

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: - (2015)

Rubrik: Externe Strahlung = Rayonnement externe

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.02.2026

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

Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz

Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse

Ergebnisse 2015
Résultats 2015



3

Externe Strahlung Rayonnement externe

Mesures in situ et exposition externe	37
Résumé	37
Introduction	38
Méthodologie in situ	38
Résultats in situ 2015	39
Conclusions	41
Die automatische Überwachung der Ortsdosisleistung mit NADAM	42
Zusammenfassung	42
Einleitung	43
Jahresmittelwerte und Erfahrungsbereiche 2015	44
Die europäische Plattform EURDEP	45
Qualitätssicherung	46
Die automatische Überwachung der Ortsdosisleistung mit NADAM	48
Zusammenfassung	48
Einleitung	48
Messungen und Messresultate 2015	50



3.1

Mesures in situ et exposition externe

S. Estier
A. Gurtner
 Section Radioactivité
 de l'environnement
 URA / OFSP
 3003 Bern

Résumé

En 2015, les mesures in situ ont essentiellement porté sur le voisinage des centrales nucléaires et des centres de recherche (PSI et CERN) ainsi que sur le suivi de la contamination rémanente en ^{137}Cs issue des essais nucléaires atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl. Même si cette contamination reste plus importante au Tessin et localement dans les régions montagneuses (Alpes, Jura) par rapport au Plateau suisse, les résultats in situ 2015 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 24 est de signaler des augmentations anormales de l'exposition ambiante. Ces mesures, comme celles des dosimètres à thermoluminescence, recensent l'exposition ambiante globale sans permettre d'en distinguer les composantes individuelles. Les mesures de spectrométrie gamma effectuées en laboratoire sur des échantillons en surveillance normale visent, quant à elles, avant tout la mise en évidence de traces de radionucléides. Les résultats ont un caractère très local et ne renseignent pas sur l'exposition ambiante. Pour combler cette lacune, les laboratoires mobiles de l'OFSP (Section URA, Berne), de l'IFSN (Villigen), du Laboratoire de Spiez et de l'IRA (Lausanne) misent sur la spectrométrie gamma directe sur site (in situ). En effet, cette méthode possède l'avantage de permettre l'identification des radionucléides (émetteurs gamma) présents sur le site, d'estimer leurs activités et de calculer leur contribution individuelle à l'exposition du public. La spectrométrie gamma in situ informe ainsi de manière sensible et réaliste sur les concentrations moyennes des radionucléides gamma ainsi que sur l'exposition ambiante qui en résulte.

Méthodologie in situ

L'exploitation de la spectrométrie gamma in situ en Suisse se base largement sur les recommandations ICRU¹, notamment pour la détermination de l'activité des radionucléides présents sur le site. Les coefficients de conversion permettant l'évaluation des diverses contributions au débit d'exposition à partir des concentrations radioactives dans le sol ont par contre été revus par rapport à ceux de la publication ICRU 53, car ils ne correspondaient plus aux standards actuels. En effet, la grandeur dosimétrique de référence pour la détermination de l'exposition du public (irradiation externe) est aujourd'hui l'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$, exprimé en [nSv/h], et non plus le débit de kerma dans l'air, en [nGy/h]. Les coefficients de conversion actuellement utilisés au laboratoire de l'OFSP sont détaillés plus bas^{2,3}.

Lors d'une mesure sur le terrain, un spectre gamma est enregistré et l'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ global est mesuré simultanément sur le site à l'aide d'une chambre d'ionisation. L'analyse du

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 <http://www.bag.admin.ch/ksr-cpr/04340/04784/04843/index.html?lang=fr>

spectre gamma in situ permet tout d'abord d'identifier les différents radionucléides naturels et artificiels présents sur le site puis, en se référant à la publication ICRU 53, de calculer leur concentration radioactive respective dans le sol en [Bq/kg] ou [Bq/m²], pour peu que la distribution de chacun d'eux soit connue (déposition en surface, distribution homogène des radionucléides dans le sol, décroissance exponentielle, etc.).

L'étape suivante consiste à évaluer les contributions individuelles au débit de dose ambiant des divers radionucléides identifiés sur le spectre in situ à partir de leur concentration radioactive calculée précédemment. Les facteurs de conversion de l'activité spécifique au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ utilisés par notre laboratoire pour les séries 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 part ionisante cosmique calculée à l'altitude du site. Notons que la formule permettant de calculer la contribution du rayonnement cosmique au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ a également dû 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 par chambre d'ionisation. Cette démarche ne fournira que la contribution artificielle globale au débit d'équivalent de dose ambiant, mais possède l'avantage de ne nécessiter ni échantillonnage, ni hypothèse sur la distribution des radionucléides artificiels dans le sol. Si par contre, la distribution dans le sol de chacun des radionucléides artificiels présents sur le site est connue, on choisira plutôt de calculer leur contribution respective à l'exposition à partir de leur concentration radioactive dans le sol.

La somme des contributions naturelles et artificielles calculées à partir des spectres in situ est finalement comparée à la valeur globale mesurée avec la chambre d'ionisation, afin d'évaluer la fiabilité de la méthode de reconstitution.

Tableau 1:

Facteurs de conversion de l'activité spécifique en débit d'équivalent de dose ambiant $H^(10)$ utilisés par l'OFSP pour les séries naturelles de ^{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

Résultats in situ 2015

Conformément au programme de surveillance habituel, les mesures in situ ont été réalisées au voisinage des centrales nucléaires de Beznau (KKB), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) et Mühleberg (KKM) et des centres de recherche (PSI, ZWILAG, CERN) ainsi qu'au sommet de deux cols alpins (Grimsel et Nufenen) et au Tessin, région de Suisse la plus touchée par les retombées de l'accident de Tchernobyl. Des mesures par spectrométrie gamma in situ ont également été effectuées sur les trois sites de référence pour la surveillance de la radioactivité dans l'environnement en Suisse, à savoir Grangeneuve-Posieux/FR, Göttingen/TG et Cadenazzo/Ti.

En 2015, cette technique de mesure a également été mise en œuvre pour la détection du ^{226}Ra dans le cadre des examens de sites contaminés par des héritages radiologiques du passé, notamment à La Chaux-de-Fond.

Les contributions respectives au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ des différents radionucléides identifiés par spectrométrie gamma in situ (descendants compris pour les séries naturelles) sont représentées sur les figures 1 à 3 pour les principaux sites suisses examinés en 2015 (hors sites contaminés au radium). Ces contributions ont été calculées à partir des spectres gamma in situ, en supposant une distribution homogène de tous les radionucléides dans le sol (y compris le ^{137}Cs artificiel). La valeur de la mesure globale avec chambre d'ionisation, ainsi que son incertitude, sont également représentées et permettent d'apprécier la fiabilité de la reconstitution.

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

En comparant les résultats des figures 1 et 2, il apparaît tout d'abord que les radionucléides détectés au voisinage des centrales nucléaires et des centres de recherche (PSI, ZWILAG, CERN) ainsi que leur contribution au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ ne se distinguent pas significativement de ceux enregistrés sur les sites de référence, situés hors influence de ces installations, comme Güttingen ou Posieux. Le seul radionucléide d'origine artificielle mis en évidence sur les spectres in situ en 2015 est le ^{137}Cs . Ce dernier a été enregistré sur tous les sites de mesure. Cette méthode montre par ailleurs que les valeurs plus élevées de débit de dose enregistrées à Salvisberg, Niederruntigen et Ufem Horn, proches de la centrale nucléaire de Mühleberg, 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.

Au Tessin, la contamination rémanente en ^{137}Cs , issue des retombées des essais nucléaires des an-

nées 50 et 60 et surtout de celles de l'accident de Tchernobyl, est toujours clairement visible. Comme le montre la figure 3, les concentrations de ce radionucléide dans le sol varient de façon importante d'un site à l'autre au sein du canton, il s'avère donc difficile de définir une valeur de référence unique pour la contamination du sol en ^{137}Cs au Tessin. Ces variations s'expliquent d'une part par les différences de dépositions initiales, directement proportionnelles aux précipitations lors du passage du nuage radioactif post-tchernobyl, et fonction de l'altitude pour les contributions des essais atomiques des années 60, et d'autre part par les différences de nature et de traitement des sols depuis 1986 (travaux, sols retournés ou non, etc.).

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

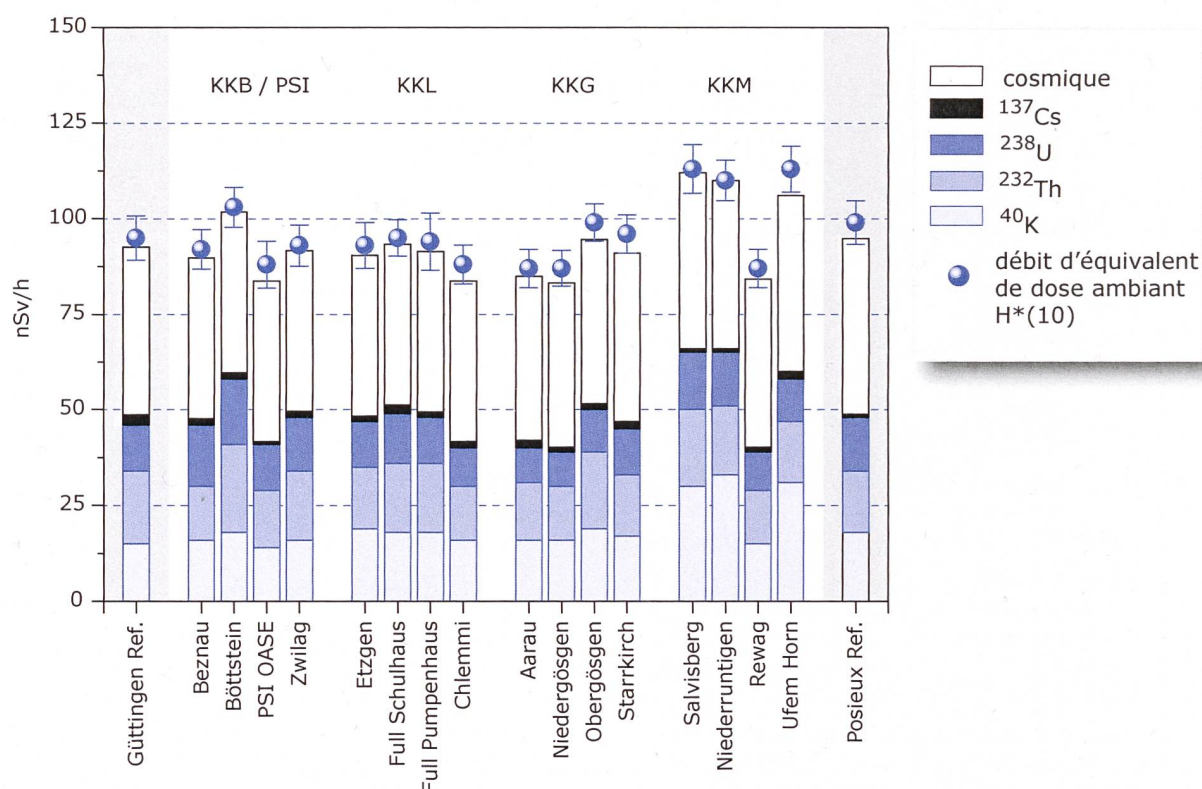


Figure 1:

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 2015 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.

Conclusions

Les mesures de spectrométrie gamma in situ réalisées par l'OFSP en 2015 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.

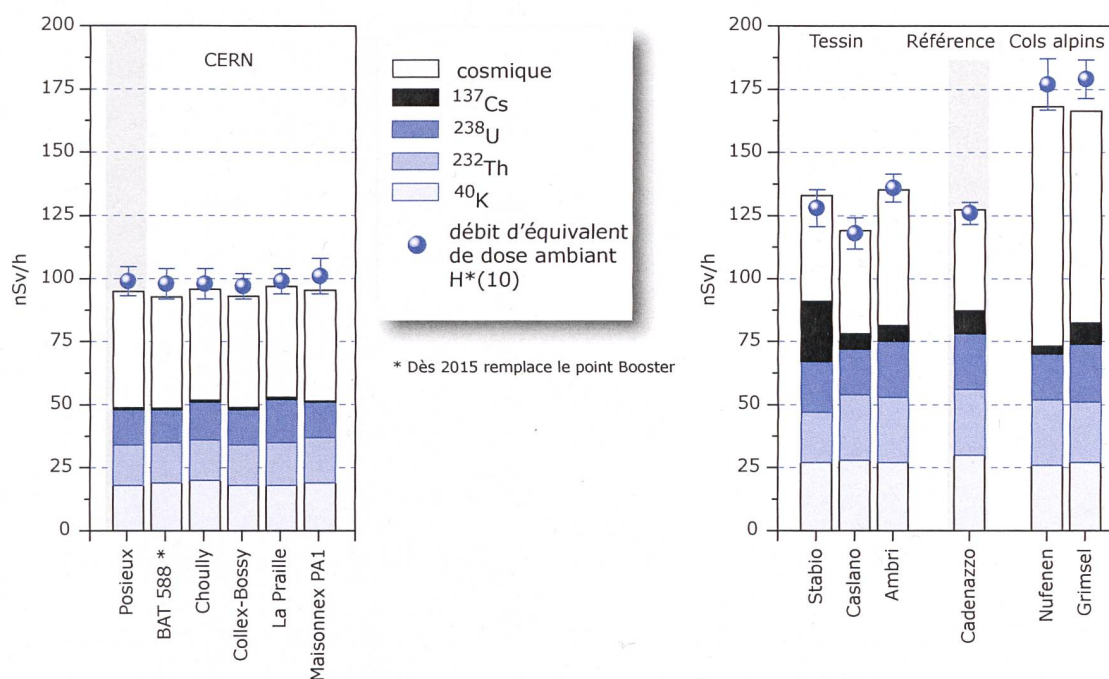


Figure 2:

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 2015 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.

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 2015 au Tessin, dans les Grisons ainsi que sur les 3 sites de référence (en grisé: Cadenazzo site de référence pour le sud des Alpes) pour la surveillance de la radioactivité dans l'environnement. La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ avec chambre d'ionisation est également représentée.

3.2

Die automatische Überwachung der Ortsdosisleistung mit NADAM

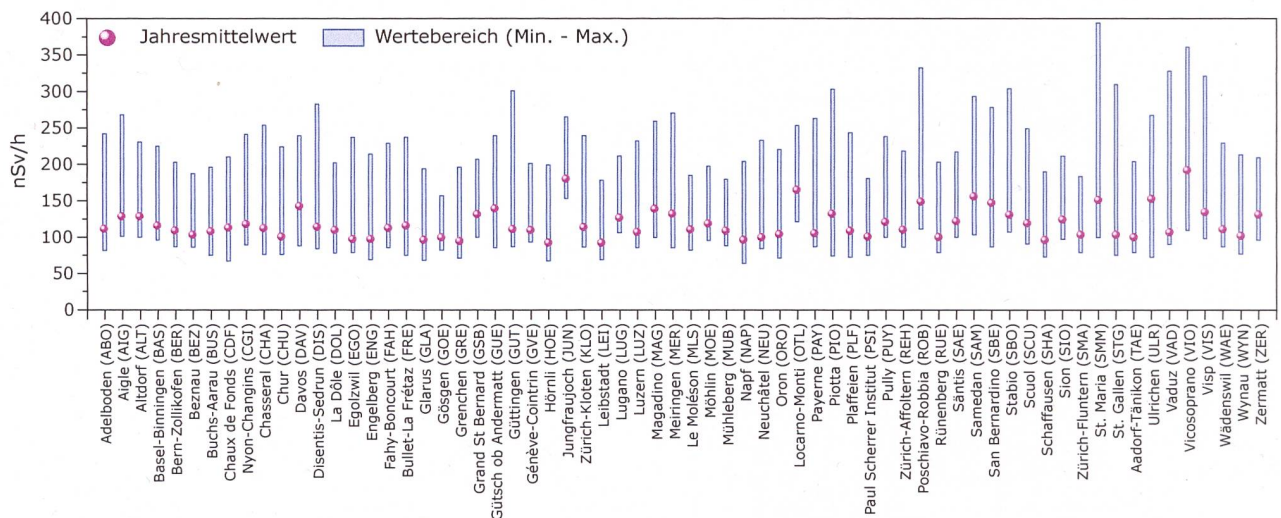
Cristina Poretti (Danzi)
Franziskus Stoffel
 Nationale Alarmzentrale
 NAZ
 Bundesamt für
 Bevölkerungsschutz BABS
 Ackermannstrasse 26
 8044 Zürich

Zusammenfassung

Das Netz für die automatische Dosisleistungsalarmierung und -messung (NADAM) dient der grossräumigen und permanenten Überwachung der externen Strahlung in der Schweiz. Das Netz besteht aus 66 Stationen (Stand 31.12.2015), die über die ganze Schweiz verteilt sind. Alle Stationen messen in 10-Minuten-Intervallen die γ -Ortsdosisleistung (ODL, $H^*(10)$).

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

Im Jahr 2015 wurden keine Werte gemessen, die auf eine erhöhte Strahlenbelastung der Bevölkerung schliessen liessen.



Figur 1:

Jahresmittelwerte und Erfahrungsbereiche 2015 der NADAM-Sonden. Der dargestellte Erfahrungsbereich entspricht dem Bereich zwischen dem minimalen und dem maximalen 10-Min-Wert der Sonden im Jahr 2015.

Einleitung

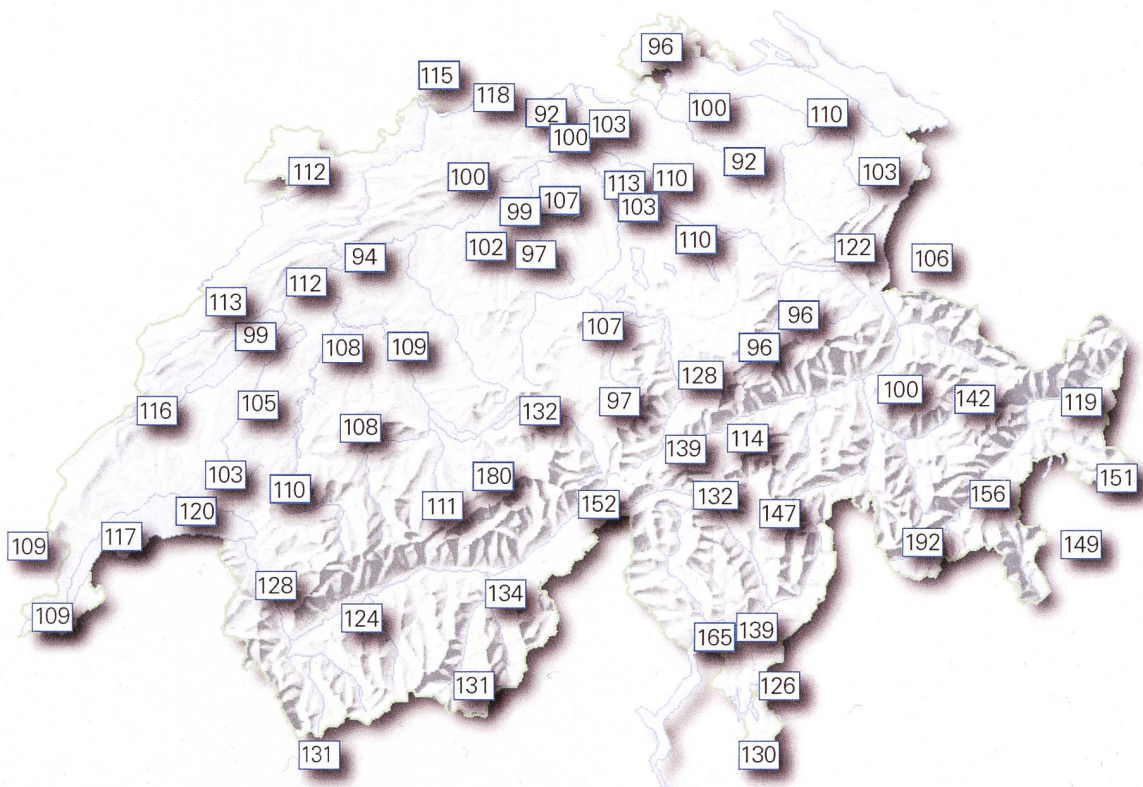
Die permanente Überwachung der externen Strahlung in der Schweiz wird von den 66 über die ganze Schweiz verteilten NADAM-Stationen (Stand 31.12.2015) garantiert. Die Stationen befinden sich bei den Wetterstationen von MeteoSchweiz und liefern alle zehn Minuten Daten zur Ortsdosisleistung (ODL, $H^*(10)$). In Ergänzung zu den ODL-Daten sind damit auch Wetterdaten verfügbar, die wichtige Zusatzinformationen für die Interpretation der Messwerte liefern.

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

Das NADAM-Netz wird von der NAZ betrieben. Die NAZ ist die Fachstelle des Bundes für ausserordentliche Ereignisse. Im Bereich „erhöhte Radioaktivität“ hat sie besonders umfangreiche Aufgaben: Warnung der Behörden, Information der Bundesstellen, der Kantone und der internationalen Kontaktstellen (IAEA, EU). Sie kann bei unmittelbarer Gefährdung zudem die Alarmierung und Sofortmassnahmen

zum Schutz der Bevölkerung anordnen. Das NADAM-Netz dient also als Frühwarnsystem. Wird die Alarmschwelle (1 μ Sv/h) überschritten, löst dies in der NAZ eine Alarmmeldung aus. In der NAZ wird der Wert verifiziert (Ausschluss von technischen Problemen, Überprüfung der meteorologischen Daten und Vergleich mit Nachbarstationen), eventuell werden weitere Messmittel für Abklärungen vor Ort aufgeboden. Bei einem ernsthaften Verdacht auf eine mögliche radiologische Gefährdung wird die ganze NAZ aufgeboden und die Behörden des betroffenen Kantons orientiert. Bei einem radiologischen Ereignis unterstützt das NADAM-Netz die NAZ bei der Bestimmung des gefährdeten Gebietes und der Beurteilung der allfällig notwendigen Massnahmen.

Die ODL-Werte der NADAM-Sonden werden täglich zweimal auf der Internetseite der NAZ (www.naz.ch) publiziert. Im Ereignisfall oder nach Bedarf kann der Publikationsrhythmus erhöht werden. Unter der Rubrik „Aktuell“ können die Stundenmittelwerte der letzten drei Tage sowie die Tagesmittelwerte vom Vortag abgerufen werden. Im Jahr 2015 wurden keine Werte gemessen, die auf eine erhöhte Strahlenbelastung der Bevölkerung schliessen liessen. Es wurden nur einzelne technische Störungen bei der Messung oder der Datenübertragung registriert.



Figur 2:

Karte der Jahresmittelwerte 2015 aller NADAM-Sonden in Nanosievert pro Stunde, basierend auf den 10-Min-Werten. Der Jahresmittelwert der Ortsdosisleistung variiert je nach Standort zwischen 92 und 192 nSv/h.

Eine Analyse des heutigen NADAM-Netzes hat gezeigt, dass insbesondere in den Zonen 2 um die schweizerischen Kernkraftwerke und in den angrenzenden Gebieten ein zusätzlicher Bedarf an fixen, automatischen ODL-Messstationen besteht. Aus diesem Grund wird in den kommenden Jahren das NADAM-Netz in einem ersten Schritt um 10 Standorte erweitert. Zudem wurde erkannt, dass eine ausfallsichere Datenübermittlung auch bei extremen externen Ereignissen wie beispielsweise Starkbeben unabdinglich ist. Durch eine redundante satellitenbasierte Datenübermittlung soll deshalb 2016 bei vorerst 15 Messstationen im schweizerischen Mittelland die Redundanz in der Datenübermittlung der NADAM-Daten und der dazugehörigen meteorologischen Messgrößen verbessert werden. Beide Projekte werden in Zusammenarbeit mit MeteoSchweiz durchgeführt.

Jahresmittelwerte und Erfahrungsbereiche 2015

Übersichten der Jahresmittelwerte und der extremen 10-Minuten-Werte für die einzelnen Stationen sind in den Figuren 1 und 2 dargestellt.

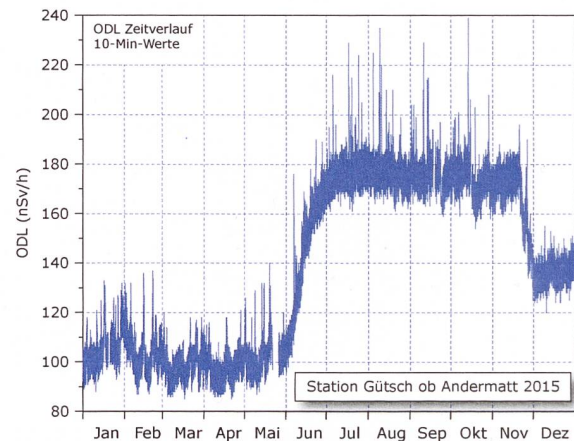
Wie jedes Jahr wurden die bisherigen Erfahrungsbereiche anhand der aktuellen Messwerte überprüft und bei Bedarf angepasst. Der Erfahrungsbereich hilft bei der automatischen Plausibilisierung der Messwerte und erleichtert somit das rasche Erkennen von erhöhten Messwerten, die unter der Schwelle von 1 mikroSv/h liegen.

Eine detailliertere Analyse der Station Gütsch ob Andermatt

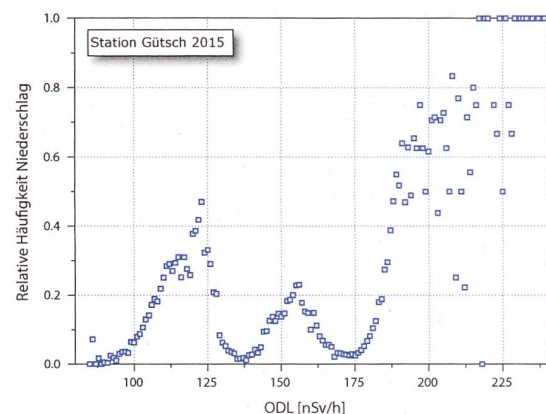
Die natürlich bedingte Ortsdosisleistung (ODL) wird vom Standort (geologischer Untergrund, Höhe über Meer) und von den meteorologischen Verhältnissen (Regen, Schneedecke) beeinflusst.

Der geologische Untergrund bestimmt den Beitrag der terrestrischen Strahlung zur Ortsdosisleistung. In alpinen Gebieten mit uran- und thoriumhaltigem Gestein ist der Anteil der natürlichen Radioaktivität im Boden höher als z.B. im Mittelland. Dies führt zu einer höheren terrestrischen Strahlung.

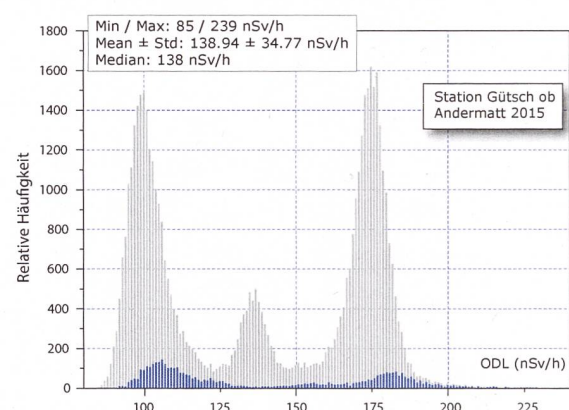
Die Höhe des Sondenstandortes über Meer bestimmt den kosmischen Anteil der ODL. Je höher der Messstandort, desto weniger wird die kosmische Strahlung durch die Atmosphäre abgeschwächt, d.h. umso grösser wird die Intensität der kosmischen Strahlung.



Figur 3: Zeitverlauf der 10-Min-Werte für die Station Gütsch ob Andermatt im Jahr 2015. Deutlich sichtbar sind die niedrigeren Ortsdosisleistungswerte während des langen Winters 2014/15, in denen der Schnee die terrestrische Strahlung abschirmt.



Figur 4: Korrelation zwischen den 10-Min-Werten und den Niederschlägen für die Station Gütsch ob Andermatt im Jahr 2015. Die Ortsdosisleistungswerte über 215 nSv/h korrelieren gut mit Niederschlägen.



Figur 5: Verteilung der 10-Min-Werte für die Station Gütsch ob Andermatt im Jahr 2015; grau: alle Messwerte; blau: Messwerte während Niederschlägen. Sichtbar Die drei grauen Spitzen zeigen die häufigsten Messwerte im Winter (erste und zweite Spitzen von links) und im Sommer (dritte Spitze, rechts). Die höchsten Ortsdosisleistungswerte werden praktisch immer bei Niederschlägen gemessen.

Die Beiträge der terrestrischen und der kosmischen Strahlung führen zu den regional beobachteten Unterschieden bei den Jahresmittelwerten.

Die Schwankungen des ODL-Verlaufs einer Station innerhalb eines Jahres reflektieren dann grösstenteils die variablen meteorologischen Verhältnisse am Standort (siehe Figur 3).

In Figur 3 kann man die Einflüsse von Regen und Schnee auf die ODL-Daten gut erkennen. Einerseits erkennt man, dass während der langen Periode mit einer Schneedecke die terrestrische Strahlung abgeschirmt wird und damit die ODL-Werte deutlich tiefer liegen als in den schneefreien Sommermonaten. Den gleichen Effekt erkennt man auch an den minimalen 10-Minuten-Werten der Stationen Ulrichen (-53% im Vergleich zum Jahresmittelwert), Piotta (-44%), Vicosoprano (-43%) sowie San Bernardino (-41%) (siehe Figur 1).

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

In Figur 4 ist die Korrelation der ODL-Daten mit dem Niederschlag dargestellt. Die ODL-Daten über 215 nSv/h korrelieren in den allermeisten Fällen mit Niederschlägen. Die ODL-Spitzen, die man in Figur 3 beobachtet, lassen sich damit sehr gut mit den Niederschlägen erklären. Der Niederschlagseffekt zeigt sich auch sehr gut in den maximalen 10-Minuten-Werten der Stationen Vaduz (+209% im Vergleich zum Jahresmittelwert), St. Gallen (+201%), Güttingen (+173%) und Santa Maria (+162%) (Figur 1).

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

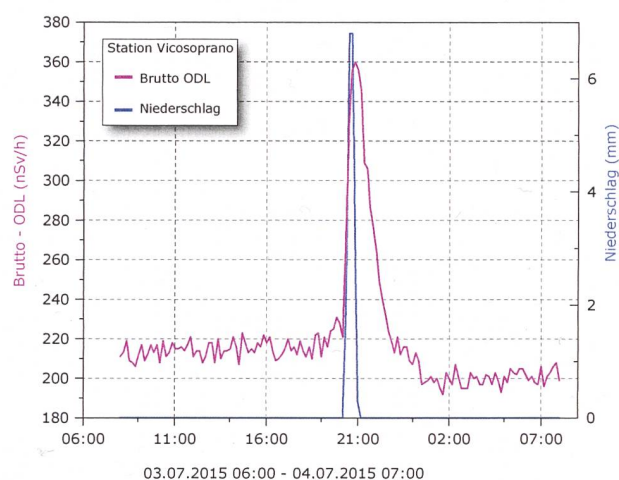
Bei der grauen Kurve sind drei lokale Maxima sichtbar. Das erste Maximum, das ungefähr bei 100 nSv/h liegt, entspricht dem häufigsten Wert mit geschlossener Schneedecke in der ersten Jahreshälfte 2015 (Januar-Juni). Das zweite Maximum (bei ungefähr 135 nSv/h) entspricht dem häufigsten Wert in den Wintermonat Dezember. Der häufigste Wert an Tagen ohne Schneedecke ist 175 nSv/h und entspricht dem dritten Maximum.

Die blaue Kurve zeigt den Effekt der Niederschläge nochmals gut auf: Die höchsten ODL-Messwerte wurden während Niederschlagsperioden gemessen.

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

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

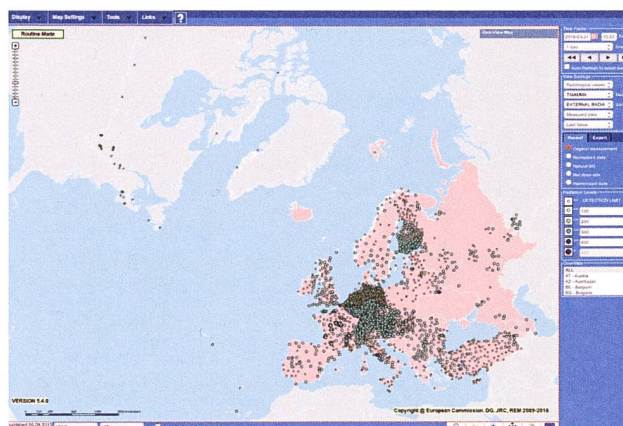
Schliesslich gab es infolge heftiger Niederschläge 2015 mehrere klar erhöhte Werte (z.B. Santa Maria 394 nSv/h am 07.08.15 und Vicosoprano 360 nSv/h am 03.07.15).



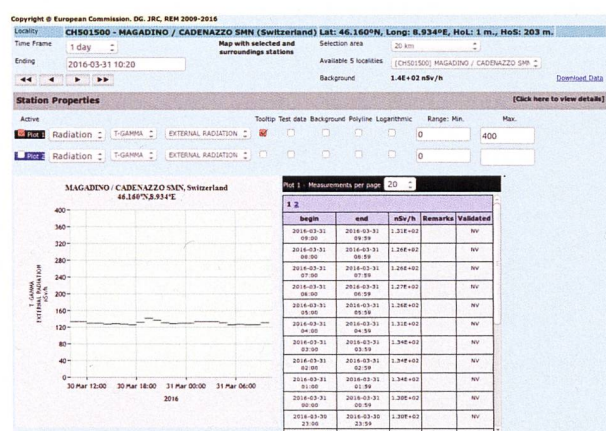
Figur 6:
Zeitverlauf der 10-Min-Werte für die Station Vicosoprano vom 03.07.2015 08:00 bis 04.07.2015 08:00.

Die europäische Plattform EURDEP

Seit 2002 wird von der EU die zentrale Datenbank EURDEP (European Radiological Data Exchange Platform) betrieben. Auf dieser Plattform werden radiologische Daten der meisten europäischen Länder nahezu in Echtzeit gesammelt und dargestellt. Der zentrale Knoten des EURDEP-Netzwerks ist das European Commission Joint Research Centre JRC in Ispra, Italien. 39 Länder (Stand 31.03.2016) schicken ihre Dosisleistungsmesswerte (in der Regel Stundenmittelwerte) zum JRC. Einige Länder, darunter auch die Schweiz, schicken auch die Resultate von Luftaktivitätsmessungen.



Figur 7:
Dosisleistungskarte-Karte in EURDEP.
Quelle: EURDEP (31.03.2016).



Figur 8:
Darstellungsmöglichkeiten in EURDEP: ODL-Zeitverlauf
der Station Magadino-Cadenazzo.
Quelle: EURDEP (31.03.2016).

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

- alle NADAM-Stundenmittelwerte (66 ODL-Stationen, 31.12.2015), stündlicher Versand (Quelle: NAZ).
- alle MADUK-Stundenmittelwerte (57 ODL-Stationen, 31.12.2015), stündlicher Versand (Quelle: ENSI).
- Luftaktivitätsresultate der 6 High Volume Samplers (31.12.2015), wöchentliche Auswertung und wöchentlicher Versand (Quelle: BAG-URA).

Qualitätssicherung

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

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

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

Im Jahr 2015 wurden bei 66 Stationen 75 Sondentests durchgeführt (7 Stationen wurden zwei Mal getestet und eine Station drei Mal). 2015 wurden keine Sonden zur Reparatur geschickt, da zu wenige Sonden kaputt gegangen sind. Dies bestätigt, dass die NADAM-Stationen stabil und zuverlässig laufen.

Die NAZ verfügt insgesamt über 116 Sonden. Der grösste Teil davon ist als NADAM-Station im Einsatz, weitere Sonden befinden sich in der Eichung oder in der Reparatur. Daneben müssen einsatzbereite Ersatzsonden an vier Wartungsstandorten von MeteoSchweiz zur Verfügung stehen. Mit dem heutigen Sondenbestand ist es möglich, die Erweiterung des NADAM-Netzes um zehn Standorte in Angriff zu nehmen.

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 2015 aufgeführt.

Station (Abkürzung)	Kanton	Datum der Inbetriebnahme	Höhe [m.ü.M.]	Jahresmittelwert [nSv/h]	Häufigster Wert [nSv/h]	Minimum [nSv/h]	Maximum [nSv/h]
Adelboden (ABO)	BE	04.11.09	1322	111	112	81	242
Aigle (AIG)	VD	09.09.09	382	128	127	101	268
Altdorf (ALT)	UR	28.10.09	439	128	127	100	231
Basel-Binningen (BAS)	BS	19.11.09	317	115	114	96	225
Bern-Zollikofen (BER)	BE	30.09.09	554	109	108	87	203
Beznau (BEZ)	AG	19.11.09	327	103	103	86	187
Buchs-Aarau (BUS)	AG	20.11.09	388	107	121	75	196
Changins (CGI)	VD	23.09.09	459	117	119	89	241
Chasseral (CHA)	BE	17.09.09	1594	112	117	76	254
Chur (CHU)	GR	09.10.09	557	100	95	76	224
Col du Grand St Bernard (GSB)	VS	09.09.09	2491	131	141	100	207
Davos (DAV)	GR	08.10.09	1589	142	153	88	239
Disentis (DIS)	GR	28.10.09	1197	114	114	84	283
Egolzwil (EGO)	LU	22.09.10	523	97	96	79	237
Engelberg (ENG)	OW	30.10.09	1035	97	99	69	214
Fahy (FAH)	JU	14.10.09	597	112	111	85	229
Géneve (GVE)	GE	24.09.09	412	109	108	93	201
Glarus (GLA)	GL	02.12.09	518	96	96	68	194
Gösgen (GOE)	SO	20.11.09	381	99	98	82	157
Grenchen (GRE)	SO	06.12.10	431	94	94	71	196
Gütsch ob Andermatt (GUE)	UR	01.09.05	2296	139	175	85	239
Güttingen (GUT)	TG	03.12.09	441	110	110	87	301
Hörnli (HOE)	ZH	12.11.09	1133	92	91	67	199
Jungfrauoch (JUN)	VS	29.09.09	3581	180	177	153	265
La Chaux de Fonds (CDF)	NE	17.09.09	1018	113	115	67	210
La Dôle (DOL)	VD	23.09.09	1670	109	113	78	202
La Frétille (FRE)	VD	24.09.09	1206	116	120	75	237
Le Moléson (MLS)	FR	19.08.09	1975	110	113	82	185
Leibstadt (LEI)	AG	19.11.09	342	92	86	69	178
Locarno-Monti (OTL)	TI	22.10.09	368	165	163	121	253
Lugano (LUG)	TI	21.10.09	297	126	124	106	211
Luzern (LUZ)	LU	05.11.09	455	107	106	85	232
Magadino-Cadenazzo (MAG)	TI	22.10.09	204	139	135	99	259
Meiringen (MER)	BE	06.10.11	590	132	133	85	270
Möhligen (MOE)	AG	09.20.10	341	118	120	95	197
Mühleberg (MUB)	BE	15.10.09	481	108	108	88	179
Napf (NAP)	BE	05.11.09	1405	96	100	64	204
Neuchâtel (NEU)	NE	10.12.09	485	99	99	84	233
Oron (ORO)	VD	29.02.12	828	103	105	71	220
PSI - Villigen (PSI)	AG	27.07.11	335	100	105	75	181
Payerne (PAY)	VD	13.08.09	490	105	103	87	263
Piotta (PIO)	TI	29.10.09	990	132	137	74	303
Plaffeien (PLF)	FR	14.08.09	1043	108	111	72	243
Pully (PUY)	VD	23.09.09	456	120	120	100	238
Reckenholz (REH)	ZH	13.11.09	444	110	109	86	218
Robbia (ROB)	GR	07.10.09	1079	149	146	111	332
Rünenberg (RUE)	BL	20.11.09	612	100	99	79	203
Samedan (SAM)	GR	25.08.09	1710	156	161	103	293
San Bernardino (SBE)	GR	29.10.09	1640	147	158	87	278
Santa Maria (SMM)	GR	15.12.11	1385	151	153	99	394
Säntis (SAE)	AI	11.11.09	2503	122	121	100	217
Schaffhausen (SHA)	SH	04.12.09	439	96	94	73	190
Scuol (SCU)	GR	27.08.09	1305	119	116	91	249
Sion (SIO)	VS	10.09.09	482	124	123	97	211
St. Gallen (STG)	SG	12.11.09	777	103	100	75	310
Stabio (SBO)	TI	21.10.09	352	130	128	107	304
Tänikon (TAE)	TG	03.12.09	539	100	99	79	204
Ulrichen (ULR)	VS	04.11.09	1347	152	178	72	267
Vaduz (VAD)	FL	03.12.09	458	106	104	90	328
Vicosoprano (VIO)	GR	06.02.13	1089	192	198	109	360
Visp (VIS)	VS	11.09.09	640	134	134	98	321
Wädenswil (WAE)	ZH	02.12.09	487	110	109	87	229
Wynau (WYN)	BE	15.10.09	423	102	101	77	213
Zermatt (ZER)	VS	11.09.09	1640	131	133	96	209
Zürich-Fluntern (SMA)	ZH	24.11.09	557	103	101	79	183
Zürich-Kloten (KLO)	ZH	24.11.09	427	113	109	86	239

3.3 Aeroradiometrische Messungen

B. Bucher

Eidgenössisches
Nuklearsicherheits-
inspektorat
Industriestrasse 19
5200 Brugg

G. Butterweck

Abteilung Strahlenschutz
und Sicherheit
Paul Scherrer Institut
5232 Villigen PSI

L. Rybach

Institut für Geophysik
ETH Zürich
8092 Zürich

Zusammenfassung

Bei den Messflügen im Juni 2015 wurden turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Gösgen (KKG) und Mühleberg (KKM) abgedeckt. Weiter wurden das Urserental sowie ein Gebiet im Val Piora befliegen. Im Zusammenhang mit der Gesamtnotfallübung 2015 beim Kernkraftwerk Gösgen erfolgte ein Messflug in der weiteren Umgebung westlich des KKG.

Die Messresultate in den Messgebieten KKG und KKM zeigten ein ähnliches Bild wie in früheren Jahren. KKG konnte nicht detektiert werden. Bei KKM konnte wie in früheren Jahren die gestreute, hochenergetische Photonenstrahlung des ^{16}N detektiert werden. Ausserhalb der Betriebsareale wurden keine Aktivitäten identifiziert, die auf den Betrieb der Kernkraftwerke zurückzuführen wären.

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

Einleitung

Aeroradiometrische Messungen in der Schweiz begannen 1986. Methodik und Software für Kalibrierung, Datenerfassung, Datenverarbeitung und Kartendarstellung wurden am Institut für Geophysik der ETH Zürich entwickelt (Schwarz 1991). In der Zeit von 1989 bis 1993 wurde die Umgebung der schweizerischen Kernanlagen jährlich aeroradiometrisch auf einer Fläche von jeweils rund 50 km² vermessen. Im Jahre 1994 ging man zu einem Zweijahresrhythmus über, wobei seither abwechselungsweise zwei bzw. drei Gebiete mit Kernanlagen vermessen werden. 1992 und 1995 wurden ebenfalls am Institut für Geophysik der ETH Zürich zwei neue Messgeräte gebaut (16.8 und 4.0 l Detektoren).

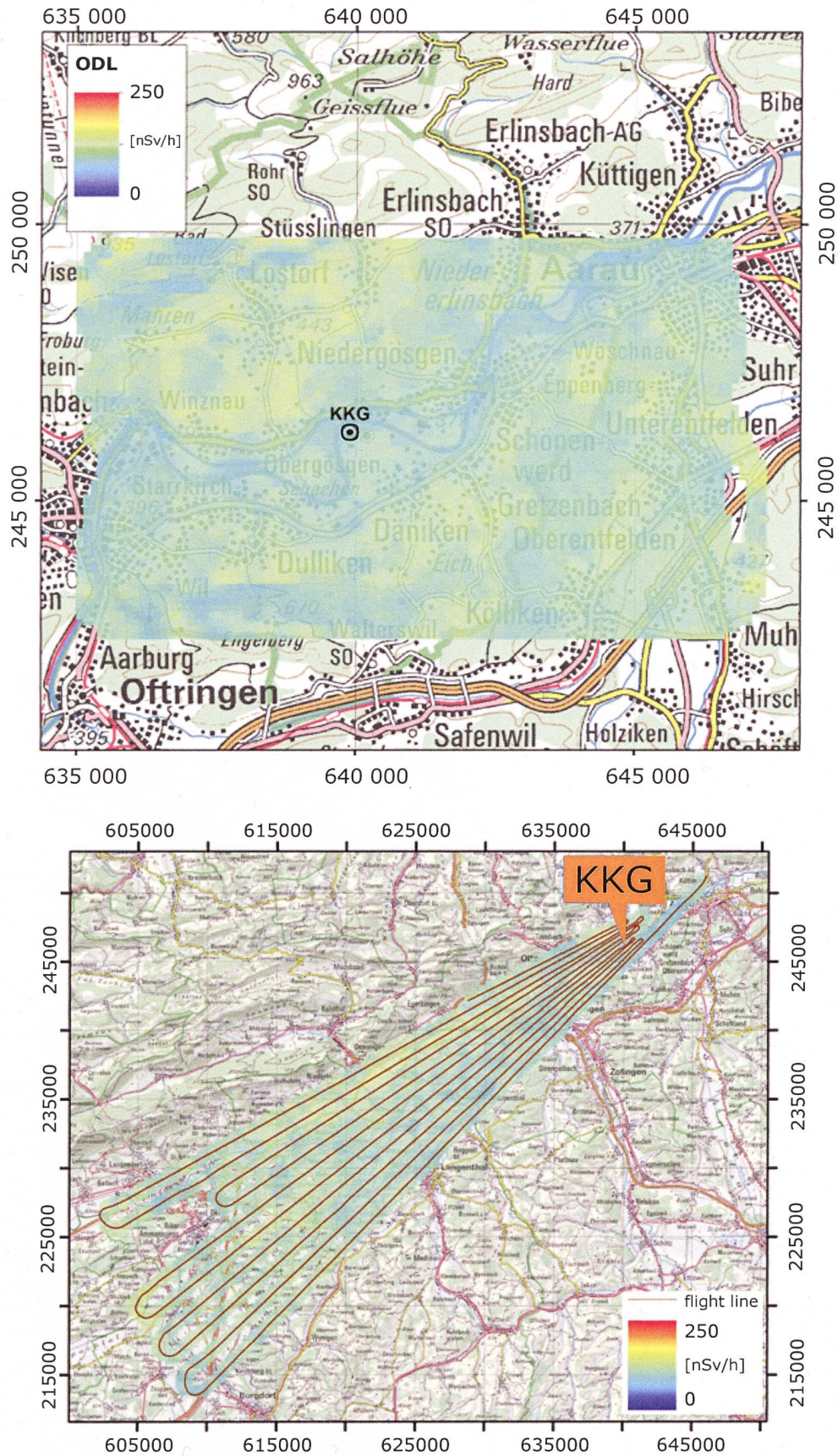
Seit den Messflügen 2001 kommt eine neu entwickelte online Datenauswertungs- und Kartierungssoftware zum Einsatz (Bucher 2001).

Im Jahre 1994 wurde die Aeroradiometrie in die Einsatzorganisation Radioaktivität des Bundes integriert. Als mögliche Einsatzfälle stehen Transport-

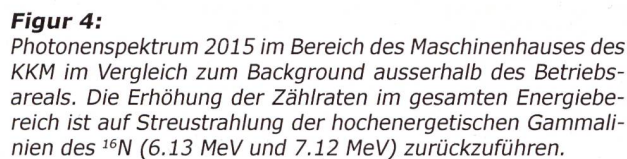
und Industrieunfälle mit radioaktivem Material, KKW-Störfälle, Abstürze von Satelliten mit Nuklearreaktoren und «Dirty Bombs» im Vordergrund. Die jährlichen Messprogramme werden durch die Fachgruppe Aeroradiometrie zusammengestellt, die sich aus Mitgliedern der beteiligten Stellen zusammensetzt. Der Einsatz erfolgt unter der Regie der Nationalen Alarmzentrale (NAZ).

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

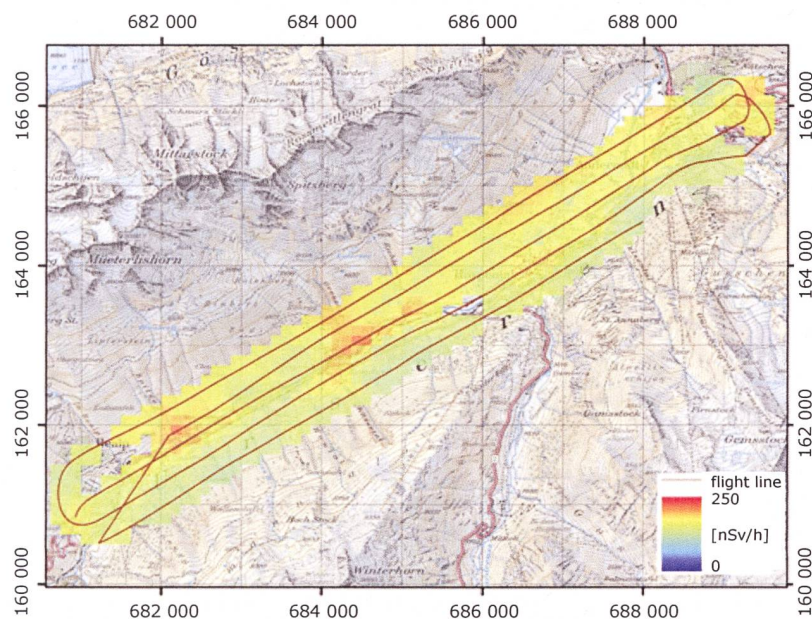
Im Jahre 2010 (Bucher et. al, 2010) wurde mithilfe der Auswertung der Langzeitdaten die Nachweisgrenze der Messmethode ermittelt: 20 nSv/h werden in 95 von 100 Fällen erkannt (Vertrauensbereich 95%). Dies entspricht ungefähr 20 % der natürlichen externen Strahlung.



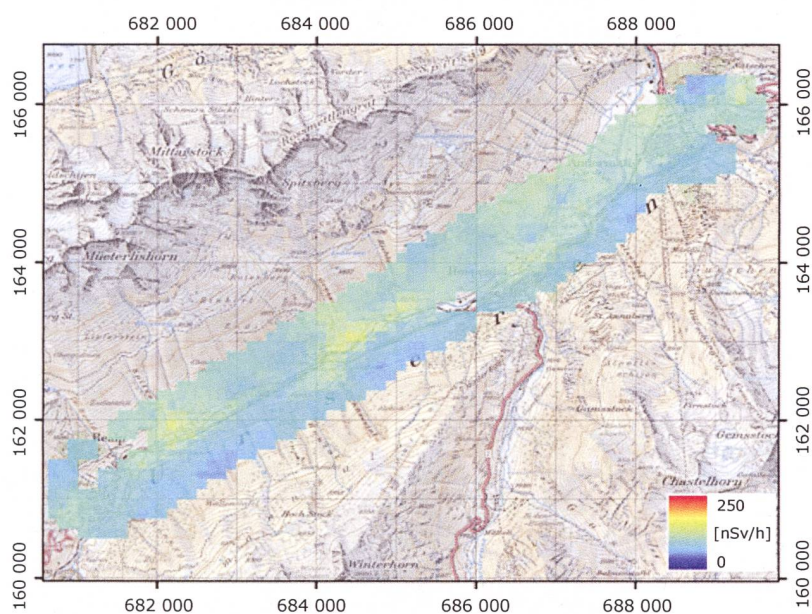
Figur 1 & 2:
Ortsdosisleistung 2015 im Messgebiet KKG.
Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.



Im März 2015 wurden Vergleichsmessflüge mit dem neuen Messsystem der armasuisse in Zusammenarbeit mit dem Kompetenzzentrums ABC KAMIR der Armee im Gebiet des Paul Scherrer Instituts durchgeführt. Im Juni 2015 wurde turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Gösgen (KKG) und Mühleberg (KKM) gemessen. Zudem wurden für ein Projekt der Universität Basel im Urserental und im Val Piora Messflüge durchgeführt. Vom 15.-18. Juni nahm das Messteam an der internationalen Übung AGC15 in Chemnitz/D teil, die vom Bundesamt für Strahlenschutz in Zusammenarbeit mit der Bundespolizei organisiert wurde. Während der Gesamtnotfallübung 2015 für das Kernkraftwerk Gösgen wurde im Rahmen der Messorganisation ebenfalls ein Messflug durchgeführt. Im Folgenden werden nur die Resultate der Messungen in der Schweiz diskutiert. Die Ergebnisse aller Messungen wurden in Butterweck et al., PSI Bericht Nr. 15-04, Dezember 2015 publiziert.



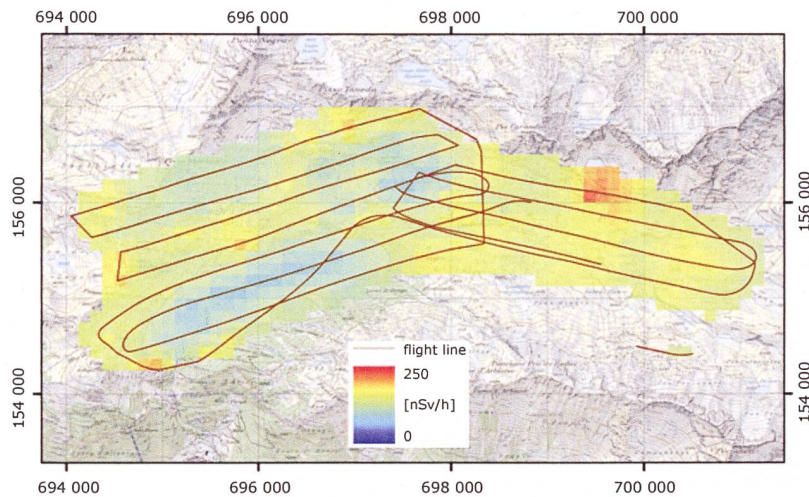
Figur 5:
Ortsdosisleistung 2015 im Urserental.
Kartendaten PK50 © Bundesamt für Landestopografie.



Figur 6:
Terrestrische Komponente der Dosisleistung 2015 im Urserental.
Kartendaten PK50 © Bundesamt für Landestopografie.

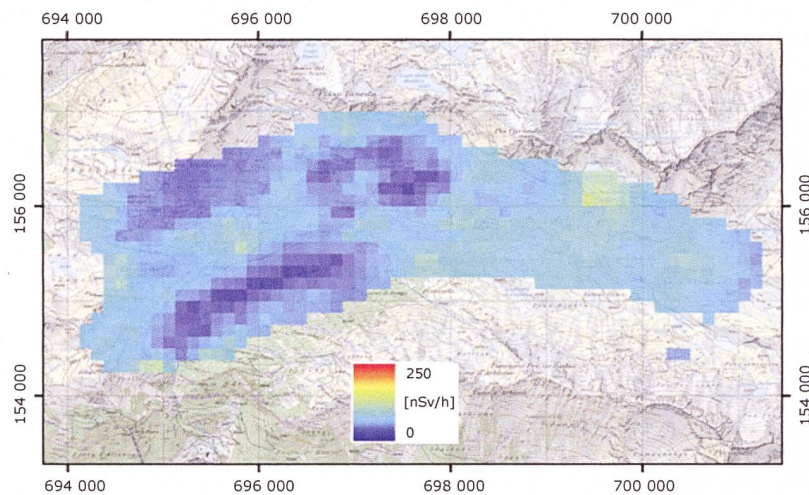
Die Messresultate im Messgebiet KKG und KKM zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegangenen Messkampagnen. Im Bereich des KKG sind keine besonderen Werte bei der Ortsdosisleistung (Fig. 1) zu erkennen. KKG mit seinem Druckwasserreaktor konnte aeroradiometrisch weder aufgrund der Ortsdosisleistung (Fig. 1) noch aufgrund des MMGC-Verhältnisses erkannt werden. Das MMGC-Verhältnis steht für den Quotienten der Zählraten im Energiebereich von 400 - 1'400 keV und 1'400 - 3'000 keV. Da die meisten Spaltprodukte Gammastrahlung im Energiebereich unterhalb von 1'400 keV aufweisen, stellt das MMGC-Verhältnis ein empfindliches Instrument zur Lokalisierung künstlicher Radionuklide dar. Während der Gesamt-Notfallübung GNU15 wurde die Umgebung des KKG erneut aeroradiometrisch vermessen. Bei dieser Gelegenheit wurde ein fächerförmiges Flugmuster ausprobiert (Fig. 2). Durch die kontinuierliche Verbreiterung des Linienabstands mit zunehmender Entfernung vom Quellpunkt können schneller grosse Flächen ausgemessen werden. Der variable Linienabstand stellt allerdings erhöhte Anforderungen an die Kartierungs-Software.

Im Gegensatz zu KKG können am Standort von KKM in der Figur 3 erhöhte Messwerte festgestellt werden. Das KKM mit seinem Siedewasserreaktor konnte anhand gestreuter, hochenergetischer Photonenstrahlung erkannt werden (Fig. 4). Diese Strahlung wird durch das Aktivierungsprodukt ^{16}N erzeugt, welches bei Siedewasserreaktoren durch die Frischdampfleitung in die Turbinen im Maschinenhaus gelangt. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise gering abgeschirmt ist, kann die hochenergetische Gammastrahlung des ^{16}N aus der Luft gut gemessen werden. Ausserhalb des Betriebsareals sind keine erhöhten Werte erkennbar. Unterschiede sind auf Einflüsse der Topographie wie Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen.



Figur 7:
Ortsdosisleistung 2015 im Pioratal.
Kartendaten PK50 © Bundesamt für Landestopografie.

Die Messungen im Urseren- und Pioratal zeigen aufgrund der alpinen Lage erhöhte Dosisleistungen durch die kosmische Strahlung (Fig.5&7). Wird die kosmische Komponente von der Gesamtdosisleistung abgezogen, ergibt sich die terrestrische Komponente der Dosisleistung (Fig.6&8). Sie ist durch die Verteilung der natürlichen Radionuklide im Untergrund, welche durch die geologischen Formationen im Messgebiet bestimmt wird, sowie die Verteilung der ^{137}Cs -Konzentrationen infolge Tchernobyl-Fallout bedingt.



Figur 8:
Terrestrische Komponente der Dosisleistung 2015 im Pioratal.
Kartendaten PK50 © Bundesamt für Landestopografie.

Literatur

- Schwarz, G. F., 1991. Methodische Entwicklungen zur Aerogammaspektrometrie. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geophysik Nr.23, Schweizerische Geophysikalische Kommission.
- Bucher, B., 2001. Methodische Weiterentwicklungen in der Aeroradiometrie. Dissertation Nr. 13973, ETH Zürich.
- Bucher, B., Rybach, L., 2010. Flächendeckende Langzeitanalyse der Strahlung in der Umgebung der Schweizer Kernanlagen mit Hilfe der Aeroradiometrie, in: Natürliche und künstliche Radionuklide in unserer Umwelt, 42. Jahrestagung des Fachverbands für Strahlenschutz e.V., FS-2010-153-T, ISSN 1013-4506, TÜV Media GmbH, Köln.
- Butterweck, G., Bucher, B., Rybach, L., Schwarz, G., Hofstetter-Boillat, B., Hohmann, E., Mayer, S., Danzi, C., Scharding, G., 2015: Aeroradiometric Measurements in the Framework of the Swiss Exercises ARM15, GNU15 and the International Exercise AGC15. PSI Bericht Nr. 15-04, ISSN 1019-0643.