 20 Stunden seit dem letzten Niederschlag waren ausreichend, um genügend partikelgetragene Radionuklide in die Atmosphäre zu bringen, sodass beim einsetzenden Regen die ODL zwischen 22:00 und 23:00 Uhr für kurze Zeit vom normalen Untergrundwert unter 150 nSv/h auf gut das Doppelte anstieg. Klar zu erkennen ist auch, dass der anschliessende Rückgang auf das normale Niveau schneller erfolgte als die Abnahme der Niederschlagsmenge, was auch zeigt, dass die Auswaschung von Radionukliden und deren Verfrachtung in Bodennähe primär am Anfang eines Niederschlagsereignisses geschieht.

Der ODL-Verlauf, die täglich um 07:00 Uhr gemessene Schneedecke und die täglich erfasste Neuschnee-menge in den ersten und letzten 7 Wochen des Jahres 2021 sind in Figur 6 dargestellt. Im ODL-Verlauf sind auch bei einsetzendem Schneefall Peaks zu erkennen, ähnlich wie sie über das ganze Jahr bei einsetzendem Regen auftreten.

Der Neuschnee am 12. Januar führte zu einer dickeren Schneedecke als zu Jahresbeginn und damit zu einer teilweise Abschirmung des terrestrischen Anteils der ODL. Das zur Schneedecke gegenläufige Verhalten der ODL ist gut zu erkennen, sowohl in den ersten als auch in den letzten Wochen des Jahres.

Die Häufigkeit aller am Standort Meiringen im Jahr 2021 erhobenen ODL-Messwerte ist logarithmisch skaliert in Figur 7 aufgetragen. Der Wert von 140 nSv/h wurde insgesamt 2'921-mal und damit am häufigsten detektiert. Die zweite dargestellte Datenreihe zeigt die ODL-Werte, welche aufgezeichnet wurden, wenn innerhalb der vorangehenden 50 Minuten oder der nachfolgenden 10 Minuten Niederschlag stattgefunden hatte. Der Anteil der

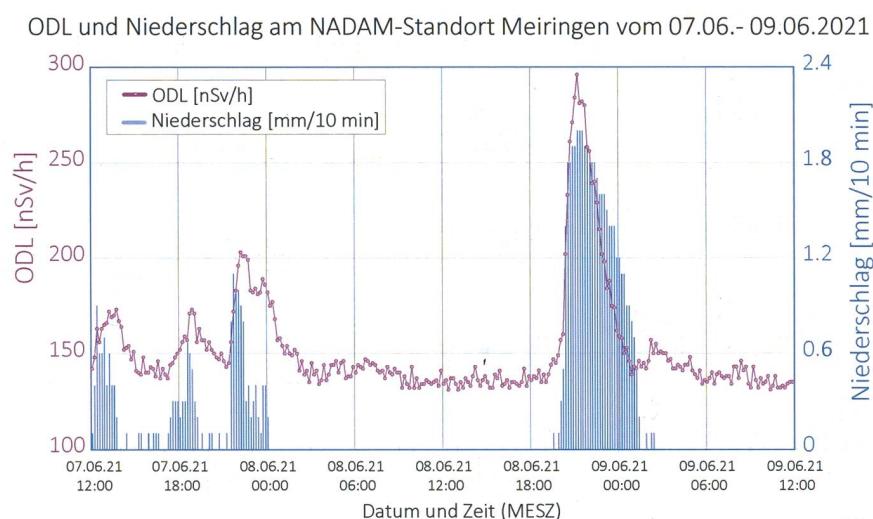
oberhalb von 163 nSv/h gemessenen ODL-Werte ohne Niederschlag ist sehr gering und mit der logarithmischen Skalierung nicht sichtbar.

In Figur 8 ist die Korrelation der im Jahr 2021 in Meiringen gemessenen ODL-Werte mit Niederschlag dargestellt. In dieser Darstellung mit der linearen Skala sind oberhalb von 163 nSv/h noch vereinzelte 10 min-ODL-Werte ohne Niederschlag zu erkennen, die in der sehr trockenen zweiten Aprilhälfte registriert wurden. Die ODL-Werte über 175 nSv/h stehen dann vollständig in Bezug zu einem Niederschlagsereignis.

Im Wertebereich um 140 nSv/h, nahe beim häufigsten Messwert und beim Jahresmittelwert, wurde nur ein geringer Anteil der Werte während oder kurz nach Niederschlag registriert. Hingegen ist zwischen 110 und 130 nSv/h ein erhöhter Anteil Messwerte mit Bezug zu Niederschlag zu erkennen. Diese wurden mehrheitlich während oder nach Schneefall gemessen, der zu einer Schneedecke und damit zu diesen tieferen ODL-Werten geführt hatte.

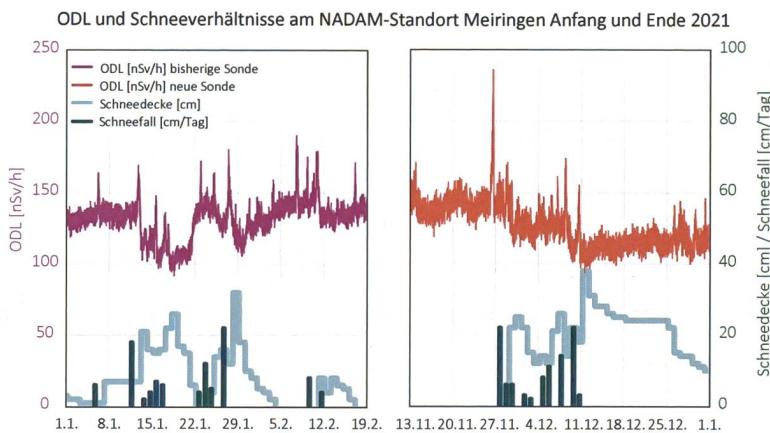
Kennzahlen und Eckwerte zu den Messungen im NADAM-Netz im Jahr 2021

Für alle NADAM-Stationen sind für das Jahr 2021 die ODL-Jahresmittelwerte, die häufigsten Werte, Minima und Maxima der ODL-10 min-Mittelwerte in Tabelle 1 zusammengestellt. Verglichen mit anderen Jahren gibt es keine Auffälligkeiten. Die höchsten ODL-Jahresmittelwerte



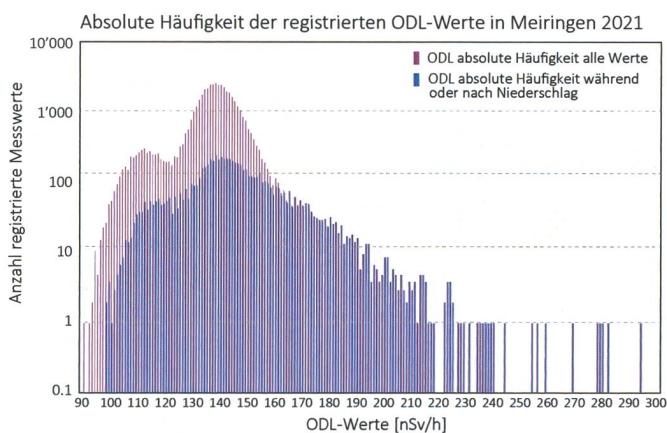
Figur 5:

Verlauf der 10 min-ODL-Werte und der Niederschlagsmenge am Standort Meiringen vom 07.06. bis 09.06.2021. Nach 20h ohne Regen fielen am 08.06.2021 ab ca. 22:00 Uhr MESZ 46mm Niederschlag innerhalb von 6 h. Deutlich sichtbar ist der kurzzeitige Anstieg der natürlichen ODL bei einsetzendem Regen.



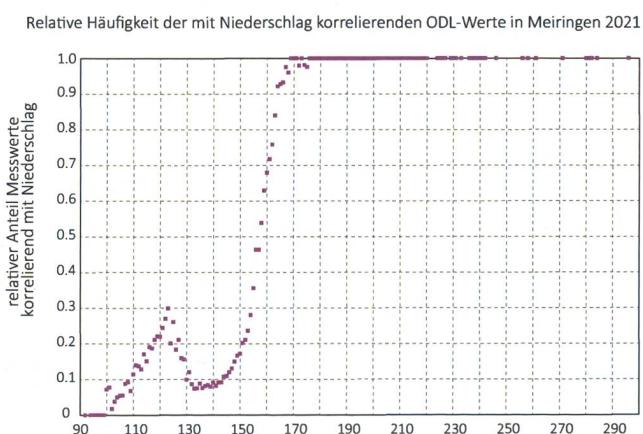
Figur 6:

Verlauf der ODL in Abhängigkeit von Schneedecke und Schneefall in Meiringen in den ersten und letzten 7 Wochen des Jahres 2021. Der Schneefall am 12. Januar führte zu einer dickeren Schneedecke als bei Jahresbeginn und damit zu einer geringeren ODL am Sondenstandort. Gut zu erkennen ist das zur Dicke der Schneedecke gegenläufige Verhalten der ODL, sowohl in den ersten als auch in den letzten Wochen des Jahres.



Figur 7:

Verteilung der 10 min-ODL-Werte für die Station Meiringen im Jahr 2021, logarithmisch skaliert.
Rot: Alle Messwerte, blau: Messwerte, die zeitnah mit erfolgtem Niederschlag registriert wurden.



Figur 8:

Anteil der 10 min-ODL-Werte für die Station Meiringen im Jahr 2021, welche innerhalb von 10min vor oder 50min nach Niederschlag gemessen wurden. Für Werte oberhalb 175 nSv/h liegt dieser Anteil bei 1.

wurden, den langjährigen Erfahrungen entsprechend, auf den Stationen Jungfraujoch und Vicosoprano festgestellt.

Der Niederschlagseffekt, also der Umstand, dass bei einsetzendem Niederschlag eine höhere ODL auftritt, war im Jahr 2021 an den Standorten Stabio TI (niederschlagsbedingter Maximalwert liegt 137% über dem Jahresmittelwert), St. Gallen SG (145%) und Poschiavo-Robbia GR (164%) am stärksten ausgeprägt. Die daraus resultierenden Höchstwerte sind auch in Figur 2 dargestellt, als Obergrenze der eingetragenen Messwertbereiche.

Am detailliert betrachteten Sondenstandort Meiringen lagen 2021 der Jahresmittelwert und der häufigste Messwert bei 139 respektive 140 nSv/h, also sehr nahe beieinander, da es keine Einflüsse gab, welche die ODL über lange Zeit stark beeinflussten. Mittelwerte, die am Deutlichsten unter den häufigsten Messwerten lagen, wurden 2021 wie schon im Vorjahr in Ulrichen VS (17% tiefer) und Gütsch ob Andermatt (19% tiefer) ermittelt. Standorte mit deutlich unter dem Jahresmittelwert liegenden häufigsten Messwert sind 2021 keine aufgefallen.

Erkenntnisse und Ausblick

Im Jahr 2021 wurden keine Werte gemessen, die auf eine erhöhte Strahlenbelastung der Bevölkerung schließen lassen. In einem einzigen Fall wurden aufgrund des Einsatzes einer Strahlungsquelle in der Nähe eines Sondenstandortes erhöhte ODL-Werte gemessen, allerdings unterhalb der Alarmschwelle. Ansonsten wurden nur einzelne technische Störungen bei der Messung oder der Datenübertragung registriert. Die NADAM-Sonden sind stabil und zuverlässig.

Im Vergleich mit anderen Jahren gab es bezüglich Ortdosiseistung in der Schweiz im Jahr 2021 keine grossen Auffälligkeiten.

Ende 2021 waren noch zehn der bisherigen NADAM-Sonden in Betrieb. Für das Jahr 2022 ist deren vollständiger Ersatz durch das neue Modell GT XL2-2 von Bertin GmbH vorgesehen, womit das Projekt «Werterhalt NADAM 2020» abgeschlossen wird.

Tabelle 1:

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

Jahresmittelwerte, die häufigsten Werte, Minima und Maxima der ODL-10 min-Mittelwerte für alle NADAM-Stationen im Jahr 2021

Station	Kanton	Datum Inbetriebnahme	Datum Sonnenwechsel NADAM 2020	Höhe [m.ü.M]	Jahresmittelwert	Häufigster Wert [nSv/h]		
							Minimum	Maximum
Adelboden (ABO)	BE	04.11.09	-	1'322	111.9	112	86	204
Aigle (AIG)	VD	09.09.09	07.10.21	382	127.7	126	100	211
Altendorf (ALT)	UR	28.10.09	11.10.21	439	126.7	124	92	204
Basel-Binningen (BAS)	BS	19.11.09	14.10.21	317	114.5	113	90	183
Bern-Zollikofen (BER)	BE	30.09.09	08.06.21	554	105.6	105	83	172
Beznau (BEZ)	AG	19.11.09	25.08.21	327	103.6	103	82	183
Bière (BIE)	VD	12.01.17	15.04.21	684	100.3	99	78	188
Buchs/Aarau (BUS)	AG	20.11.09	14.06.21	388	98.6	98	78	198
La Chaux-de-Fonds (CDF)	NE	17.09.09	13.09.21	1'018	120.0	123	78	214
Nyon-Changins (CGI)	VD	23.09.09	29.09.21	459	107.6	104	83	193
Chasseral (CHA)	BE	17.09.09	-	1'594	117.4	122	83	213
Chur (CHU)	GR	09.10.09	12.10.21	557	104.8	103	72	166
Cham (CHZ)	ZG	29.01.18	10.06.21	442	104.9	103	80	219
Cressier (CRM)	NE	03.11.16	01.10.20	431	87.8	86	70	164
Davos (DAV)	GR	08.10.09	02.06.21	1'589	138.3	153	82	215
Delémont (DEM)	JU	03.11.16	27.10.21	439	117.2	115	97	215
Disentis/Sedrun (DIS)	GR	28.10.09	21.09.21	1'197	107.6	109	74	217
La Dôle (DOL)	VD	23.09.09	-	1'670	118.2	120	87	210
Egolzwil (EGO)	LU	22.09.10	16.08.21	523	92.1	90	73	157
Engelberg (ENG)	OW	30.10.09	01.09.21	1'035	94.3	98	63	181
Fahy/Boncourt (FAH)	JU	14.10.09	31.05.21	597	119.9	121	98	198
Bullet/La Frêtaz (FRE)	VD	24.09.09	29.09.20	1206	108.5	111	69	180
Glarus (GLA)	GL	02.12.09	28.06.21	518	95.5	96	64	177
Gösgen (GOE)	SO	20.11.09	22.06.21	381	103.3	103	81	182
Fribourg-Posieux (GRA)	FR	13.01.17	18.05.21	646	101.8	100	83	169
Grenchen (GRE)	SO	06.12.10	30.03.21	431	95.4	93	72	166
Col du Gd-St-Bernard (GSB)	VS	09.09.09	30.09.20	2'491	133.2	143	100	188
Gütsch ob Andermatt (GUE)	UR	01.09.05	10.08.21	2'296	149.4	185	95	235
Güttingen (GUT)	TG	03.12.09	28.10.21	441	101.4	99	73	216
Genève (GVE)	GE	24.09.09	27.10.20	412	102.9	101	83	306*
Hallau (HLL)	SH	29.01.18	02.06.21	419	122.7	122	93	214
Hörnli (HOE)	ZH	12.11.09	08.09.21	1'133	94.7	93	72	183
Jungfraujoch (JUN)	VS	29.09.09	07.09.21	3'581	189.8	188	157	326
Kloten/Zürich (KLO)	ZH	24.11.09	11.11.21	427	104.0	102	79	178
Koppigen (KOP)	BE	13.01.17	27.10.21	484	117.2	116	92	211
Leibstadt (LEI)	AG	19.11.09	22.09.21	342	105.7	108	78	202
Lugano (LUG)	TI	21.10.09	15.12.21	273	127.7	126	102	232
Luzern (LUZ)	LU	05.11.09	29.06.21	455	105.8	104	85	193
Magadino-Cadenazzo (MAG)	TI	22.10.09	27.10.21	204	129.6	126	104	304
Meiringen (MER)	BE	06.10.11	12.10.21	590	139.4	140	92	296
Le Moléson (MLS)	FR	19.08.09	12.05.21	1'975	107.4	109	81	192
Mosen (MOA)	LU	19.01.18	13.08.21	452	96.7	95	74	182
Möhlin (MOE)	AG	09.09.10	09.06.21	341	113.2	114	86	213
Mühleberg (MUB)	BE	15.10.09	08.06.21	481	109.8	111	76	183
Napf (NAP)	BE	05.11.09	10.06.21	1'405	97.6	102	65	181
Neuchâtel (NEU)	NE	10.12.09	21.09.21	485	93.2	93	76	168
Oron (ORO)	VD	29.02.12	04.06.21	828	106.2	107	73	190
Locarno-Monti (OTL)	TI	22.10.09	22.11.21	368	151.0	147	130	271
Payerne (PAY)	VD	13.08.09	28.09.20	490	102.6	101	84	192
Piotta (PIO)	TI	29.10.09	-	990	150.4	158	77	298
Plaffeien (PLF)	FR	14.08.09	-	1'043	122.1	122	98	206
Paul Scherrer Institut (PSI)	AG	27.07.11	23.06.21	335	99.4	100	78	168
Pully (PUY)	VD	23.09.09	22.10.21	456	108.9	112	92	184
Zürich-Affoltern (REH)	ZH	13.11.09	26.04.21	444	102.4	101	79	164
Poschiavo-Robbia (ROB)	GR	07.10.09	11.11.21	1'079	148.6	152	82	393
Rünenberg (RUE)	BL	20.11.09	07.10.21	612	101.1	101	78	185
Säntis (SAE)	AI	11.11.09	20.10.21	2'503	122.9	124	95	286
Samedan (SAM)	GR	25.08.09	24.06.21	1'710	142.8	161	89	328
San Bernardino (SBE)	GR	29.10.09	06.07.21	1'640	141.6	161	80	229
Stabio (SBO)	TI	21.10.09	-	352	131.2	130	108	311
Scuol (SCU)	GR	27.08.09	10.06.21	1'305	109.9	118	62	240
Schaffhausen (SHA)	SH	04.12.09	26.08.21	439	102.9	103	79	171
Sion (SIO)	VS	10.09.09	10.11.21	482	127.4	126	86	246
Zürich-Fluntern (SMA)	ZH	24.11.09	04.11.21	557	110.5	111	86	180
Santa Maria (SMM)	GR	15.12.11	01.07.21	1'385	138.9	146	80	277
St. Gallen (STG)	SG	12.11.09	07.09.21	777	98.0	98	67	240
Aadorf/Tänikon (TAE)	TG	03.12.09	-	539	95.4	95	71	172
Thun (THU)	BE	29.01.18	15.10.21	570	90.5	89	68	184
Ulrichen (ULR)	VS	04.11.09	18.08.21	1'347	135.4	163	46	247
Vaduz (VAD)	FL	03.12.09	30.09.21	458	101.3	99	70	200
Vicosoprano (VIO)	GR	06.02.13	23.09.21	1'089	177.6	193	81	294
Visp (VIS)	VS	11.09.09	20.09.21	640	125.9	126	86	206
Villars-Tiercelin (VIT)	VD	29.01.18	-	859	119.7	121	89	205
Wädenswil (WAE)	ZH	02.12.09	-	487	106.5	106	79	225
Wynau (WYN)	BE	15.10.09	02.06.21	423	100.3	99	73	209
Zermatt (ZER)	VS	11.09.09	-	1'640	124.2	132	74	208

* Genève: Der Maximalwert von 306 nSv/h wurde wie oben diskutiert während des Einsatzes einer Strahlungsquelle in der Nähe der NADAM-Station registriert.

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

C. Poretti

Nationale Alarmzentrale, Guisanplatz 1B, Bern

St. Maillard

Kompetenzzentrum ABC-KAMIR, Spiez

Zusammenfassung

Bei den Messflügen im Juni/Juli und November 2021 wurde turnusgemäß die Umgebung der Kernkraftwerke Gösgen (KKG) und Mühleberg (KKM) abgedeckt. Zudem wurden die Messungen ausserhalb der Notfallschutzzone 2 südöstlich des KKG bis 50 km Distanz ergänzt. Die Ergebnisse bei den Kernkraftwerken lagen im Bereich der Ergebnisse aus früheren Jahren. Weitere Messflüge erfolgten im Tessin (Stadt Lugano und weitere kleinere Gebiete), in der Waadt sowie über den Städten Wil/SG und Frauenfeld/TG. Zwei Profile von Rüthi/ZH nach Châtel-Saint-Denis/FR und von Saint-Léger-La-Chiézaz/VD nach Eschenbach/SG komplettierten die Messungen. In diesen Arealen wurden Schwankungen des Gehalts an natürlichen Radionukliden im Boden und die Absorption von terrestrischer Gammastrahlung durch Seen und Flüsse registriert. In einzelnen Gebieten konnten noch ^{137}Cs -Depositionen detektiert werden, die vom Fallout der bisherigen Nuklearwaffentests sowie der Katastrophe in Tschernobyl stammen. Zusätzlich wurden über dem Neuenburgersee Höhenprofile zur Charakterisierung der neuen Messsysteme durchgeführt.

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.

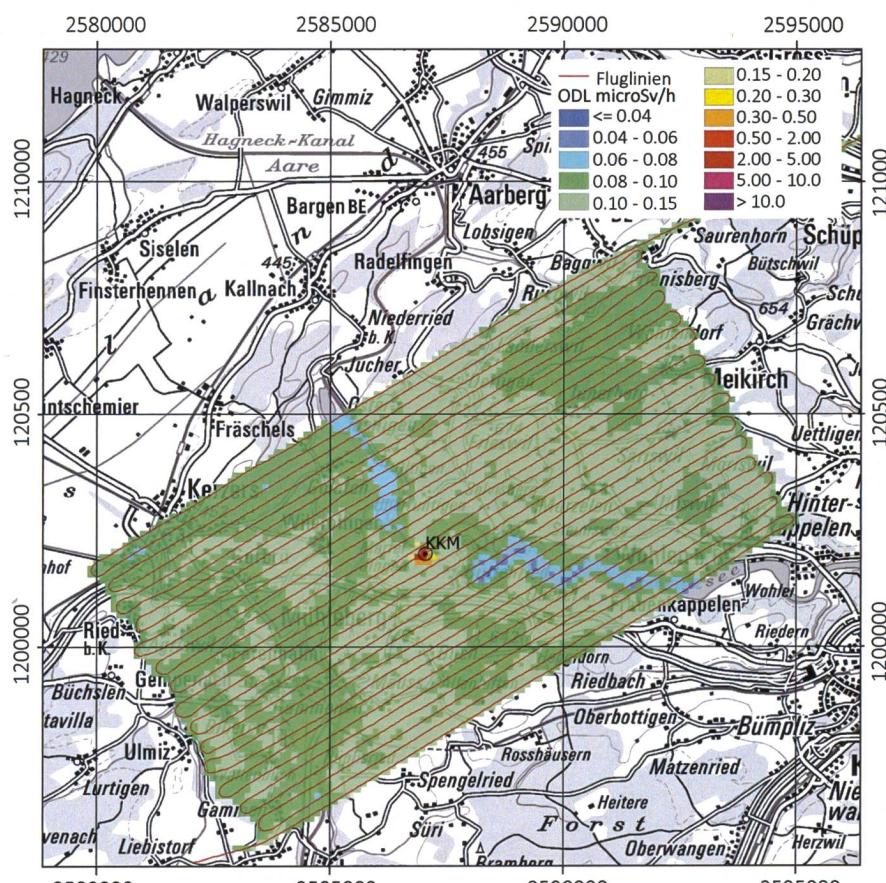
Als mögliche Einsatzfälle stehen KKW-Störfälle, Transport- und Industrieunfälle mit radioaktivem Material, Abstürze von Satelliten mit Radionuklidbatterien und «Dirty Bombs» im Vordergrund. Die jährlichen Messprogramme werden durch die Fachgruppe Aeroradiometrie zusammengestellt, die sich aus Mitgliedern 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 Operator (Messspezialisten an Bord), Piloten und Bodenpersonal, werden jährlich durch die NAZ und das 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%).

Mit den Messflügen 2018 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.

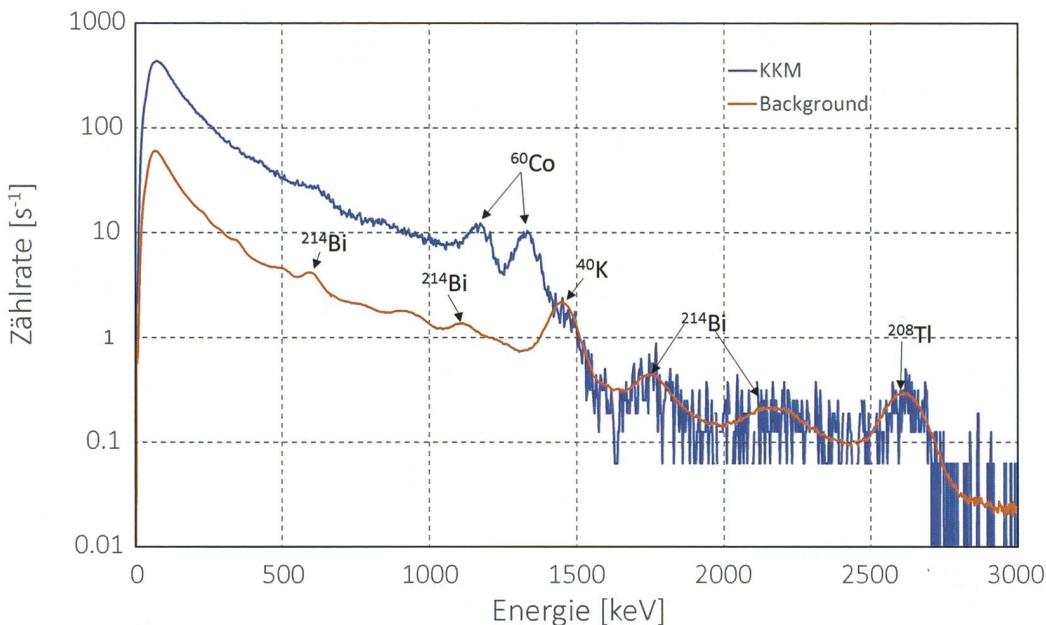
Messungen und Messresultate 2021

Vom 28. Juni bis 2. Juli 2021 wurde turnusgemäß die Umgebung der Kernkraftwerke Gösgen (KKG) und Mühleberg (KKM) ausgemessen. Im Rahmen der Messflüge wurden zudem die Messungen ausserhalb der Notfallschutzzone 2 von KKG in südöstlicher Richtung bis 50 km erweitert. Weiter wurden Messungen im Tessin (Stadt Lugano, kleine Gebiete bei Stabio, Balerna, Ronchini, Demanio, Lodrino, Monte di Pudo) und in der Ostschweiz (Städte Wil/SG und Frauenfeld/TG) durchgeführt. Zwei Profile von Rüthi/ZH nach Châtel-Saint-Denis/FR und von Saint-Légier-La-Chêzaz/VD nach Eschenbach/SG komplettierten die Messungen.



Figur 1:

Ortsdosisleistung $H^*(10)$ im Jahr 2021 für das Messgebiet KKM.
Kartendaten PK200 © swisstopo.



Figur 2:

Gemittelte Spektren im Bereich des Betriebsgeländes KKM und in der weiteren Umgebung (Background). Im Background-Spektrum sind nur die wichtigsten Peaks von natürlichen Radionukliden angegeben.

Weitere Messflüge wurden im Zeitraum vom 9. bis 13. November 2021 mit Schwerpunkt in der Region von Nyon/VD und dem Vallée de Joux/VD durchgeführt.

Die detaillierten Ergebnisse sämtlicher Messungen werden in einem PSI-Bericht im Verlauf des Jahres 2022 publiziert (Butterweck et al., 2022).

Die Messresultate im Messgebiet von KKG und KKM zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegangenen Messkampagnen. Am Standort des KKM können in der Ortsdosisleistungskarte (Figur 1) erhöhte Messwerte erkannt werden. Diese sind auf Komponenten mit dem Aktivierungsprodukt ^{60}Co zurückzuführen, die beim Rückbau auf dem Betriebsareal des KKM zwischengelagert werden. Die entsprechenden Gammalinien von ^{60}Co konnten im Spektrum deutlich identifiziert werden (Figur 2). Im Background-Spektrum sind ausschliesslich Peaks natürlicher Radionuklide zu erkennen. Ausserhalb des Betriebsareals des KKM sowie im ganzen Messgebiet des KKG (Figur 3) liegen die Messwerte im erwarteten Bereich. Unterschiede sind auf Einflüsse der Topographie wie geologischer Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen.

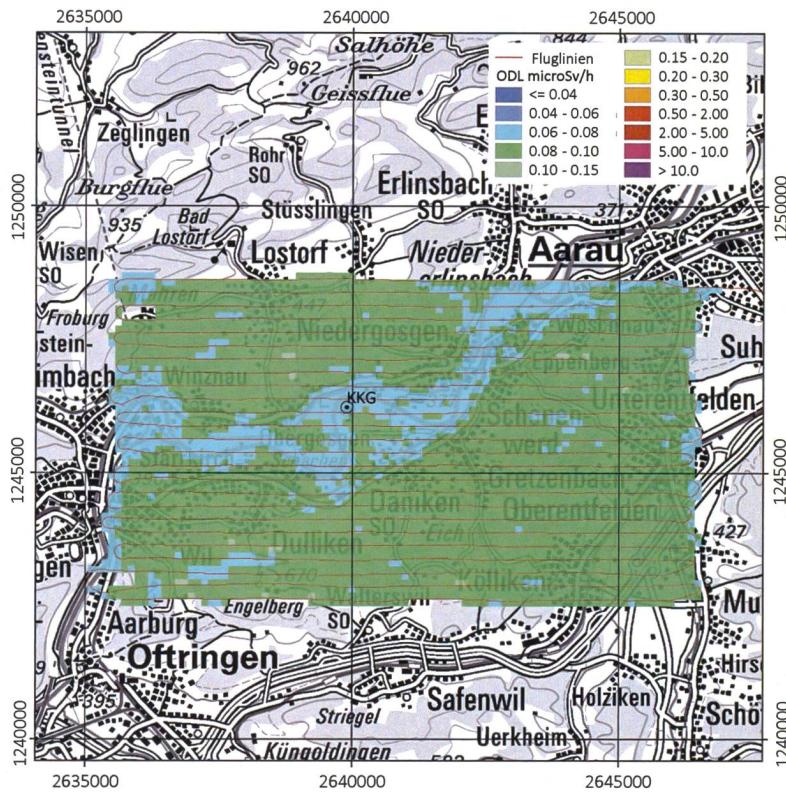
Die Ergebnisse der übrigen Messgebiete zeigten vor allem Schwankungen des Gehalts an natürlichen Radionukliden im Boden und die Absorption von terrestrischer Gammastrahlung durch Seen und Flüsse auf. Die Werte entsprechen den Erwartungen. In den Figuren 4, 5, 6 und 7 sind die Ortsdosisleistungskarten der Messungen ausserhalb der Notfallschutzzone 2 des KKG (Figur 4) sowie über den Städten Frauenfeld (Figur 5), Lugano und Wil (Figur 6) und

im Gebiet Nyon/Vallée de Joux (Figur 7) dargestellt.

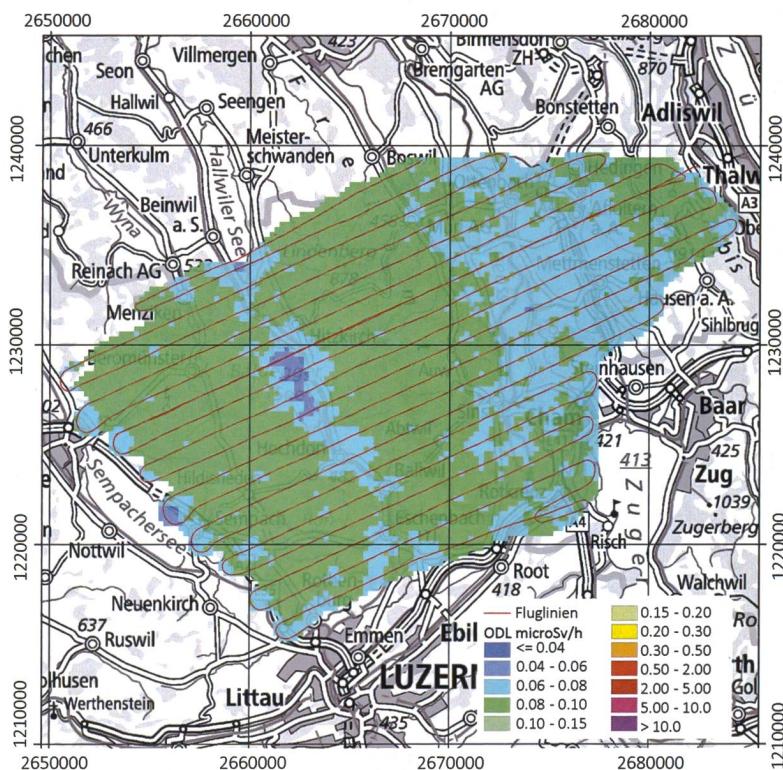
In den Messgebieten im Tessin und in der Westschweiz konnten teilweise ^{137}Cs -Depositionen detektiert werden, die vom Fallout bisheriger Nuklearwaffentests und des Tschernobyl-Ereignisses stammen. Die Vergleiche der aeroradiometrischen Ergebnisse mit Ergebnissen von Bodenmessungen sowie Karten aus wissenschaftlichen Publikationen zeigten eine gute Übereinstimmung innerhalb der Unsicherheiten. Detailliertere Informationen finden sich in Butterweck et al. (2022).

Literatur

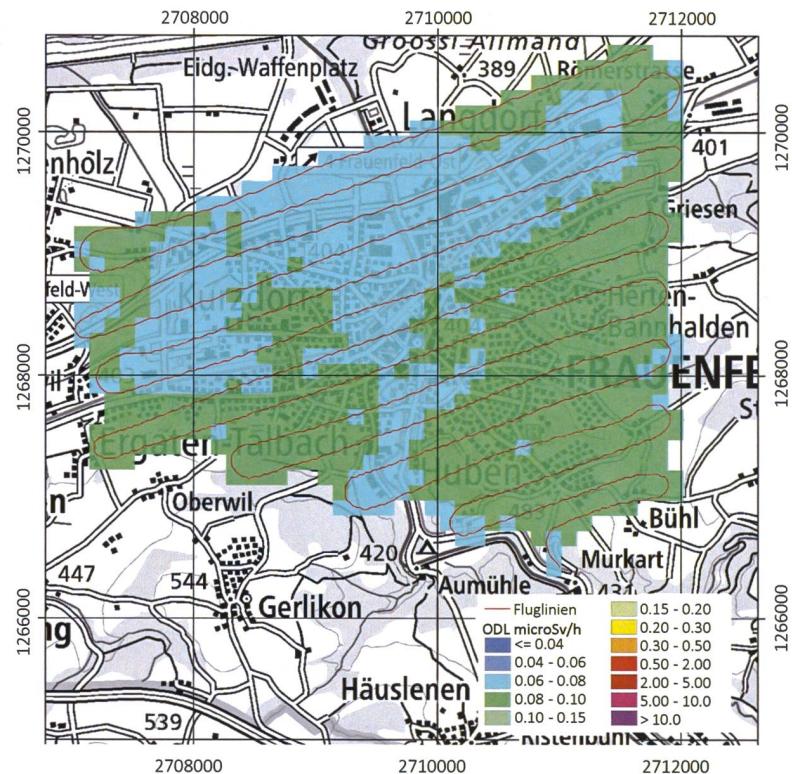
- Schwarz, G. F., 1991: Methodische Entwicklungen zur Aerogammapektrometrie. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geophysik Nr.23, Schweizerische Geophysikalische Kommission.
- Bucher, B., Rybach, L., 2010: Flächendeckende Langzeitanalyse der Strahlung in der Umgebung der Schweizer Kernanlagen mit Hilfe 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., Breitenmoser, D., Rybach L., Poretti, C., Maillard, S., Kasprzak, M., Hess, A., Scharding G., Mayer, S., 2022: Aeroradiometric Measurements in the Framework of the Swiss Exercise ARM21. PSI Bericht Nr. 22-02. March 2022. ISSN 1019-0643.



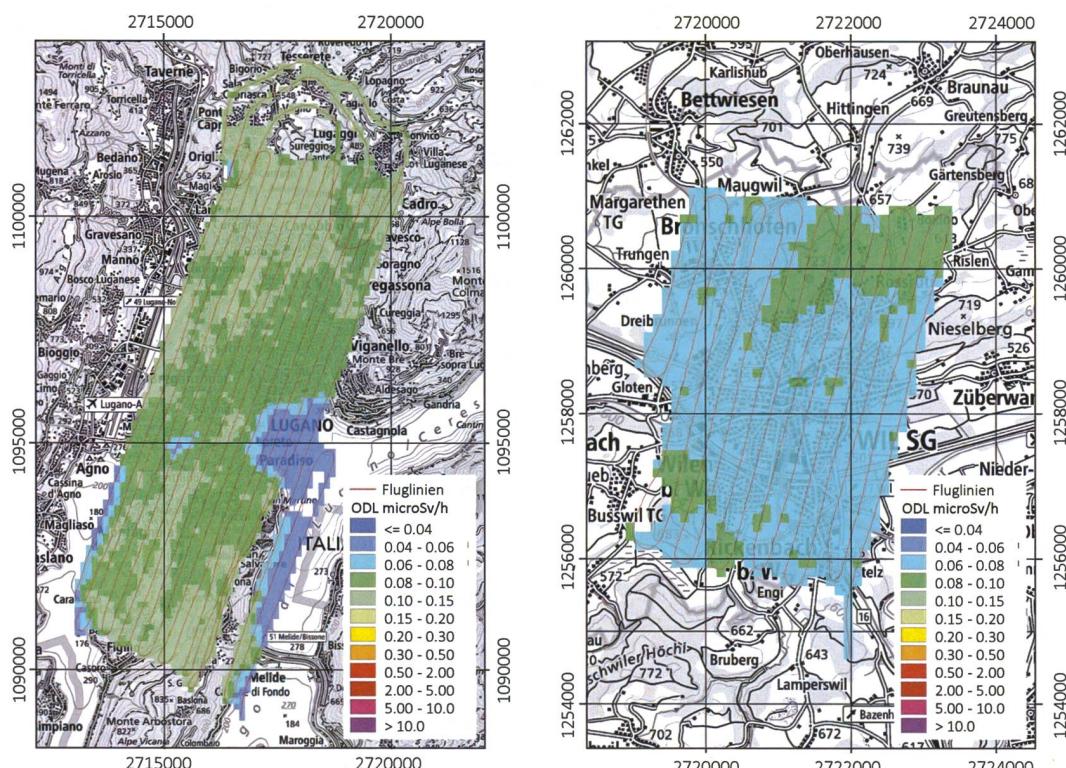
Figur 3:
Ortsdosisleistung $H^*(10)$ im Jahr 2021 für das Messgebiet KKG. Kartendaten PK200 © swisstopo.



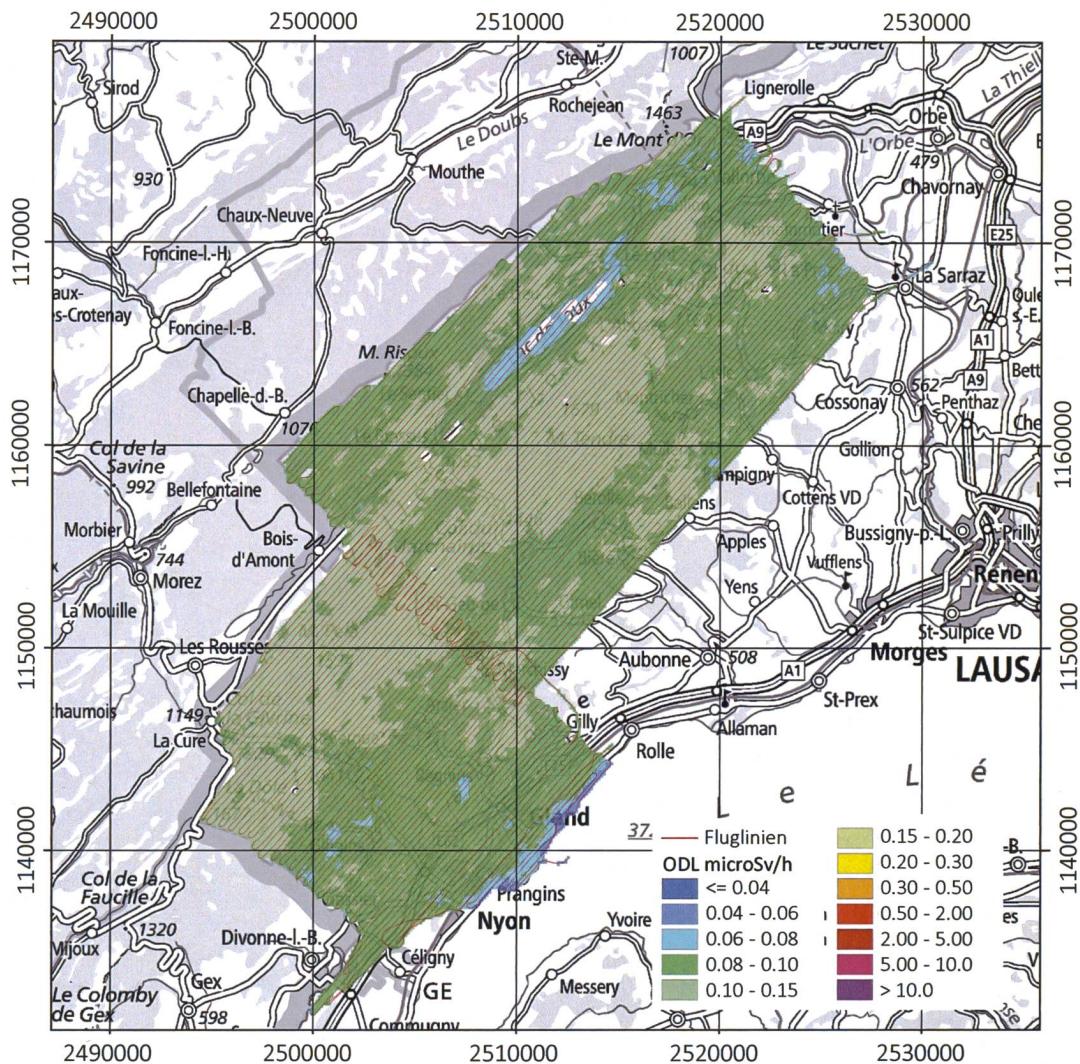
Figur 4:
Ortsdosisleistung 2021 $H^*(10)$ im Messgebiet ausserhalb der Notfallschutzzone 2 südöstlich von KKG. Kartendaten PK500 © swisstopo.



Figur 5:
Ortsdosisleistung $H^*(10)$ 2021 für das Messgebiet Frauenfeld/TG.
Kartendaten PK100 © swisstopo.



Figur 6:
Ortsdosisleistung $H^*(10)$ im Jahr 2021 für die Messgebiete der Städte Lugano/TI und Wil/SG.
Kartendaten PK100 © swisstopo.



Figur 7:

Ortsdosisleistung $H^*(10)$ im Jahr 2021 für das Messgebiet Nyon/VD und Vallée de Joux/VD.
Kartendaten PK500 © swisstopo.

