

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:	- (2014)
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 2014 Résultats 2014



3

Externe Strahlung Rayonnement externe

3.1 Mesures in situ et exposition externe	38
Résumé	38
Introduction	38
Méthodologie in situ	39
Résultats in situ 2014	40
Conclusions	42
3.2 Die automatische Überwachung der Ortsdosisleistung mit NADAM	43
Zusammenfassung	43
Jahresmittelwerte und Erfahrungsbereiche 2014	45
Die europäische Plattform EURDEP	46
Qualitätssicherung	47
3.3 Aeroradiometrische Messungen	49
Zusammenfassung	49
Einleitung	49
Messungen und Messresultate 2014	50



3.1

Mesures in situ et exposition externe

S. Estier, A. Gurtner

Section Radioactivité de l'environnement (URA), OFSP, 3003 Bern

Résumé

En 2014, les mesures in situ ont essentiellement portées 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 2014 n'ont signalé aucune valeur susceptible de représenter un risque pour la santé du public. A noter qu'en 2014, cette technique de mesure a également été mise en œuvre pour la détection du ^{226}Ra d'origine artificielle dans le cadre des examens de sites contaminés par des héritages radiologiques du passé, notamment à Biel/Bienne. Les résultats de ces examens font l'objet d'un chapitre ad hoc (chapitre 9.5).

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异常的 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 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 (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 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 été adaptée par rapport à celle anciennement utilisée pour le débit de kerma dans l'air⁴, et s'écrit :

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

où Z est l'altitude en km.

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

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>

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

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

Résultats in situ 2014

Conformément au programme de surveillance habituel, les examens in situ ont été réalisés au voisinage des centrales nucléaires de Beznau (KKB), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) et Mühleberg (KKM) et des centres de recherche (PSI, ZWILAG, CERN) ainsi que dans les Grisons 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, Güttingen/TG et Cadenazzo/Ti. En 2014, 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 Bienne. Les résultats, qui sont détaillés au chapitre 9.5, ont montré tout le potentiel de cette technique pour cette application particulière.

Les contributions respectives au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ des différents radionu-

cléides 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 2014 (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'apprecier la fiabilité de la reconstitution.

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 notablement de ceux enregistrés sur les sites de référence, situés hors influence de ces installations, comme Güttingen ou Posieux. Le seul radionucléide d'origine artificielle

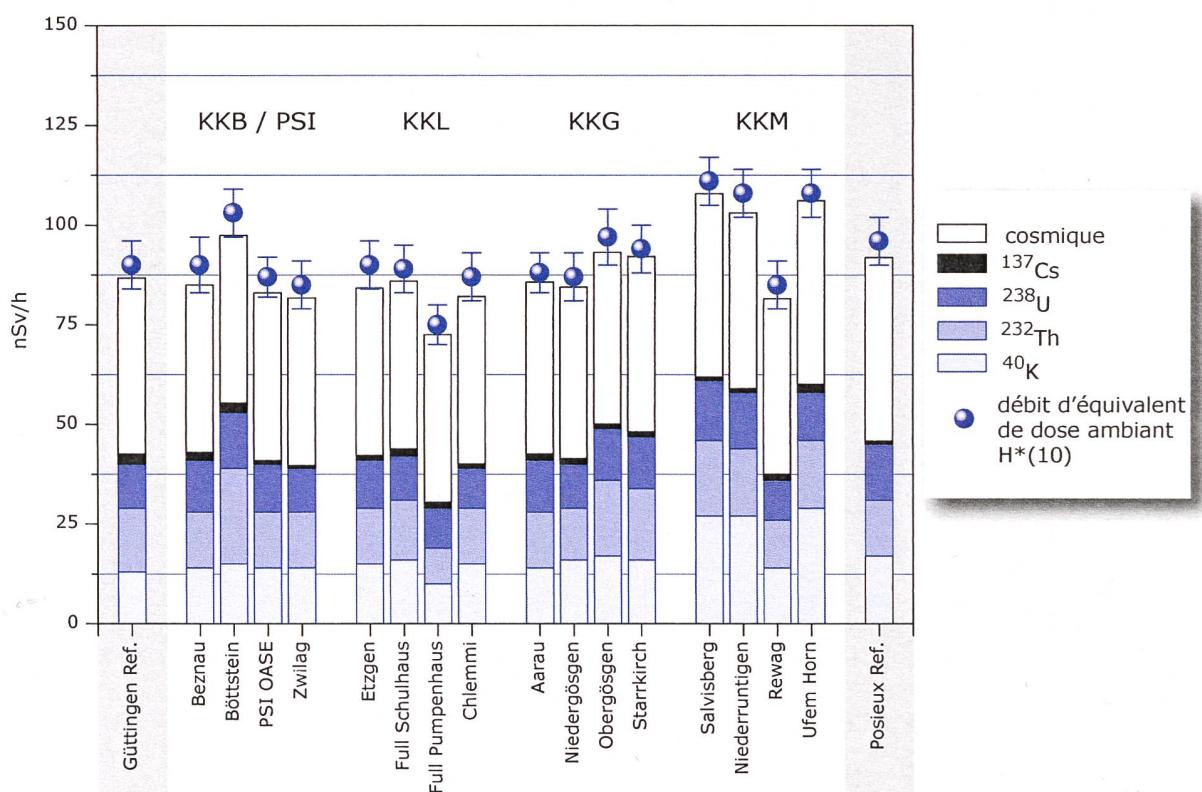


Figure 1:

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 2014 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.

mis en évidence sur les spectres *in situ* en 2014 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 années 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 d'autre part par les différences de nature et de traitement des sols depuis 1986 (travaux, sols retournés ou non, etc.). Sur le site Vicosoprano la contribution des séries naturelles (^{238}U , ^{232}Th) est particulièrement importante.

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%, attestant ainsi que les résultats obtenus par cette méthode traduisent bien la réalité.

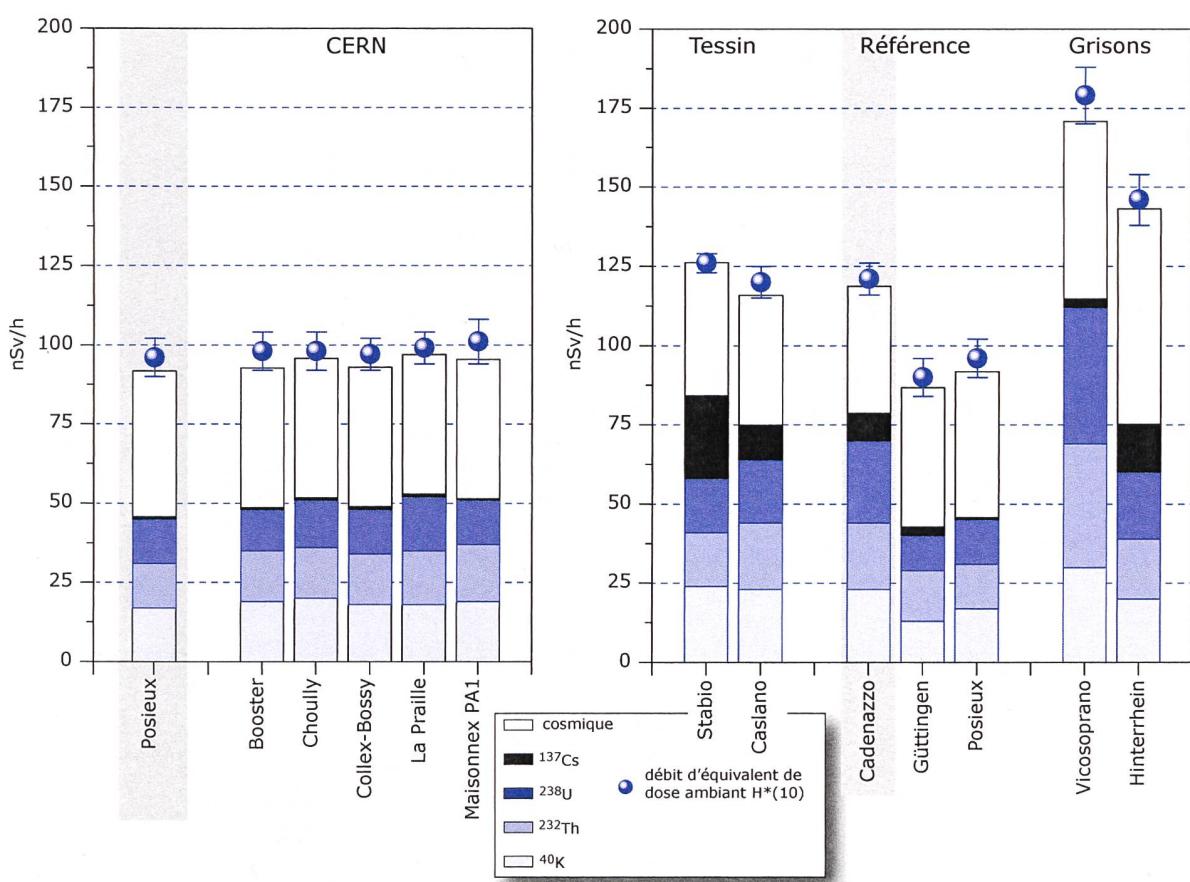


Figure 2:

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 2014 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 2014 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.

Conclusions

Les mesures de spectrométrie gamma in situ réalisées par l'OFSP en 2014 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). Cette technique a également montré son potentiel dans le cadre d'examen de sites potentiellement contaminés au ^{226}Ra issus d'héritages radiologiques (voir chapitre 9.5).

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 confrontation du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ calculé à partir de l'analyse spectrométrique à celui mesuré avec une chambre d'ionisation. Au niveau national, même si les concentrations plus élevées de ^{137}Cs dues aux retombées de Tchernobyl sont toujours plus importantes au Tessin et localement dans les régions montagneuses par rapport au plateau Suisse, les résultats, en termes d'exposition du public, n'ont mis en évidence aucune valeur susceptible de représenter un danger pour la santé de la population.



Figure 4:
Mesure in situ au point de référence de Posieux (Fribourg) 2014.

3.2

Die automatische Überwachung der Ortsdosiseleistung mit NADAM

C. Danzi, F. Stoffel

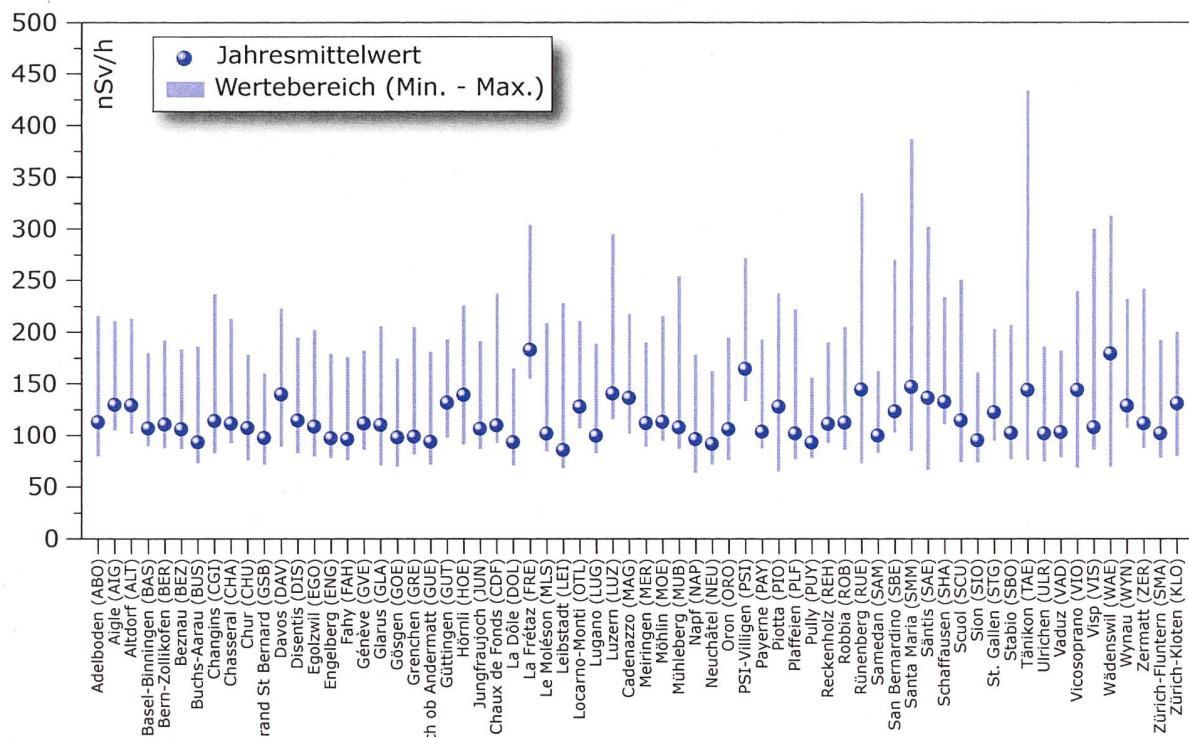
Nationale Alarmzentrale NAZ, Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS,
Ackermannstrasse 26, 8044 Zürich

Zusammenfassung

Das Netz für die automatische Dosisleistungsalarierung und -messung (NADAM) dient der grossräumigen und permanenten Überwachung der externen Strahlung in der Schweiz. Das Netz besteht aus 66 Stationen (Stand 31.12.2014), die über die ganze Schweiz verteilt sind. Alle Stationen messen in 10 Minuten Intervallen die γ -Ortsdosiseleistung (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 2014 wurden keine Werte gemessen, die auf eine erhöhte Strahlenbelastung der Bevölkerung schliessen liessen.



Figur 1:

Jahresmittelwerte und Erfahrungsbereiche 2014 der NADAM-Sonden. Der dargestellte Erfahrungsbereich entspricht dem Bereich zwischen dem minimalen und dem maximalen 10-Min-Wert der Sonde im Jahr 2014.

Einleitung

Die permanente Überwachung der externen Strahlung in der Schweiz wird von den 66 über die ganze Schweiz verteilten NADAM-Stationen (Stand 31.12.2014) garantiert. Die Stationen befinden sich bei den Wetterstationen von MeteoSchweiz und liefern alle zehn Minuten Daten zur Ortsdosiseleistung (ODL, H*(10)). In Ergänzung zu den ODL-Daten sind damit auch Wetterdaten verfügbar, die wichtige Zusatzinformationen für die Interpretation der Messwerte liefern.

Die Sonden sind mit 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 einem A-Waffenexplosion zu messen wären.

Das NADAM-Netz wird von der Nationalen Alarmzentrale (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 Alarmerierung und Sofortmassnahmen zum Schutz der Bevölkerung anordnen. Das NADAM-Netz dient also als Frühwarnsystem. Wird die Alarmschwelle (1 mikroSv/h) überschritten, löst dies in der NAZ eine Alarmmeldung aus. In der NAZ wird der Wert

verifiziert (Ausschluss von technischen Problemen, Überprüfung der meteorologischen Daten und Vergleich mit Nachbarstationen), eventuell werden weitere Messmittel für Abklärungen vor Ort aufgeboten. Bei einem ernsthaften Verdacht auf eine mögliche radiologische Gefährdung wird die ganze NAZ aufgeboten und die Behörden des betroffenen Kantons orientiert. Bei einem radiologischen Ereignis unterstützt das NADAM-Netz die NAZ bei der Bestimmung des gefährdeten Gebietes und der Beurteilung der allfällig notwendigen Massnahmen.

Die ODL-Werte der NADAM-Sonden werden täglich auf der Internetseite der NAZ (www.naz.ch) publiziert. Unter der Rubrik „Aktuell“ können die Stundennmittelwerte der letzten drei Tage sowie die Tagesmittelwerte vom Vortag abgerufen werden. Im Jahr 2014 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.

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 11 Standorte erweitert.



Figur 2:

Karte der Jahresmittelwerte 2014 aller NADAM-Sonden in Nanosievert pro Stunde, basierend auf den 10-Min-Werten. Der Jahresmittelwert der Ortsdosiseleistung variiert je nach Standort zwischen 86 und 183 nSv/h.

Jahresmittelwerte und Erfahrungsbereiche 2014

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 San Bernardino

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

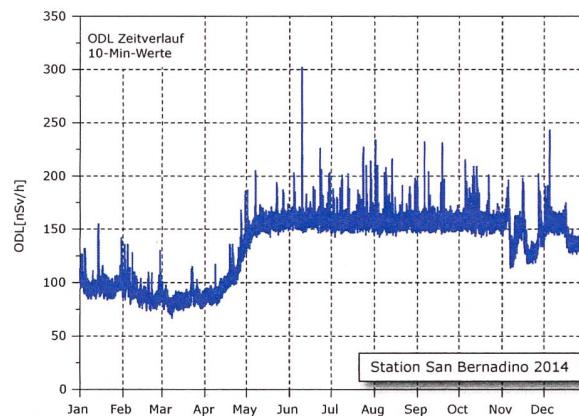
Der geologische Untergrund bestimmt den Beitrag der terrestrischen Strahlung zur Ortsdosisleistung. In alpinen Gebieten mit uran- und thoriumhaltigem Gestein ist der Anteil der natürlichen Radioaktivität im Boden höher als z.B. im Mittelland. Dies führt zu einer höheren terrestrischen Strahlung.

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

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

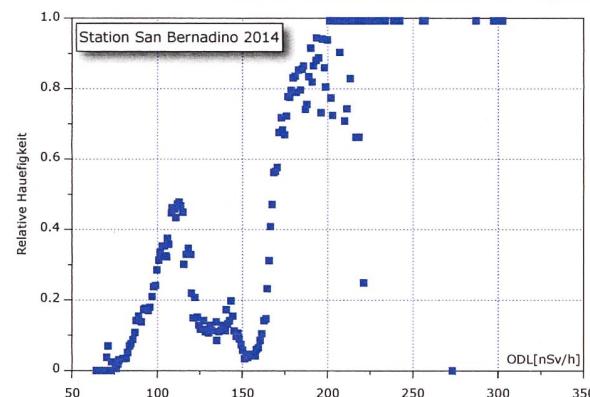
Die Schwankungen des ODL-Verlaufs einer Station innerhalb eines Jahres reflektieren dann grössten teils die variablen meteorologischen Verhältnisse am Standort (siehe Figur 3).

In Figur 3 kann man die Einflüsse von Regen und Schnee auf die ODL-Daten gut erkennen. Einerseits erkennt man, dass während der lange 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 Vicosoprano (-61% im Vergleich zum Jahresmittelwert), Ulrichen (-52%), San Bernardino (-51%) und Piotta (-49%) (siehe Figur 1).



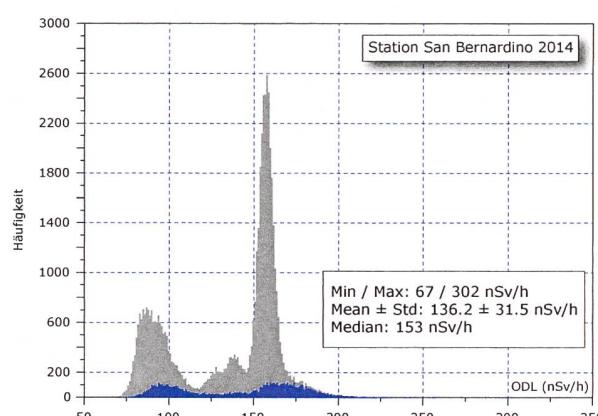
Figur 3:

Zeitverlauf der 10-Min-Werte für die Station San Bernardino im Jahr 2014. Deutlich sichtbar sind die niedrigeren Ortsdosisleistungswerte während des langen Winters 2013/14, in denen der Schnee die terrestrische Strahlung abschirmt.



Figur 4:

Korrelation zwischen den 10-Min-Werten und den Niederschlägen für die Station San Bernardino im Jahr 2014. Die Ortsdosisleistungswerte über 200 nSv/h korrelieren sehr gut mit Niederschlägen.



Figur 5:

Verteilung der 10-Min-Werte für die Station San Bernardino im Jahr 2014; grau: alle Messwerte; blau: Messwerte während Niederschlägen. Sichtbar: Die vier grauen Spitzen zeigen die häufigsten Messwerte im Winter (erste, zweite und dritte Spitze von links) und im Sommer (vierte Spitze, rechts). Die höchsten Ortsdosisleistungswerte werden praktisch immer bei Niederschlägen gemessen.

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 einem Faktor zwei erhöht sein.

In Figur 4 ist die Korrelation der ODL-Daten mit dem Niederschlag dargestellt. Die ODL-Daten über 200 nSv/h korrelieren in den allermeisten Fällen mit Niederschlägen. Die ODL-Spitzen, die man in Figur 3 beobachtet, lassen sich damit sehr gut mit den Niederschlägen erklären. Der Niederschlagseffekt zeigt sich auch sehr gut in den maximalen 10-Minuten-Werten der Stationen Santa Maria (+202 % im Vergleich zum Jahresmittelwert), Vaduz (+179 %), Leibstadt (+166 %) und Samedan (+164 %) (Figur 1).

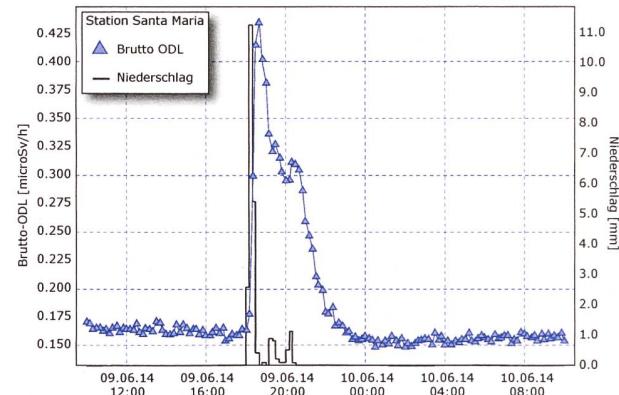
Figur 5 zeigt die Häufigkeitsverteilung der 10-Minuten ODL-Daten. Grau kennzeichnet die Verteilung aller ODL-Daten, blau nur diejenigen bei Niederschlägen (Schnee oder Regen).

Bei der grauen Kurve sind vier lokale Maxima sichtbar. Das erste Maximum, das ungefähr bei 85 nSv/h liegt, entspricht dem häufigsten Wert mit geschlossener Schneedecke in den ersten Monaten des Jahres 2014 (Januar-April). Das zweite Maximum (bei ungefähr 130 nSv/h) entspricht dem häufigsten Wert in der Winterperiode Ende Dezember und das dritte Maximum (bei ungefähr 140 nSv/h) demjenigen im November. Der häufigste Wert an Tagen ohne Schneedecke ist 155 nSv/h und entspricht dem vierten 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. Buchs-Aarau, Nyon-Changins, Fahy/Boncourt, Genève, Stabio). Wenn es jedoch am Standort der Sonde eine klare Wintersaison mit viel Schnee gibt und die terrestrischen Strahlung aufgrund des Untergrunds vergleichsweise gross ist, dann liegen diese beiden Werte klar auseinander (z.B. Gütsch ob Andermatt, San Bernardino, Zermatt).



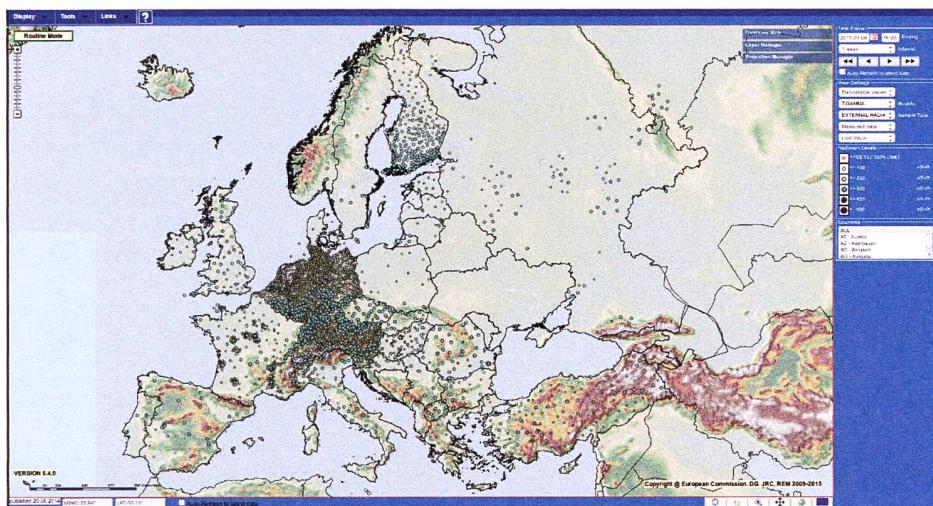
Figur 6:
Zeitverlauf der 10-Min-Werte für die Station Santa Maria vom 09.06.14 10:00 bis 10.06.14 10:00.

Infolge heftiger Niederschläge gab es 2014 mehrere klar erhöhte/höhere Werte (z.B. Santa Maria 434 nSv/h am 08.03.14 und Samedan 387 nSv/h am 16.03.14).

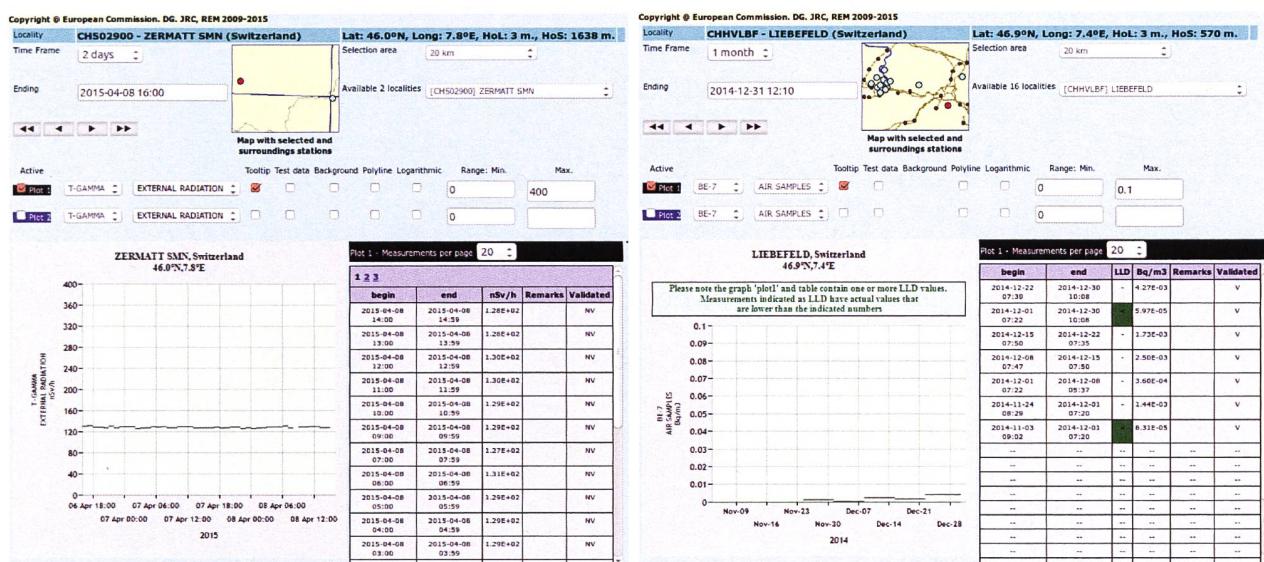
Die europäische Plattform EURDEP

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. 34 Länder (Stand 08.04.2015) schicken ihre Dosisleistungsmesswerte (in der Regel Stundenmittelwerte) zum JRC: Einige Länder, darunter auch die Schweiz, schicken auch die Resultate von Luftaktivitätsmessungen. Für die Schweiz ist die Nationale Alarmzentrale (NAZ) der Official Eurdep Contact Point: ihre Aufgabe ist es, alle Messwerte der Schweiz zu sammeln und 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, 31.12.2014), stündlicher Versand (Quelle: NAZ).
- alle MADUK-Stundenmittelwerte (57 ODL-Stationen, 31.12.2014), stündlicher Versand (Quelle: ENSI).
- Luftaktivitätsresultate der 6 High Volume Samplers (31.12.2014), wöchentliche Auswertung und wöchentlicher Versand (Quelle: BAG-URA).



Figur 7:
Dosisleistungskarte-Karte
in EURDEP.
Quelle: EURDEP (08.04.2015)



Figur 8:
Darstellungsmöglichkeiten in EURDEP: Links ODL-Zeitverlauf der Station Zermatt und rechts ⁷Be Luftaktivität-Zeitverlauf in Liebefeld. Quelle: EURDEP (08.04.2015)

Qualitätssicherung

Die Sonden sind vom Hersteller typengeprüft und wurden durch das „Institut universitaire de radio-physics appliquée“ (IRA) geeicht. Die Gültigkeit des Eichzertifikats ist auf fünf Jahre festgelegt.

Die Sonden werden jährlich getestet und mindestens alle fünf Jahre geeicht. Die einzelnen jährlichen Sondentests werden von MeteoSchweiz gleichzeitig mit dem Unterhalt der dort vorhandenen Meteo-Station durchgeführt. Ziel dieser Sondentests ist einerseits zu überprüfen, dass die Sonden im definierten Wertebereich korrekt messen: Bei einer Abweichung von mehr als 7% des gemessenen Wertes zum Sollwert wird die Sonde ausgewechselt. Somit können sich die Dosisleistungswerte von zwei verschiedenen Sonden (verschiedene Seriennummer) am gleichen Standort (bei einer ODL von rund 100 nSv/h) um maximal 15 nSv/h unterscheiden. Bei technischen Defekten werden die Sonden ausgewechselt, bei der MeteoSchweiz in Payerne

im Labor getestet und wenn notwendig dem Hersteller zur Reparatur geschickt. Anderseits werden bei dem Sondentest auch die Meldewege getestet, insbesondere die Auslösung des Alarms.

Im Jahr 2014 wurden bei 66 Stationen 68 Sondentests durchgeführt (2 Stationen wurden 2 Mal getestet). Gesamthaft wurden in diesem Jahr 4 Sonden zur Reparatur geschickt. Diese Zahlen bestätigen, dass die NADAM-Stationen stabil und zuverlässig sind.

In Hinblick auf den oben erwähnten Ausbau des NADAM-Netzes wurden 2014 10 zusätzliche Sonden gekauft. Damit verfügt die NAZ insgesamt über 116 Sonden. Der grösste Teil davon ist an den NADAM Stationen im Einsatz, weitere Sonden befinden sich laufend in der Eichung oder in der Reparatur. Daneben müssen einsatzbereite Ersatzsonden an vier Wartungsstandorten der MeteoSchweiz zur Verfügung stehen.

Tabelle 1: Jahresmittelwert, häufigster Wert, Minimum und Maximum der NADAM-Stationen

In der folgenden Tabelle sind die Jahresmittelwerte, die häufigsten Werte, die Minima und Maxima, basierend auf den 10-Min-Werten, für alle NADAM-Stationen im Jahr 2014 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	113	114	80	216
Aigle (AIG)	VD	09.09.09	382	129	127	105	211
Altdorf (ALT)	UR	28.10.09	439	129	127	102	213
Basel-Binningen (BAS)	BS	19.11.09	317	107	104	90	180
Bern-Zollikofen (BER)	BE	30.09.09	554	110	109	88	192
Beznau (BEZ)	AG	19.11.09	327	106	105	87	183
Buchs-Aarau (BUS)	AG	20.11.09	388	93	92	73	186
Changins (CGI)	VD	23.09.09	459	111	111	93	213
Chasseral (CHA)	BE	17.09.09	1594	107	108	76	178
Chur (CHU)	GR	09.10.09	557	97	96	72	160
Grand St Bernard (GSB)	VS	09.09.09	2491	131	141	98	193
Davos (DAV)	GR	08.10.09	1589	139	147	89	223
Disentis (DIS)	GR	28.10.09	1197	114	114	83	195
Egolzwil (EGO)	LU	22.09.10	523	97	96	78	179
Engelberg (ENG)	OW	30.10.09	1035	96	95	76	176
Fahy (FAH)	JU	14.10.09	597	111	111	86	182
Génève (GVE)	GE	24.09.09	412	109	108	93	238
Glarus (GLA)	GL	02.12.09	518	98	96	70	175
Gösgen (GOE)	SO	20.11.09	381	99	98	82	205
Grenchen (GRE)	SO	06.12.10	431	94	93	72	181
Gütsch Andermatt (GUE)	UR	01.09.05	2296	139	175	91	226
Güttingen (GUT)	TG	03.12.09	441	106	105	87	191
Hörnli (HOE)	ZH	12.11.09	1133	93	91	71	165
Jungfraujoch (JUN)	VS	29.09.09	3581	183	180	155	304
Chaux de Fonds (CDF)	NE	17.09.09	1018	114	115	83	237
La Dôle (DOL)	VD	23.09.09	1670	109	110	80	202
La Frétaz (FRE)	VD	24.09.09	1206	110	109	71	206
Le Moléson (MLS)	FR	19.08.09	1975	112	112	89	190
Leibstadt (LEI)	AG	19.11.09	342	86	85	68	228
Locarno-Monti (OTL)	TI	22.10.09	368	164	161	133	272
Lugano (LUG)	TI	21.10.09	297	128	126	107	211
Luzern (LUZ)	LU	05.11.09	455	99	97	83	189
Cadenazzo (MAG)	TI	22.10.09	204	140	137	116	295
Meiringen (MER)	BE	06.10.11	590	136	134	102	218
Möhlin (MOE)	AG	09.2010	341	113	112	95	216
Mühleberg (MUB)	BE	15.10.09	481	107	106	87	254
Napf (NAP)	BE	05.11.09	1405	96	99	64	178
Neuchâtel (NEU)	NE	10.12.09	485	92	87	72	162
Oron (ORO)	VD	29.02.12	828	106	105	76	195
PSI-Villigen (PSI)	AG	27.07.11	335	93	92	78	156
Payerne (PAY)	VD	13.08.09	490	104	102	88	193
Piotta (PIO)	TI	29.10.09	990	128	137	65	238
Plaffeien (PLF)	FR	14.08.09	1043	102	101	77	222
Pully (PUY)	VD	23.09.09	456	111	107	93	190
Reckenholz (REH)	ZH	13.11.09	444	112	111	86	205
Robbia (ROB)	GR	07.10.09	1079	144	144	73	335
Rünenberg (RUE)	BL	20.11.09	612	100	99	83	162
Samedan (SAM)	GR	25.08.09	1710	147	157	85	387
San Bernardino (SBE)	GR	29.10.09	1640	136	158	67	302
Santa Maria (SMM)	GR	15.12.11	1385	144	149	76	434
Säntis (SAE)	AI	11.11.09	2503	123	122	103	270
Schaffhausen (SHA)	SH	04.12.09	439	95	94	74	161
Scuol (SCU)	GR	27.08.09	1305	114	117	74	251
Sion (SIO)	VS	10.09.09	482	122	121	95	203
St. Gallen (STG)	SG	12.11.09	777	102	100	75	186
Stabio (SBO)	TI	21.10.09	352	132	131	111	234
Tänikon (TAE)	TG	03.12.09	539	103	102	79	182
Ulrichen (ULR)	VS	04.11.09	1347	144	163	69	240
Vaduz (VAD)	FL	03.12.09	458	108	106	86	300
Vicosoprano (VIO)	GR	06.02.13	1089	179	199	70	313
Visp (VIS)	VS	11.09.09	640	128	127	107	232
Wädenswil (WAE)	ZH	02.12.09	487	111	109	88	242
Wynau (WYN)	BE	15.10.09	423	102	101	78	192
Zermatt (ZER)	VS	11.09.09	1640	130	139	80	200
Zürich-Fluntern (SMA)	ZH	24.11.09	557	102	100	77	207
Zürich-Kloten (KLO)	ZH	24.11.09	427	102	101	85	209

3.3 Aeroradiometrische Messungen

B. Bucher¹, G. Butterweck², L. Rybach³, G. Schwarz¹

¹ Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Industriestrasse 19, 5200 Brugg

² Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen PSI

³ Institut für Geophysik, ETH Zürich, 8092 Zürich

Zusammenfassung

Bei den Messflügen im Juni 2014 wurde turnusgemäß die Umgebung der Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) sowie die Umgebung des Paul Scherrer Instituts (PSI) und der Zwischenlager AG (ZWILAG) abgedeckt. Weiter wurden Baden, Brugg, Winterthur und Schaffhausen sowie Sektor 2 in der Zone 2 von KKB/KKL beflogen. Zudem wurde bei Frauenfeld mit Einsatzkräften die Quellsuche geübt sowie ein Profil von St. Gallen nach Maloja gemessen.

Die Messresultate in den Messgebieten KKB/KKL/PSI/ZWILAG zeigten ein ähnliches Bild wie in früheren Jahren. KKB konnte nicht detektiert werden. Bei KKL 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 Messungen über den Städten, dem Sektor 2 der Zone 2 von KKB/KKL und dem Profil von St. Gallen ins Vicosoprano 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 [1]. 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 [2].

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.

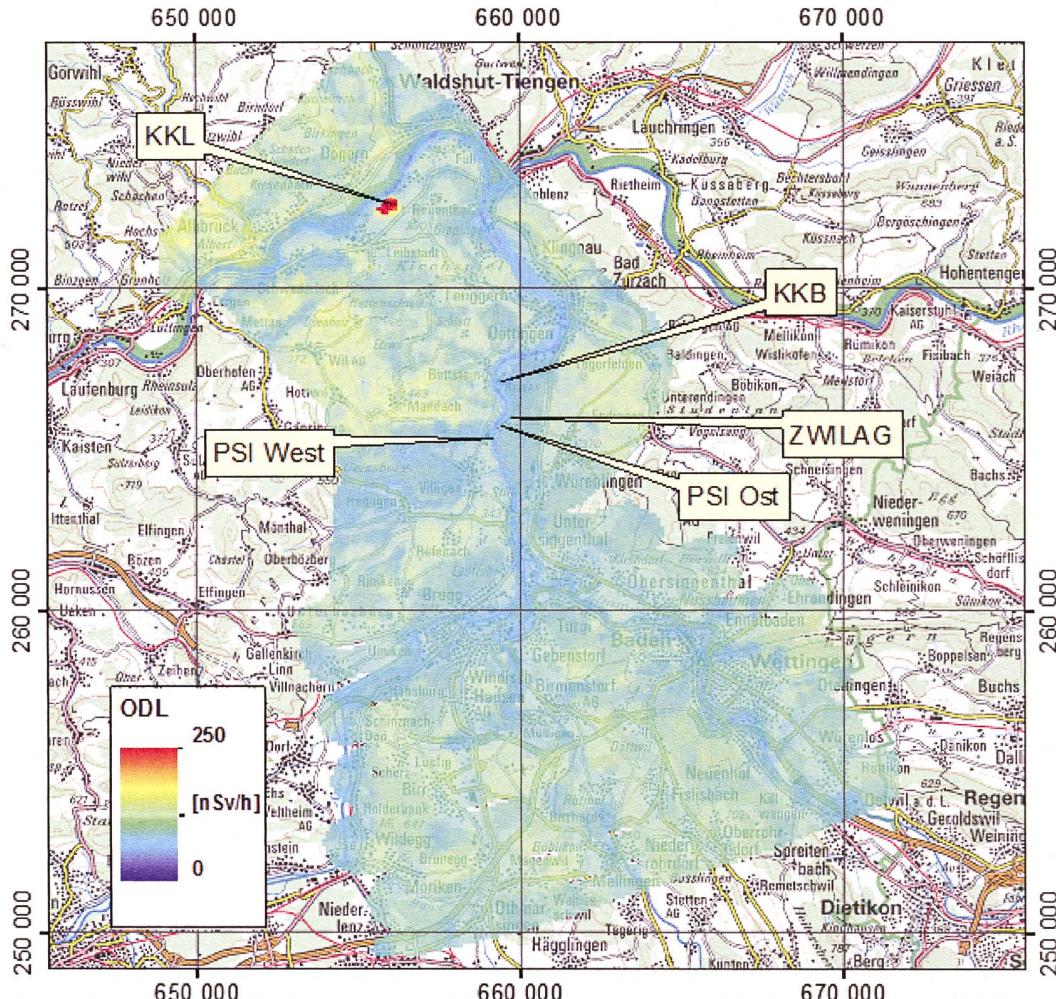
Im Jahre 2010 [3] wurde mithilfe der Auswertung der Langzeitdaten die Nachweisgrenze der Messmethode ermittelt: 20 nSv/h werden in 95 von 100 Fällen erkannt (Vertrauensbereich 95%). Dies entspricht ungefähr 20 % der natürlichen externen Strahlung.

des Paul Scherrer Instituts (PSI) und der Zwischenlager AG (ZWILAG) abgedeckt. Das Standardprogramm in der Umgebung von KKL wurde um einige Fluglinien auf deutscher Seite erweitert, wie es in Absprache mit der Deutsch-Schweizerischen Kommission (DSK) nach Möglichkeit in regelmässigem Rhythmus vorgesehen ist. Weiter wurden Baden, Brugg, Winterthur und Schaffhausen sowie Sektor 2 in der Zone 2 von KKB/KKL beflogen. Zudem wurde in Frauenfeld zusammen mit Einsatzkräften der Kantone Thurgau und Zürich die Quellensuche geübt sowie ein Profil von St. Gallen nach Maloja gemessen.

Messungen und Messresultate 2014

Bei den Messflügen im Juni 2014 wurde turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) sowie die Umgebung

Die Messresultate im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegangenen Messkampagnen (Fig. 1). KKB mit seinem Druckwasserreaktor konnte aeroradiometrisch nicht detektiert werden. Im Gegensatz zu KKB kön-



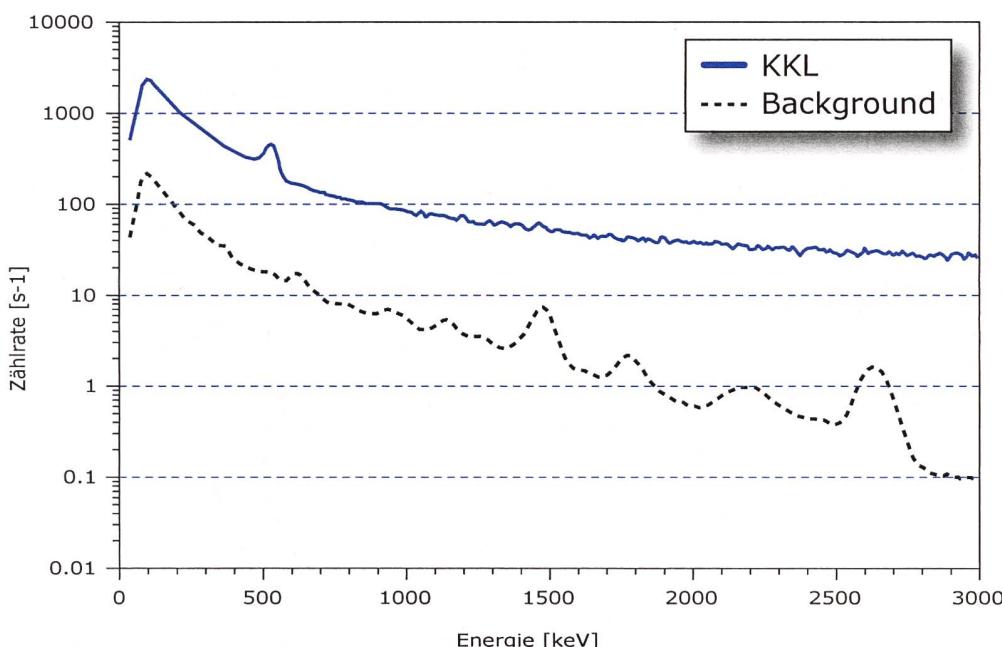
Figur 1:
Ortsdosiseleistung 2014 im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG, im Sektor 2 der Zone 2 von KKB/KKL, Brugg und Baden.
Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.

nen am Standort von KKL in der Figur 1 erhöhte Messwerte erkannt werden. Das KKL mit seinem Siedewasserreaktor konnte anhand gestreuter, hochenergetischer Photonenstrahlung detektiert werden (Fig. 2). Diese Strahlung wird durch das Aktivierungsprodukt ^{16}N erzeugt, welches bei Siedewasserreaktoren durch die Frischdampfleitung in die Turbinen im Maschinenhaus gelangt. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise gering abgeschirmt ist, kann die hochenergetische Gammastrahlung des ^{16}N aus der Luft gut gemessen werden. Ausserhalb des Betriebsareals sind keine erhöhten Werte erkennbar, die auf den Betrieb des KKL zurückgeführt werden könnten. Die Ergebnisse im Sektor 2 der Zone 2 sowie über den Städten Brugg und Baden sind sehr ähnlich zu denen in der unmittelbaren Umgebung von KKB/KKL/PSI/ZWILAG und weisen keine Besonderheiten auf. Kleine Unterschiede sind auf Einflüsse der Topographie wie Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen.

Die Messresultate über den Städten Winterthur (Fig. 3) und Schaffhausen (Fig. 4) entsprechen den für das Schweizer Mittelland typischen Werten. Es wurden keine ungewöhnlichen Messwerte registriert. Unterschiede sind auf Einflüsse der Topographie wie Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen. Ebenfalls bei den Messungen entlang des Profils von St. Gallen nach Maloja wurden keine ausserordentlichen Messwerte registriert.

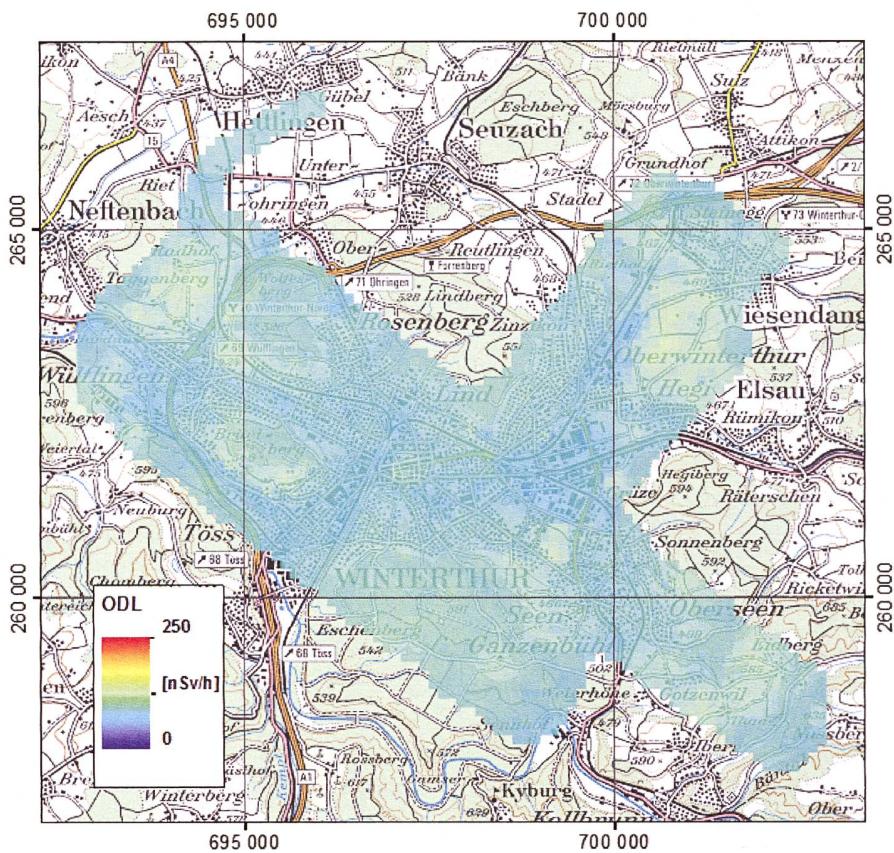
Literatur

- [1] Schwarz, G. F., 1991. Methodische Entwicklungen zur Aerogammaspektrometrie. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geophysik Nr.23, Schweizerische Geophysikalische Kommission.
- [2] Bucher, B., 2001. Methodische Weiterentwicklungen in der Aeroradiometrie. Dissertation Nr. 13973, ETH Zürich.
- [3] 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.

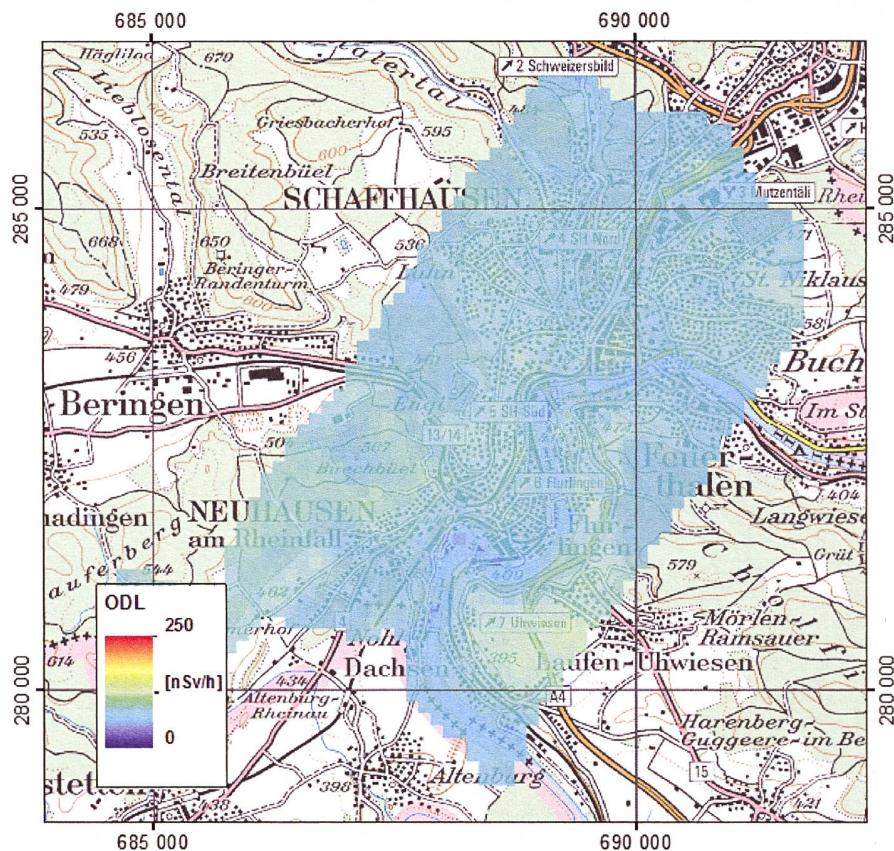


Figur 2:

Photonenspektrum 2014 im Bereich des Maschinenhauses des KKL im Vergleich zum Untergrund ausserhalb des Betriebsareals. Die Erhöhung der Zählraten im gesamten Energiebereich beim KKL ist auf Streustrahlung der hochenergetischen Gammalinen des ^{16}N zurückzuführen. Der Peak bei 511 keV ist auf Annihilationsstrahlung zurückzuführen, die als Sekundäreffekt bei hochenergetischer Gammastrahlung auftritt.



Figur 3:
Ortsdosisleistung 2014 im Messgebiet Winterthur. Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.



Figur 4:
Ortsdosisleistung 2014 im Messgebiet Schaffhausen. Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.