

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: - (2016)

Rubrik: Environnement = Umwelt

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 15.02.2026

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

Chapitre / Kapitel 4

Environnement

Umwelt

4.1

Radioaktivität in der Luft (Aerosol) und im Niederschlag

P. Steinmann, S. Estier, P. Beuret, G. Ferreri, A. Gurtner, D. Lienhard, M. Müller,
Sektion Umweltradioaktivität, URA / BAG, 3003 Bern

Zusammenfassung

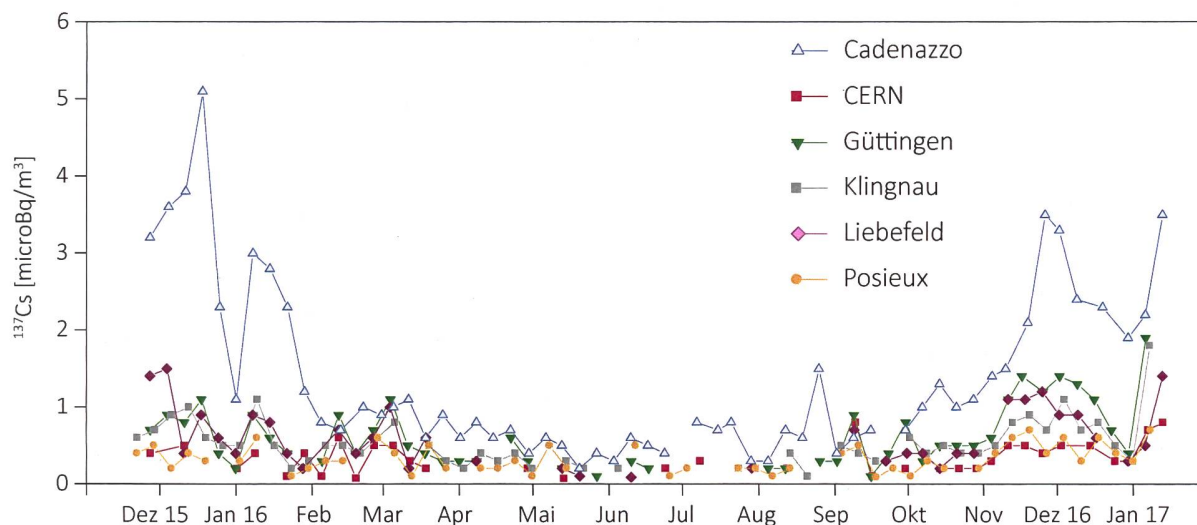
Die Messungen zur Überwachung der Radioaktivität in der Luft und im Niederschlag haben im Jahr 2016 keine erhöhten Werte gezeigt, welche eine Gefährdung der Gesundheit der Bevölkerung dargestellt hätten. In diesen Umweltkompartimenten überwiegt der Anteil an natürlicher Radioaktivität deutlich. Dank der grossen Empfindlichkeit der verwendeten Messmethoden konnten trotzdem kleinste Spuren von künstlichen Radionukliden auf den Aerosol-Partikeln nachgewiesen werden. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um ^{137}Cs , welches noch aus den alten Ablagerungen der Atomwaffenversuche der 50-er und frühen 60-er Jahren und des Reaktorunfalles von Tschernobyl stammt. Die gemessenen Konzentrationen von künstlichen Gamma- und Alpha-Strahlern liegen um viele Grössenordnungen tiefer als die entsprechenden Immissionsgrenzwerte aus der Strahlenschutzverordnung (StSV). Im Niederschlag wurden 2016 mit Ausnahme von Tritium und sporadischen Spuren von ^{137}Cs keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen. Die Tritiumkonzentrationen in der unmittelbaren Umgebung von Tritium-verarbeitender Industrie erreichten im Maximum 16% des Immissionsgrenzwertes der StSV für öffentlich zugängliche Gewässer.

Luft

Probenahme und Messung

Das BAG sammelt Aerosolpartikel mit sogenannten High-Volume-Samplern (HVS) an 6 Stationen in der Schweiz (siehe Tabelle 1). Bei den HVS Stationen wird fortlaufend Luft gefiltert (rund 100'000 m³ pro Woche). Einmal in der Woche werden die Filter gewechselt und zur Analyse ans BAG gesandt. Im Labor werden sie zur Messung vorbereitet und während 2 Tagen auf einem HPGe-Gammaspektrometer gemessen. Die lange Messzeit ist nötig, weil die Konzentration der radioaktiven Stoffe sehr tief ist. Anschliessend werden die Messresultate auf www.radenviro.ch und www.bag.admin.ch/hvs veröffentlicht. Ziel der HVS Messungen ist nicht die schnelle Alarmierung (dafür gibt es Radair/URAnet, MADUK und NADAM) sondern der Nachweis von kleinsten Spuren, die von den anderen Messsystemen nicht detektiert werden. Die Erfahrung, besonders im Jahr 2011 nach dem Reaktorunfall in Fukushima, hat gezeigt, dass für eine glaubwürdige Information der Bevölkerung und Behörden eine präzise Messung der tatsächlich vorhandenen Radioaktivität unverzichtbar ist. Neben den HVS-Filtern betreibt das BAG Mittelvolumen-Filter (MV), welche ein 10- bis 20-mal geringeres Luftvolumen filtrieren und damit entsprechend höhere Nachweisgrenzen haben. Die MV-Sammler sind zur Überwachung der Kernkraftwerke bei Gösgen, Leibstadt, Mühleberg und PSI/Beznau stationiert, wobei der letztgenannte vom PSI

4.1 Radioaktivität in der Luft und im Niederschlag



Figur 1:
 ^{137}Cs Konzentrationen bei allen HVS Stationen für das Jahr 2016.

betrieben und gemessen wird. Ein weiterer MV-Sammler steht für die Überwachung der freien Atmosphäre in der Hochalpinen Forschungsstation Jungfrauoch. Die Filter der MV-Sammler werden wöchentlich gewechselt und als Monatsprobe (4-5 Filter) gammaspektrometrisch gemessen.

Künstliche Radioisotope in der Luft

Als einziges künstliches Radioisotope war Cäsium-137 (^{137}Cs) regelmässig nachweisbar (siehe Figur 1). ^{137}Cs hat eine Halbwertszeit (HWZ) von 30 Jahren und rührt zur Hauptsache immer noch vom Reaktorunfall in Tschernobyl her. Die in der Luft gemessenen Konzentrationen sind sehr gering. Die höchsten Werte von 3 bis 5 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ wurden 2016 wie in früheren Jahren im Januar und Dezember für die Station Cadenazzo gemessen. Diese Werte sind rund eine Million Mal tiefer als der Immissionsgrenzwert für ^{137}Cs von 3.3 Bq/m^3 . Die erhöhten ^{137}Cs Konzentrationen in den Wintermonaten sind wahrscheinlich durch aufgewirbelte Bodenpartikel in der vegetationsarmen Zeit erklärbar. Möglich ist auch ein Beitrag durch

Tabelle 1:
HVS-Stationen des BAG

Station	H.ü.M.	Gemeinde	Umgebung	Bemerkung
CAD	203 m	Cadenazzo	Landwirtschaft	Referenzstation für die Alpensüdseite
CERN	428 m	Meyrin	Landwirtschaft, Stadtnähe	Nähe CERN, zur Erfassung eventueller Abgaben aus den Beschleunigern
GUT	440 m	Güttingen	Landwirtschaft, Bodensee	Referenzstation für das östliche Mittelland
KLI	315 m	Klingnau	ländlich, Stausee	im Einflussbereich der KKW Beznau und Leibstadt
LBF	560 m	Köniz	städtisch, Agglomeration	am Standort des Bundesamt für Gesundheit
POS	640 m	Hauterive FR	Landwirtschaft	Referenzstation für das westliche Mittelland

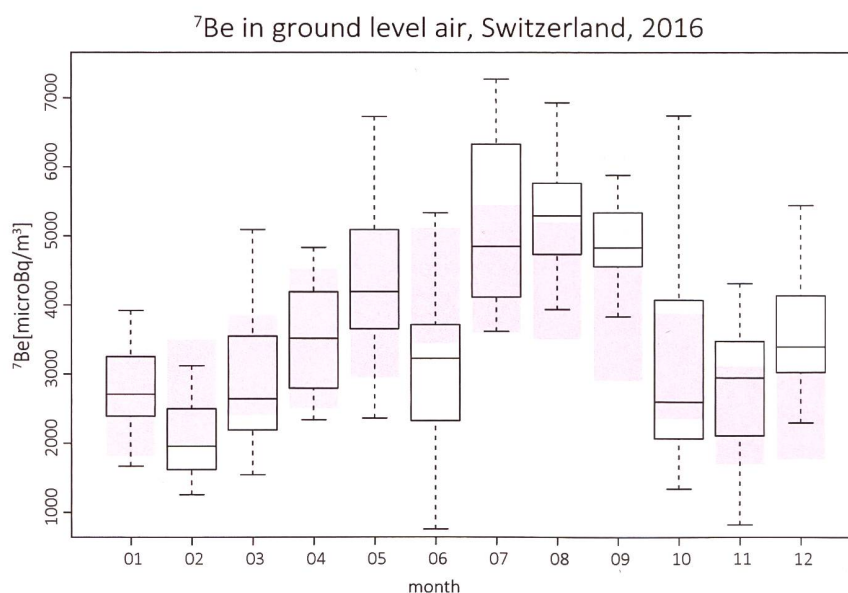
Verbrennen von leicht ^{137}Cs haltigem Holz. Die stärkere Kontamination der Böden im Kanton Tessin nach Tschernobyl erklärt die höheren Werte der Station Cadenazzo. Das radioaktive Natriumisotop ^{24}Na mit einer Halbwertszeit von 15 Stunden kann sowohl natürliche als auch künstliche Quellen haben. Natürliches ^{24}Na wird wie das ^7Be und ^{22}Na in der oberen Atmosphäre durch die kosmische Strahlung erzeugt. Künstliches ^{24}Na kann in Beschleunigern erzeugt werden, wie sie z. B. am Cern in Genf oder am PSI in Villigen im Einsatz stehen. Bei HVS CERN und bei HVS Klingnau konnten im Berichtsjahr gelegentlich Spuren von ^{24}Na nachgewiesen werden; im Bereich von 20 - 125 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Die HVS Station Klingnau liegt

in rund 6 km Entfernung vom PSI, welches daher als mögliche Quelle in Betracht gezogen werden muss. Aufgrund der kurzen Halbwertszeit von ^{24}Na kann die Nachweisgrenze variieren und lag 2016 bei rund einem Siebtel der Messungen bei $> 1'000 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Die gemessenen ^{24}Na Werte und die Nachweisgrenzen insgesamt liegen allerdings stets deutlich unterhalb des Immissionsgrenzwertes von $100 \text{ Bq}/\text{m}^3$. Geringste Spuren von Jod-131 (^{131}I) tauchten 2016 in einigen ($n=9$) HVS Filtern auf; vor allem bei der HVS Station CERN mit einem höchsten Wert von $2.0 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Das auf dem Gelände des CERN gemessene ^{131}I stammt aus einem Beschleuniger. Bei anderen Stationen ist die Ursache von Spuren von ^{131}I in dessen medizinischen Anwendungen zu suchen, etwa wenn ^{131}I durch die Verbrennung von Abfällen aus Spitälern in die Luft gelangt. Der Nachweis von ^{131}I -Spuren im tiefen $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ -Bereich zeigt die hohe Empfindlichkeit der HVS-Messungen. Gesundheitlich sind diese Konzentrationen irrelevant, denn auch der höchste 2016 gemessene Wert liegt eine Million Mal tiefer als der Grenzwert. Auch gestatten derartige Messwerte keinerlei Rückschlüsse auf mögliche Abgaben durch Kernkraftwerke.

Plutonium-Isotope wurden 2016 an zwei Sammelproben von HVS-Filtern der Station Liebefeld bestimmt; eine Probe mit Filtern vom Sommer und eine Probe mit Filtern vom Winter. Die Summe der Alphastrahler ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu und ^{241}Am ergab 1.44 ± 0.24 nano-Becquerel pro m^3 Luft (nBq/m^3) im Winterhalbjahr 2015/2016 und $1.19 \pm 0.14 \text{ nBq}/\text{m}^3$ im Sommerhalbjahr. Für die Stationen Klingnau und Posieux wurden Ganzjahresproben (Oktober 2015- September 2016) analysiert. Die Summe der Alphastrahler betrug $2.01 \pm 0.15 \text{ nBq}/\text{m}^3$ (Posieux) und $0.89 \pm 0.11 \text{ nBq}/\text{m}^3$ (Klingnau). Diese Konzentrationen der künstlichen Alphastrahler sind sehr tief und liegen wie beim ^{137}Cs eine Million Mal tiefer als der Immissionsgrenzwert. Die Resultate der MV-Filter in der Umgebung der Kernkraftwerke zeigen keine erhöhten Werte im Vergleich zu den HVS-Filtern; sie werden im Kapitel 8.5 näher besprochen.

Natürliche Radioisotope in der Luft

Die 2016 auf den HVS Filtern gemessenen Radioisotope waren fast ausschliesslich natürlicher Herkunft. Vorherrschend waren das Radonfolgeprodukt Blei-210 (^{210}Pb ; HWZ 21 Jahre) und Beryllium-7 (^7Be ; HWZ 50 Tage), welches durch die kosmische Strahlung in hohen Schichten der Atmosphäre gebildet und aus diesem Grund kosmogen genannt wird. Die Konzentration von ^{210}Pb lag 2016 im üblichen Bereich von 0.1 bis $2.2 \text{ mBq}/\text{m}^3$ (Mittelwert $0.6 \text{ mBq}/\text{m}^3$); die Konzentrationen für ^7Be schwankten zwischen 0.8 und $8.7 \text{ mBq}/\text{m}^3$ (Mittelwert $3.7 \text{ mBq}/\text{m}^3$). Neben ^7Be war in kleinsten Spuren von meist weniger als einem $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ das ebenfalls kosmogene Natrium-22 (^{22}Na) nachweisbar. Die Figur 2 zeigt für jeden Monat die Verteilung der ^7Be Konzentrationen aller Stationen im Vergleich mit dem langjährigen Jahresverlauf. Der Jahresverlauf der ^7Be Konzentrationen widerspiegelt das Wettergeschehen, insbesondere die konvektive vertikale Durchmischung der Troposphäre an warmen Sommertagen, wo ^7Be -reiche Luft aus der obersten Troposphäre an den Boden gelangt. Weitere Einflüsse für die ^7Be -Konzentration in der Luft sind Niederschlag (Auswaschen von ^7Be) und die kosmische Strahlung (negative Korrelation mit der Sonnenaktivität). Die kosmische Strahlung war 2016 4.2 % höher als 2015 (www.cosray.unibe). Der Jahresmittelwert 2016 ($3.7 \text{ mBq}/\text{m}^3$) ist aber gegenüber dem Vorjahr unverändert. Die auffälligsten



Figur 2 :

Boxplot der monatlichen ^7Be Konzentrationen bei allen HVS Stationen. Die Box umfasst 50% aller Messwerte, die horizontale Linie in der Box entspricht dem Mittelwert und die «whiskers» gehen zu Minimum und Maximum. Die ausgefüllten Boxen gelten für die langjährigen Monatsmittel (1994-2011) [Referenz 1].

Monate bezüglich ^7Be -Luftkonzentrationen waren 2016 Juni (deutlich weniger ^7Be als im langjährigen Mittel) sowie September und Dezember (beide deutlich mehr ^7Be als im langjährigen Mittel; Figur 2). Der Juni war überwiegend trüb und regnerisch («Klimabulletin Jahr 2016» von MeteoSchweiz); verstärkte Auswaschung und wenig Zufuhr durch hohe Advektion können die niederen ^7Be -Werte erklären. Im Gegensatz dazu war der September sehr warm mit Septemberrekorden vor allem in der Westschweiz. Stärkere vertikale Konvektion und wenig Niederschlag erklären die hohen ^7Be Werte in der bodennahen Luft. Nachdem 2015 mit dem wärmsten Dezember seit Messbeginn aufwartete, brachte 2016 den trockensten Dezember seit Messbeginn («Klimabulletin Jahr 2016», MeteoSchweiz). Beide Male waren die ^7Be Werte deutlich erhöht. Als weiteres natürliches Radioisotop findet sich in den HVS Filtern oft auch ^{40}K . Die Konzentrationen liegen typischerweise bei 5 - 20 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Vereinzelt treten höhere Werte bis um 50 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ auf. Ein ausserordentlich hoher Wert von 600 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ bei der Station HVS Posieux ist vermutlich durch kaliumhaltigen Staub (Dünger?) der dortigen landwirtschaftlichen Forschungsanstalt zu erklären.

Niederschlag

Messungen von Gammastrahlern

Im Berichtsjahr 2016 wurde an folgenden Sammelstationen kontinuierlich Niederschlag gesammelt und monatlich gammaspektrometrisch gemessen: Umgebung der Kernkraftwerke Mühleberg, Leibstadt, Gösgen und Benzau, Umgebung PSI/ZWILAG sowie Posieux FR, Güttingen TG, Cadenazzo TI, Cernier NE und Davos GR. Für die natürlichen Radioisotope ^7Be und ^{210}Pb wurden Werte im Bereich 0.1 - 3.6 (Mittelwert 0.8) Bq/l, respektive 0.01 - 0.75 (Mittelwert 0.02) Bq/l gemessen. Mit Ausnahme von sporadischen Spuren von ^{137}Cs (alle kleiner als 1 mBq/l) konnten in Regen und Schnee keine künstlichen Radioisotope nachgewiesen werden. Als Referenzpunkt kann hier der Immissionsgrenzwert aus der Strahlenschutzverordnung von 16 Bq/l ^{137}Cs in öffentlich zugänglichen Gewässern herangezogen werden, da bei starken Niederschlägen ein öffentlich zugängliches Gewässer im Wesentlichen durch Regenwasser gespeist sein könnte. Für eine weitere Diskussion dieser Resultate siehe auch Kapitel 8.5.

Tritium-Messungen

Für die monatlichen Sammelproben von Niederschlag der Referenzstationen Posieux, Güttingen, Cadenazzo sowie bei den Stationen Basel-Binningen und La Chaux-de-Fonds lagen mit einer einzigen Ausnahme alle Tritiumkonzentrationen unterhalb von 5 Bq/l. Die Ausnahme war die Probe von La Chaux-de-Fonds im Dezember, wo ein vergleichsweise hoher Wert von 66 Bq/l nachgewiesen werden konnte. Tritium-Messungen an Regenproben aus der Umgebung der Kernkraftwerke, dem PSI und dem ZWILAG ergaben ebenfalls Messwerte unterhalb oder knapp über der Nachweisgrenze von 2 - 5 Bq/l. Alle gemessenen Konzentrationen liegen sehr deutlich unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte (siehe Kapitel 8.5). Höhere Tritiumwerte- aber auch klar unterhalb der Grenzwerte- zeigte die Überwachung von Tritium-verarbeitender Industrie. Nahe bei den betroffenen Standorten in Teufen AR und Niederwangen BE enthielt das Regenwasser zwischen 14 und 1986 Bq/l Tritium mit einem Mittelwert von 133 Bq/l. Die Höchstkonzentration entspricht rund 16% des Immissionsgrenzwertes der StSV für öffentlich zugängliche Gewässer. Ausführlicher werden diese Tritium-Resultate in Kapitel 9.3 besprochen.

Referenzen

- [1] Steinmann P., Zeller M., Beuret P., Ferreri G., Estier S., 2013. Cosmogenic ^7Be and ^{22}Na in ground level air in Switzerland (1994-2011). Journal of Environmental Radioactivity 124, 68-73.

4.2

RADAIR

Réseau Automatique de Détections dans l'Air des Immissions Radioactives

S. Estier, P. Beuret, A. Gurtner, D. Lienhard, M. Müller, P. Steinmann

Section Radioactivité de l'environnement, URA / OFSP, 3003 Berne

Résumé

Les résultats des mesures de la radioactivité dans l'air réalisées en continu par le réseau automatique de surveillance RADAIR exploité par l'Office Fédéral de la Santé Publique n'ont mis en évidence aucune valeur inhabituelle au cours de l'année 2016. Dans ce compartiment environnemental, la radioactivité d'origine naturelle domine nettement, et aucune activité β d'origine artificielle supérieure à la limite de détection de 50 à 400 mBq/m³ n'a été enregistrée par les collecteurs d'aérosols. Les concentrations d'iode-131 (¹³¹I) gazeux sont elles aussi restées inférieures aux limites de détection de 40 - 50 mBq/m³.

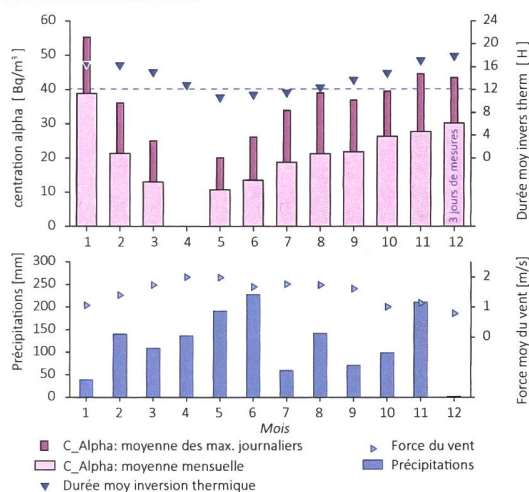
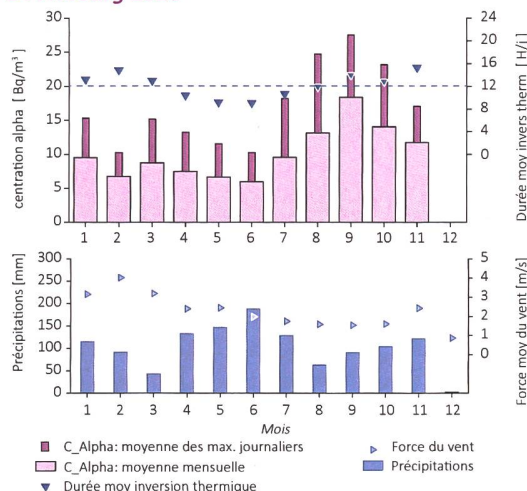
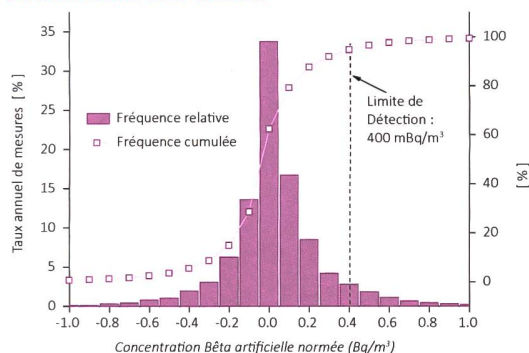
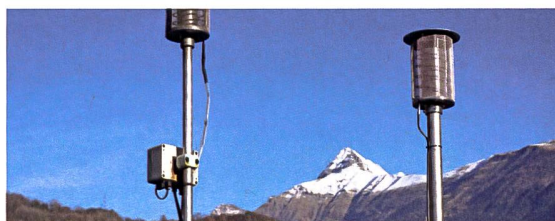
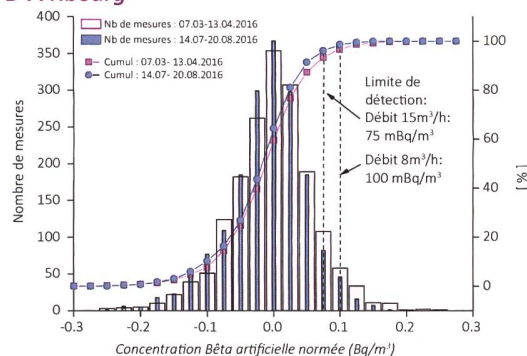
Introduction

L'OFSP exploite trois réseaux de surveillance de la radioactivité dans l'air. Le premier se compose de collecteurs d'aérosols à moyen débit (40 m³/h) et est principalement dédié à la surveillance des centrales nucléaires (Gösgen-Däniken, Leibstadt et Mühleberg), ainsi qu'à la surveillance de sites en altitude (Jungfrauoch). Le deuxième, d'une très grande sensibilité, est constitué de collecteurs d'aérosols à haut débit (env. 500 m³/h) situés à Posieux/FR, Cadenazzo/TI, Göttingen /TG, au CERN/GE, à Klingnau/AG et à Liebefeld/BE. Finalement, l'OFSP gère les 11 stations automatiques de surveillance de l'air composant le réseau RADAIR. A noter qu'au cours de l'année 2016, 5 de ces 11 stations ont été remplacées par des nouveaux moniteurs spectroscopiques du futur réseau URAnet-aero, qui remplacera complètement le réseau RADAIR dès 2018.

Ces réseaux se distinguent par leur sensibilité et leur rapidité de réponse (intervalle de temps entre le début de la période de collection et la disponibilité des résultats de mesure) et remplissent des rôles bien distincts. Dans le cas des collecteurs d'aérosols à haut débit, la période de collecte s'élève à 1 semaine. Les filtres sont ensuite envoyés par poste puis mesurés en laboratoire. Le délai pour l'obtention des résultats est donc de quelques jours. Par contre les limites de détection sont très faibles, env. 0.5 µBq/m³ pour le ¹³⁷Cs. Ces installations permettent ainsi d'évaluer les niveaux réels de radioactivité présents dans l'environnement. Les résultats des mesures des filtres aérosols des collecteurs à haut débit sont détaillés au chapitre 4.1.

Le réseau RADAIR, quant à lui, est un système d'alerte dont l'objectif est de permettre une détection rapide d'une éventuelle hausse significative de la radioactivité dans l'air: les aérosols sont ainsi collectés et mesurés en continu sur des filtres déroulants et les résultats sont collectés par la centrale de gestion des données toutes les 30 minutes. Le présent chapitre détaille les résultats des mesures enregistrées par le réseau RADAIR au cours de l'année 2016.

A noter que les données RADAIR sont toujours disponibles sur internet à l'adresse www.radair.ch, mais depuis 2015 elles ont également été intégrées à la plateforme internet Radenviro (www.radenviro.ch), donnant accès à tous les résultats des mesures de la radioactivité dans l'environnement effectuées dans le cadre de la surveillance coordonnée par l'OFSP.

A : Bellinzona 2016**B : Fribourg 2016****C : Bellinzona 1.1.-4.12.16****D : Fribourg****Figure 1 : A, B, E, F et C, D, G, H:**

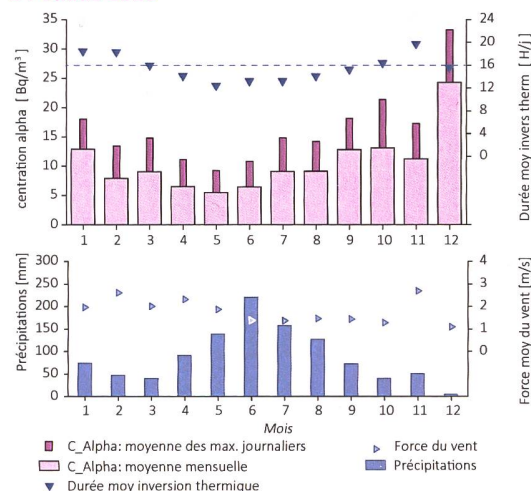
Les figures **A, B, E, F** montrent les concentrations alpha totales (d'origine naturelle) mensuelles moyennes, les moyennes mensuelles des concentrations alpha maximales, la durée moyenne des inversions thermiques entre l'air (2m) et le sol, ainsi que les précipitations cumulées mensuelles et la vitesse moyenne des vents enregistrées en 2016 aux stations de Bellinzona, Fribourg, Vaduz et Weissfluhjoch. Les figures **C, D, G, H** représentent les histogrammes des concentrations bêta artificielles compensées obtenus en 2016 à ces mêmes stations.

Principe de mesure

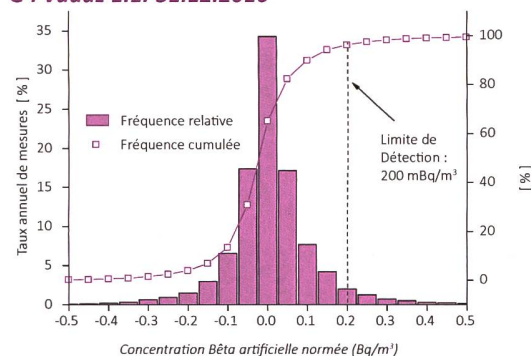
Le principe de mesure part de l'hypothèse que les activités α totales mesurées dans l'environnement sont d'origine naturelle, à savoir qu'elles proviennent du gaz radon émanant du sol ainsi que de ses produits de filiation. À cette activité α naturelle ($A_{\text{nat}} = A_{\text{tot}}$) est, en tout temps, associée une activité β naturelle, B_{nat} . Le rapport entre les activités $A_{\text{tot}} = A_{\text{nat}}$ et B_{nat} est supposé constant pour une station donnée et est noté F . Il est appelé facteur de compensation α/β .

En cas d'incident libérant de la radioactivité dans l'atmosphère, l'activité β totale mesurée, comprendra, en plus de la part naturelle, une contribution d'origine artificielle que nous cherchons à déterminer. L'activité β artificielle moyenne normée (B_{art}), qui constitue la véritable grandeur d'intérêt, est ainsi cal-

E : Vaduz 2016



G : Vaduz 1.1.-31.12.2016



culée à l'aide d'un algorithme de compensation qui soustrait la part naturelle de l'activité β ($B_{\text{nat}} = A_{\text{tot}}/F$) à l'activité β totale (B_{tot}) mesurée: $B_{\text{art}} = B_{\text{tot}} - (A_{\text{tot}}/F)$. Une alarme est déclenchée si la valeur de l'activité β artificielle calculée dépasse un seuil prédéfini.

Dans la pratique, toutefois, il apparaît que le facteur F n'est pas véritablement constant pour une station donnée mais fluctue (en moyenne entre 0.65 et 0.85) quotidiennement ainsi qu'en fonction de la saison et des conditions météorologiques. Afin d'automatiser le plus possible l'évaluation des résultats, les moniteurs sont équipés d'un logiciel permettant d'adapter en permanence ce facteur F pour prédire au mieux la composante naturelle du rayonnement β (B_{nat}) en tenant compte des fluctuations saisonnières et quotidiennes du site de mesure. Pour cela, le moniteur effectue la moyenne glissante des n ($n > 10$) derniers rapports pour autant que ce dernier soit compris entre des valeurs seuils (0.6 et 0.9). Ce rapport moyen donnera le facteur F_m avec lequel la concentration β artificielle de la mesure en cours sera calculée. Cette technique de compensation automatique du facteur α/β (F_m), offre par ailleurs un abaissement de la limite de détection, jusqu'à un facteur 2 suivants les sites, par rapport à la méthode de correction manuelle utilisée jusqu'en 2011.

Les modifications apportées en 2016

Cinq des onze moniteurs $\alpha\beta$ du réseau RADAIR ont été remplacés par les nouveaux moniteurs FHT59N3 du réseau URAnet aero, successeur du réseau RADAIR. Contrairement aux moniteurs $\alpha\beta$, les nouvelles sondes permettront l'identification et la quantification individuelle des divers radionucléides (émetteurs gamma) présents dans l'air, grâce à la mesure par spectrométrie gamma automatique et en continu des aérosols collectés sur un filtre déroulant. Les moniteurs du réseau URAnet aero étant toujours en test, les résultats obtenus en 2016 ne seront pas détaillés ici. Le reste du réseau RADAIR (moniteurs restants et serveurs) fonctionne toujours avec satisfaction.

En vue de l'intégration des moniteurs d'iode au réseau URAnet, l'ordinateur de contrôle du moniteur d'iode du site de Fribourg a été rénové avec du matériel de nouvelle génération.

Les résultats de mesure

Collecteurs d'aérosols α/β :

Les figures A à H montrent les concentrations α naturelles mensuelles moyennes et maximales enregistrées en 2016 aux stations de Bellinzona, de Fribourg, de Vaduz et de Weissfluhjoch ainsi que les histogrammes des concentrations β artificielles obtenues après compensation.

Les concentrations α moyennes enregistrées dans les différentes stations (cf figures A, B, E et F) dépendent de la nature géologique du sol, de l'environnement ainsi que des conditions météorologiques. Pour une station donnée, ces valeurs fluctuent d'un facteur 2 à 3 au cours de l'année.

Les différences marquées entre la moyenne des concentrations maximales et les concentrations moyennes reflètent les importantes fluctuations diurnes-nocturnes de radioactivité naturelle passant de 5 à 30 Bq/m³ (en 24 heures) suivant les sites (figures A, B et E). La nuit, le sol se refroidit, et refroidit l'air qui le surplombe. Ce phénomène d'inversion nocturne limite la dispersion verticale du radon et de ses produits de filiation qui s'accumulent près du sol durant la nuit. Lorsque le rayonnement solaire élève la température du sol, l'inversion se résorbe, les produits de filiation du radon peuvent s'échapper et les concentrations α mesurées diminuent;

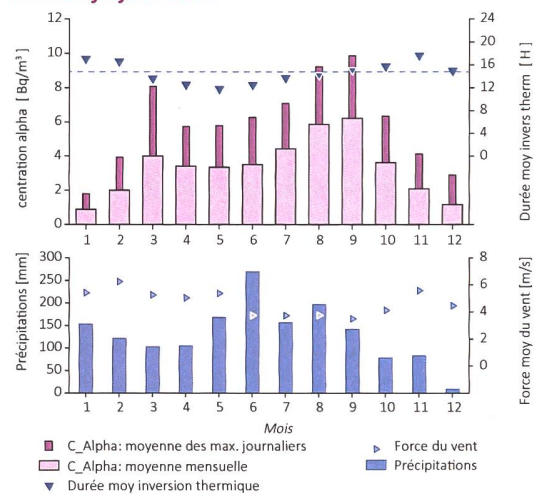
la concentration α maximale étant généralement enregistrée juste après le lever du jour. Afin de mieux comprendre le phénomène, les figures A, B et E montrent, pour chaque mois, la durée journalière moyenne de l'inversion nocturne. Ces durées ont été déterminées à l'aide des mesures demi-horaires des températures de l'air à 2 m et celles au sol. Ces figures montrent que l'inversion nocturne est plus longue en automne et en hiver (à l'exception de décembre 2016 particulièrement ensoleillé) et par conséquent le cumul du radon (concentrations alpha) plus important à ces périodes, d'où des maximaux journaliers plus élevés. Ce mécanisme peut être atténué en cas de vents importants comme se fut le cas en février à Fribourg (voir figure B). A noter qu'à l'inversion nocturne peut également se superposer le phénomène d'inversion en altitude (inversion de subsidence), due à la présence de hautes pressions persistantes et qui influence la concentration α moyenne. La compression de l'air sous la haute pression génère une couche d'air chaud généralement entre 1'000 et 1'500 m d'altitude, créant une situation d'inversion, avec des températures plus élevées en montagne qu'en plaine. En présence d'anticyclone bloquant, la concentration α quotidienne moyenne va augmenter régulièrement. Ce phénomène a été particulièrement marqué en décembre 2016, d'où une concentration α mensuelle moyenne très élevée visible à Vaduz à cette période (les moniteurs de Bellinzona et de Fribourg ont été mis hors service début décembre). Ces différents mécanismes expliquent les résultats mesurés pour les sites de plaine.

Dans les stations de montagne comme au Jungfraujoch et au Weissfluhjoch, les concentrations en radon sont très faibles, en moyenne de l'ordre de 4 - 6 Bq/m³. La contribution provient essentiellement de la plaine, soit avec les vents thermiques, soit avec les vents dominants. Les plus fortes concentrations se rencontrent plutôt en été et sont moindres en hiver. Pour le site de Weissfluhjoch, les mois de novembre à février, le sol de la vallée de Davos est partiellement gelé ou recouvert de neige, à cela s'ajoute que les vents thermiques sont quasi inexistants ce qui explique que les concentrations sont moins importantes durant ces mois, malgré une forte inversion.

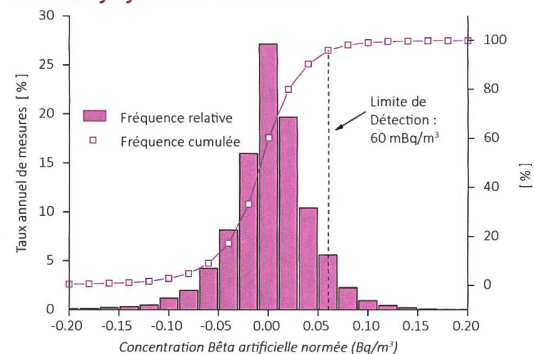
Les concentrations alpha des sites de plaines des mois d'avril à juin sont atténuées, d'une part à cause d'une durée des inversions thermiques moins importantes, d'autre part à cause des précipitations (lessivage des aérosols), à cela s'ajoute également un brassage plus important des masses d'air (phénomène de dilution).

Plus les fluctuations de radioactivité naturelle sont importantes, plus une contribution supplémentaire d'origine artificielle est difficile à mettre en évidence et donc plus la limite de détection de la concentration β artificielle sera élevée. Suivant les sites, on observe ainsi un rapport d'environ 100 à 200 entre la limite de détection des concentrations β artificielles et les valeurs maximales des concentrations α . La présence irrégulière du radon et de ses produits de filiation sur le sol suisse est ainsi responsable des différences notables des limites de détection de la radioactivité β d'origine artificielle. Les histogrammes de la concentration β (figures C, D, G et H) montrent ces limites. Avec l'algorithme automatique de compensation, des incidents de radioactivité plus petits que 300 mBq/m³ pour les stations de plaine et plus petits que 50 mBq/m³ pour les stations d'altitude ne sont pas décelables. A noter que pour faciliter la comparaison des histogrammes entre eux, le pourcentage de mesure (par rapport au nombre annuel total de mesures effectuées par le moniteur) est indiqué en ordonnée, plutôt que le nombre absolu de mesures. En effet, en raison de pannes diverses, le nombre annuel de mesures réalisées par moniteur n'est pas identique.

F: Weissflujoch 2016



H: Weissflujoch 1.1-4.12.2016



À titre d'essai, le moniteur de Fribourg a été équipé durant quelques mois d'une pompe avec un débit variable. En comparant les concentrations artificielles moyennes de deux périodes de même durée où les concentrations alpha étaient les mêmes, mais où le débit de la pompe était de 15 m³/h, au lieu de 8 m³/h, on constate que la limite de détection est réduite, mais pas d'un facteur 2, puisqu'elle passe de 100 mBq/m³ à 75 mBq/m³.

Les moniteurs α/β de Fribourg et de Bellinzona ont fonctionné jusqu'au début décembre 2016. Ils ont ensuite été remplacés par les nouveaux collecteurs spectroscopiques FHT59N3 du réseau URANET.

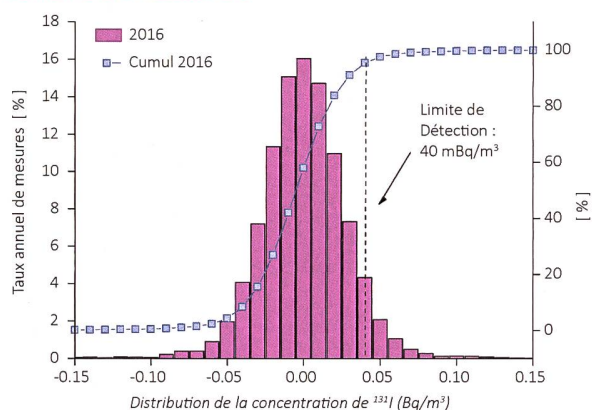
De manière générale, les limites de détection restent sensiblement les mêmes ces dernières années. Elles se situent entre 100 et 400 mBq/m³ pour les sites de plaine.

Notons pour terminer qu'aucune activité β d'origine artificielle supérieure à la limite de détection n'a été enregistrée par les collecteurs α/β en 2016.

Collecteur de ¹³¹I:

Les moniteurs de Bellinzona, de Fribourg, de Genève-Meyrin et du PSI mesurant l'iode gazeux (¹³¹I) n'ont pas décelé de valeurs supérieures à leur limite de détection (40 - 50 mBq/m³) au cours de l'année 2016. La figure 2 montre l'histogramme de la concentration moyenne du ¹³¹I enregistré dans les stations de Genève et du PSI. Malgré les 3 mois d'interruption du moniteur de Genève pour la rénovation du local, les deux histogrammes de la figure 2 sont quasiment identiques.

Genève 1.1.-31.12.16



PSI 1.1.-31.12.16

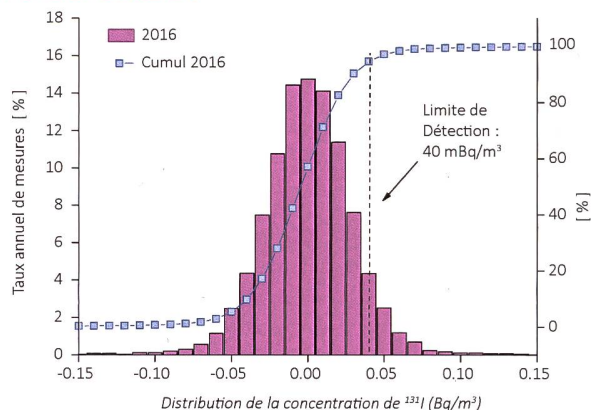


Figure 2:
Histogramme de la concentration du ¹³¹I des stations de Genève et du PSI en 2016

Disponibilité du système

Suite au remplacement des collecteurs α/β de Bâle, Bellinzona, Fribourg, et de Genève par des moniteurs spectroscopiques, les données des moniteurs α/β sont incomplètes pour 2016. En effet l'installation de ces nouveaux collecteurs a nécessité la rénovation des lignes électriques et des climatiseurs ainsi que les passages des lignes d'aspiration.

Hormis l'arrêt des moniteurs pour travaux, les pannes les plus courantes ont été, dans l'ordre de fréquence : les pannes de climatisation des locaux, quelques pannes de secteurs et de communication principalement sur le site du Jungfrauoch et enfin une panne de disque dur.

Conclusions

Les résultats des mesures de la radioactivité dans l'air réalisées en continu par le réseau automatique RADAIR n'ont mis en évidence aucune valeur inhabituelle au cours de l'année 2016. Après 20 ans de service, le réseau RADAIR arrive toutefois en fin de période d'exploitation. En 2016, cinq des onze moniteurs $\alpha\beta$ du réseau RADAIR ont déjà été remplacés par les nouveaux moniteurs spectroscopiques de son successeur, le réseau URANet aero.

4.3

Überwachung der Radioaktivität der Luft mit Militärflugzeugen

M. Müller, S. Estier,

Sektion Umweltradioaktivität, URA / BAG, 3003 Bern

Zusammenfassung

Mittels zwei an Militärflugzeugen montierten Sammelgeräten werden in 8'000 bis 12'000 m Höhe Luftproben erhoben. Im Falle einer Radioaktivitätsfreisetzung kann somit die Nuklidzusammensetzung bereits bestimmt werden, bevor sich die Radioaktivität auf Boden und Pflanzen absetzt. Das Einsatzkonzept sieht im Normalfall 6 Flüge pro Jahr vor, im Ereignisfall können nach Absprache zusätzliche Sammelflüge durchgeführt werden. 2016 konnten nur 4 Flüge durchgeführt werden. Die Messwerte lagen im Bereich der letzten Jahre.

Vorgeschichte

In den 1960er-Jahren wurden von den Grossmächten (USA, Grossbritannien, der damaligen UdSSR, später auch von Frankreich und China) zahlreiche Kernwaffenversuche (zuerst A-Bomben später auch H-Bomben) in der Atmosphäre durchgeführt. Diese führten zu einem deutlichen Anstieg der künstlichen Radioaktivität in Luft und Niederschlägen und als Folge davon auch in Boden, Pflanzen und Nahrungsmitteln. Die damalige KUER (Eidg. Kommission zur Überwachung der Radioaktivität) wurde bereits in den 1950er-Jahren vom Bundesrat beauftragt, ein Überwachungsnetz für die Radioaktivität von Luft und Niederschlägen aufzubauen, um Behörden und Bevölkerung laufend über die Umweltradioaktivität und die daraus resultierenden Strahlendosen informieren zu können.

Bei Kernwaffenexplosionen sowie auch bei Unfällen in Kernanlagen erfolgt die Freisetzung der Radioaktivität zum grössten Teil in die Atmosphäre, und die radioaktive Wolke wird je nach Art der Freisetzung in einer gewissen Höhe mit dem Wind verfrachtet.

Im Ernstfall (d.h. bei einem Kernwaffeneinsatz oder einem schweren Kernkraftwerk-Unfall) müssen die Einsatzorgane rasch über allfällige Schutzmassnahmen für die Bevölkerung entscheiden können. Es ist deshalb notwendig, Zusammensetzung (Nuklidvektor), Ausmass und Lage einer solchen radioaktiven Wolke möglichst frühzeitig zu erfassen, bevor sich deren Radioaktivität auf Boden und Pflanzen abgelagert. Dies führte dazu, dass in den 1960er-Jahren in Zusammenarbeit der KUER mit den damaligen Flugzeugwerken Emmen Sammelgeräte entwickelt und im Windkanal kalibriert wurden, welche ermöglichten,

mittels Militärflugzeugen Aerosolproben aus bis zu 12'000m Höhe zu sammeln um hernach deren Radioaktivität im Labor mittels Gamma-Spektrometrie quantitativ zu analysieren. Ebenfalls ab Mitte der 1960er-Jahre wurden am Physikinstitut der Universität Freiburg die ersten Ge(Li)-Detektoren in Betrieb genommen, die für solche Messungen vom Labor der KUER für die Analyse von Luftfiltern benutzt werden konnten.

Ab dem Jahr 2000 war ein Einsatz mit den Sammelgeräten der ersten Generation nicht mehr möglich, da die Tiger-Flugzeuge über eine andere Aufhängevorrichtung verfügen; zudem zeigte sich auch, dass die seit rund 30 Jahren eingesetzten Geräte einer Überholung bedurften. Mit dieser Erneuerung und Anpassung sowie der erneuten Flugzulassung wurde RUAG Aerospace (die Nachfolgerin der Flugzeugwerke Emmen, die die Geräte damals gebaut hatte) beauftragt. Seit 2004 sind die Geräte wieder einsatzbereit und flugerprobt.



*Figur 1 :
Höhenluftfilter-Aggregate montiert an den beiden Flügeln eines
Tiger sowie Detail-Aufnahme eines Sammelgerätes.*

Sammlung der Proben

Die Probenahme der Aerosolpartikel erfolgt mit Hilfe von Filtern, welche in einem Sammelaggregat unter dem Flügel eines Tigers F-5F/E befestigt werden. Die Geräte können vom Piloten ferngesteuert geöffnet und geschlossen werden, was eine Probenahme unter vorgewählten Bedingungen (bzgl. Flughöhe, Flugroute, Dauer, Geschwindigkeit) ermöglicht. Die Geräte wurden im Windkanal kalibriert, sodass bei bekannter Flughöhe, Geschwindigkeit und Flugdauer die Anzahl gesammelter Kilogramm Luft ermittelt werden kann.

Die Flughöhe kann vom Auftraggeber gewählt werden, je nachdem, ob bei einem Ereignis die radioaktive Wolke bis in die Stratosphäre aufsteigt. Im Normalfall sind 6 Sammelflüge pro Jahr vorgesehen, wobei seit Anfang 2010 Hin- und Rückflug abwechselungsweise über resp. unter der Tropopause erfolgen. Die Höhe der Tropopause wird täglich mit einem Ballonflug durch MeteoSchweiz in Payerne ermittelt.

Die Fluggeschwindigkeit beträgt normalerweise etwa Mach 0.8. Bei einer durchschnittlichen Flugdauer von 20 bis 30 Minuten liegt die gesammelte Luftmenge zwischen 2'000 und 4'000 kg.



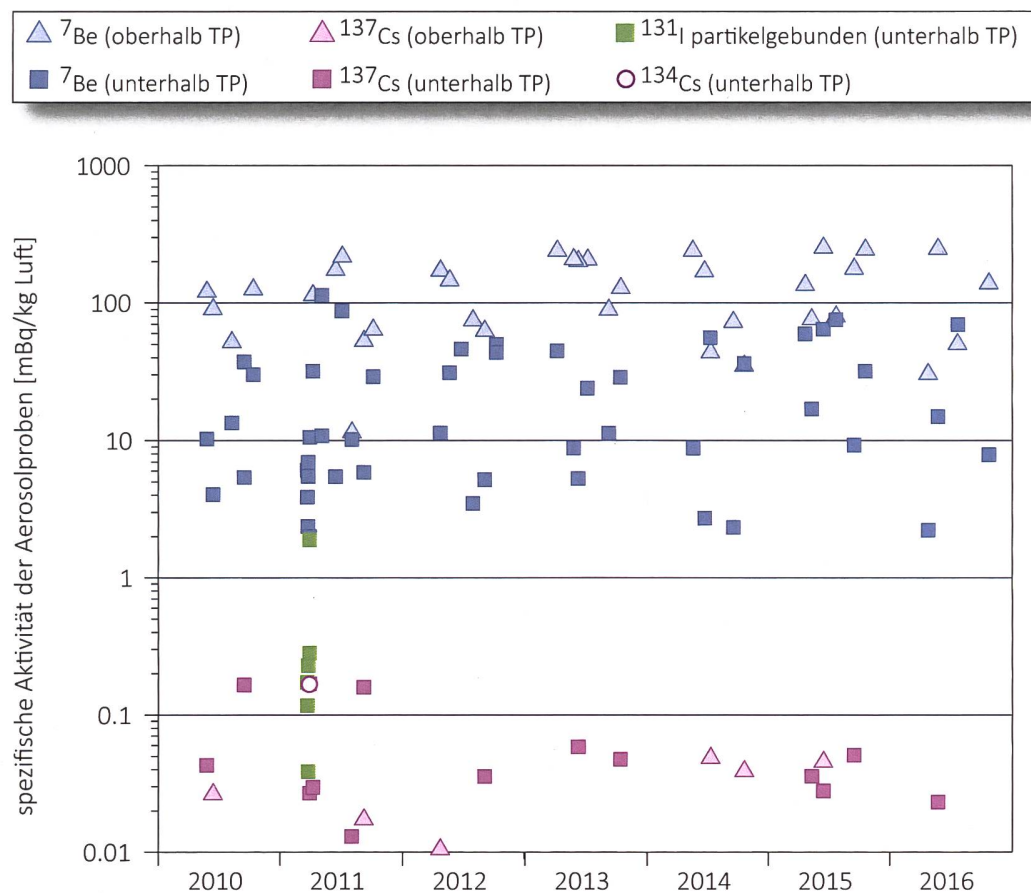
*Figur 2:
Höhenluftfilter-Aggregate montiert an den beiden Flügeln eines
Tiger sowie Detail-Aufnahme eines Sammelgerätes.*

Als Filtermaterial wird ein Zellulosefilter (Sorte 0048, Art. Nr. 348987) von Whatman mit den Dimensionen 555 x 526 mm verwendet. Für die Messungen wird der Filter halbiert und eine Hälfte mit einer hydraulischen Presse mit 25 Tonnen zu einer Tablette von 63 mm Durchmesser und ca. 10 mm Dicke gepresst. Die andere Hälfte dient als Rückstellprobe sowie gegebenenfalls für weitere Analysen. Der Vorteil dieses Überwachungsverfahrens ist der erhebliche Zeitgewinn im Falle eines Ereignisses mit einer Radioaktivitätsfreisetzung, indem der Nuklidvektor bereits bestimmt werden kann, bevor sich die Radioaktivität aus der Luft auf Boden und Pflanzen abgesetzt hat.

Messung der Proben

Die Messung erfolgt im Labor mittels hochauflösender Gammaskpektrometrie, wobei nach 1-2 Tagen Messzeit für ^{137}Cs eine Nachweisgrenze von 0.01 - 0.05 mBq/kg Luft erreicht wird. Anschliessend können an den Filtern weitere Untersuchungen, z.B. radiochemischer oder massenspektrometrischer Art, durchgeführt werden.

4.3 Überwachung der Radioaktivität der Luft mit Militärflugzeugen



Figur 3:
 ^7Be -, ^{134}Cs -, ^{137}Cs - und partikelgebundene ^{131}I - Messwerte in mBq/kg Luft in den Jahren 2010-2016.

Über die letzten sechs Jahre liegt die durchschnittliche Konzentration des kosmogenen Radionuklids ^7Be oberhalb der Tropopause bei 126 mBq/kg. Bei den Messungen 1 km unterhalb der Tropopause liegt der Durchschnittswert bei 11 mBq/kg. Als Vergleich seien hier die Werte von P. Winiger [1] bis [4] erwähnt, die für ^7Be im Mittel bei 100 mBq/kg bzw. 20 mBq/kg 1'000 m über bzw. unter der Tropopause liegen.

Der grösste Teil der ^{137}Cs -Werte lag im Jahr 2016 unter der Nachweisgrenze von 0.01 - 0.05 mBq/kg. In Figur 3 deutlich sichtbar sind die nach dem Reaktorunfall Fukushima (Japan) gemessenen ^{131}I -Konzentrationen, welche jedoch infolge der Halbwertszeit von 8 Tagen schon kurze Zeit später nicht mehr messbar waren. Auch das Radionuklid ^{134}Cs konnte in den Jahren nach 2011 im Berichtsjahr nicht mehr nachgewiesen werden.

Quellen:

- [1] P. Winiger, O. Huber und J. Halter: Halbleitermessungen von Fallout. Helv. Phys. Acta, Vol. 41/5, pp. 645-649 (1968).
- [2] P. Winiger, O. Huber und J. Halter: Rechenmethoden zur Analyse von Halbleiterspektren. Helv. Phys. Acta Vol. 42/7-8, pp. 901-902, (1969).
- [3] P. Winiger, O. Huber und J. Halter: Rechenmethoden zur Analyse hochaufgelöster g-Spektren und ihre Anwendung auf Spaltfragmentgemische. Helv. Phys. Acta, Vol. 43/6, pp. 693-712 (1970).
- [4] P. Winiger, O. Huber, J. Halter und B. Michaud: Konzentrationsmessungen von ^7Be , ^{137}Cs und jungen Spaltfragmenten an der Tropopause. Tellus Vol. 28/5, 434-441.

4.4

Radioaktivität in aquatischen Systemen

M.S. Brennwald

Eawag, Gruppe Umweltisotope, Abteilung W+T, 8600 Dübendorf

A. Lück

Eawag, Gruppe Sedimentologie, Abteilung SURF, 8600 Dübendorf

M. Zehringer

Kantonales Labor Basel-Stadt, 4012 Basel

Zusammenfassung

In den Wasser- und Partikelproben von Aare und Rhein wurden 2016 sporadisch ^{54}Mn , ^{58}Co und ^{60}Co aus Abgaben der Kernkraftwerke Mühleberg, Gösgen, Beznau oder Leibstadt nachgewiesen. Die beobachteten Messwerte liegen im Rahmen der in den letzten Jahren beobachteten Werte. Weiter wurde ^{137}Cs gefunden, welches zum grössten Teil vom Tschernobylunfall stammt. In Stichproben von Schwebstoffen im Rhein bei Weil (D) wurden im Weiteren die kurzlebigen Radionuklide ^{131}I , ^{177}Lu und ^{223}Ra gefunden, welche in der Nuklearmedizin eingesetzt werden. In Fischen waren keine künstlichen Radionuklide nachweisbar. In verschiedenen Wasserpflanzenproben wurde vereinzelt ^{54}Mn , ^{60}Co und ^{137}Cs gefunden. Analysen des Grundwassers bei Aarberg, Döttingen und Pratteln ergaben keine Hinweise auf eine Infiltration künstlicher Radionuklide aus der Aare bzw. dem Rhein.

Ziele

Die meisten künstlichen Radionuklide gelangen direkt über Einleitung von Abwässern oder indirekt über den Niederschlag in den Wasserkreislauf. Entsprechend wird die Radioaktivität in aquatischen Systemen kontinuierlich analysiert mit dem Ziel, die Radionuklid-Immissionen der entsprechenden Betriebe zu überwachen und die gesamte Radioaktivität, welche die Schweiz über den Wasserpfad verlässt, zu bilanzieren.

Methoden

Die kumulierten Radionuklidabgaben der Kernkraftwerke werden mittels Wasserproben an verschiedenen Standorten entlang von Aare und Rhein erfasst und überwacht (Figur 1). Die Station Hagneck liegt stromabwärts des Kernkraftwerks Mühleberg an der Mündung der Aare in den Bielersee. An der Station Klingnau weiter stromabwärts werden zusätzlich die Abgaben der Kernkraftwerke Gösgen und Beznau überwacht. An der Station Pratteln werden schliesslich auch die Abgaben des Kernkraftwerks Leibstadt berücksichtigt. Komplementär zu den Wasserproben aus Rhein und Aare werden bei Hagneck, Klingnau und Pratteln auch regelmässig

Schwebestoffproben gesammelt. Zusätzlich werden sporadisch auch Grundwasser-, Fisch- und Wasserpflanzenproben untersucht. Die Aktivitäten der Radionuklide in allen Proben werden an der Eawag mittels Gammaskpektrometrie bestimmt.

Die Wasserproben aus Aare und Rhein bei Hagneck, Klingnau und Pratteln werden als grossvolumige, monatliche Sammelproben entnommen. Entsprechend dem jeweiligen Abfluss werden pro Tag automatisch zwischen 20 und 40 Proben genommen, was monatliche Sammelproben zwischen 50 L und 200 L ergibt. Zur Bestimmung der monatlichen Fracht der Radionuklide in Aare und Rhein werden die Radionuklide in den Sammelproben durch eine Eisenhydroxidfällung aufkonzentriert. Danach wird das Fällungsprodukt getrocknet und darin die Aktivitäten der betreffenden Radionuklide bestimmt. Die Radionuklid-Fracht ergibt sich aus dem Produkt der gemessenen Aktivität und der während der Sammelperiode abgeflossenen Wassermenge.

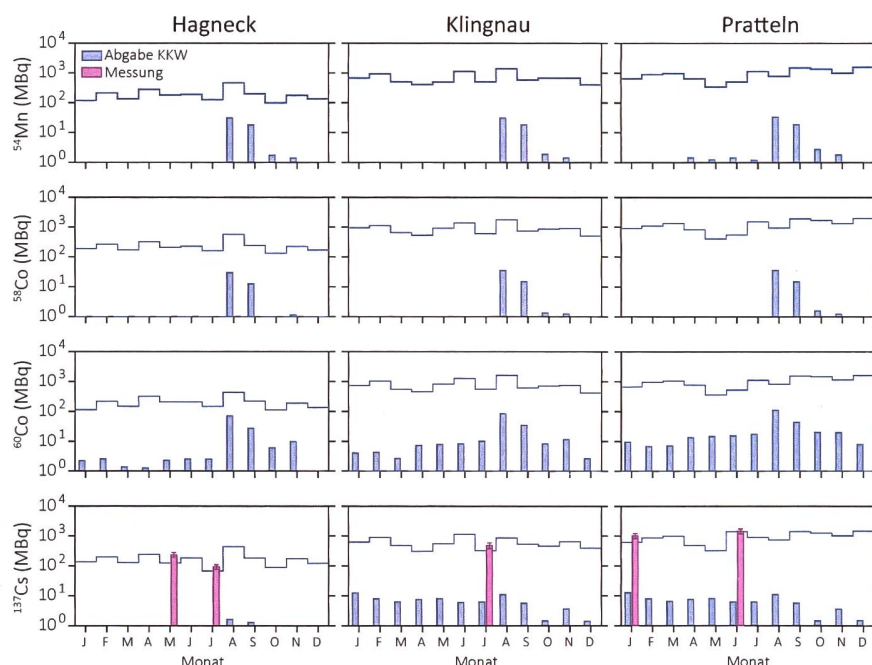


Figur 1:

Standorte der Stationen zur Überwachung der Radionuklidabgaben aus den Kernkraftwerken Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG), Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) und sonstigen industriellen oder medizinischen Betrieben.

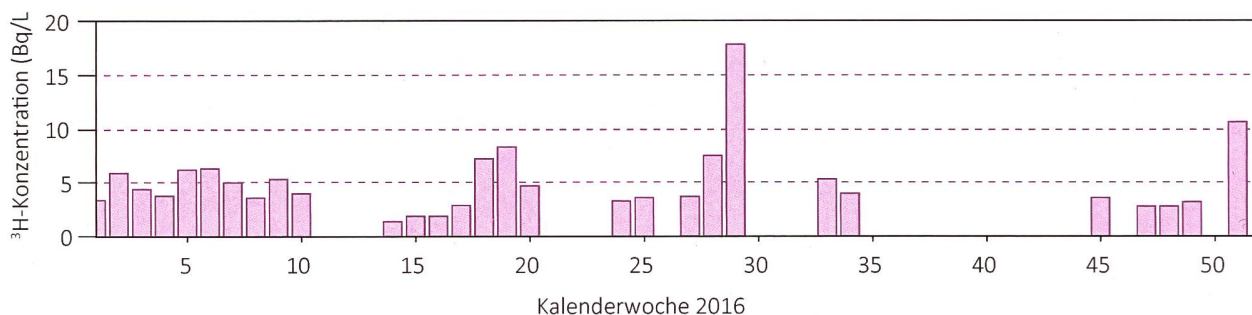
Die Schwebestoffproben werden mit Hilfe von Sedimentfallen als monatliche Sammelproben gesammelt. Die Fisch- und Wasserpflanzenproben (ohne Wurzeln) werden unmittelbar stromabwärts der Kernkraftwerke entnommen. Die Fische werden filetiert und die Wasserpflanzenproben werden gereinigt, um eine Partikelkontamination mit Radionukliden zu vermeiden. Die Sediment-, Fisch- und Wasserpflanzenproben werden vor der Analyse gefriergetrocknet. Die spezifische Aktivität dieser Proben wird in Bezug auf das Trockengewicht angegeben.

Bei der Rheinüberwachungsstation Weil (D) werden durch das Kantonale Labor Basel Stadt täglich Wasserproben entnommen, zu Wochenmischproben vereinigt und deren ^3H -Aktivität bestimmt (Bestimmungsgrenze 2 Bq/L). Zudem werden bei Weil monatlich Schwebstoff-Stichproben gewonnen. Dabei wird über Zeiträume von einigen Tagen Rheinwasser aus der Querprofilmischung entnommen und davon die Schwebstoffe abzentrifugiert. Die Schwebstoffe werden gefriergetrocknet, gemahlen und danach gamma-spektrometrisch analysiert. Aus den so bestimmten spezifischen Aktivitäten und dem monatlichen Abfluss bei Basel werden die monatlichen Radionuklidfrachten auf suspendierten Partikeln abgeschätzt. Dabei



Figur 2:

Vergleich der berechneten und gemessenen Frachten von ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co und ^{137}Cs an den drei Stationen bei Hagneck, Klingnau und Pratteln. Die berechneten Frachten entsprechen den kumulierten Abgaben der flussaufwärts gelegenen Kernkraftwerke. Die Messwerte lagen mit wenigen Ausnahmen immer unter der Bestimmungsgrenze (blaue Stufenlinie). Die Fehlerbalken zeigen den Standardmessfehler der Fracht.



Figur 3:
 ^3H -Aktivitätskonzentration im Rhein bei Weil am Rhein (D).

ist zu beachten, dass diese Hochrechnung auf der Annahme beruht, dass die über 1 - 4 Tage gesammelten Stichproben repräsentativ für den ganzen Monat sind, was aufgrund der diskontinuierlichen Abgaben der Kernkraftwerke nicht immer zutrifft.

Die Eawag beprobt sporadisch die Grundwasserströme bei Aarberg (Pumpwerk Römerstrasse II, in der Nähe der Überwachungsstation Hagneck), bei Döttlingen (Pumpwerk Unterwald, in der Nähe der Überwachungsstation Klingnau) und bei der Überwachungsstation Pratteln (Pumpwerk BW16 der Hardwasser AG). Dabei werden die Radionuklide aus 100L Grundwasser analog zu den Flusswasserproben vor der Analyse angereichert und analysiert.

Ergebnisse

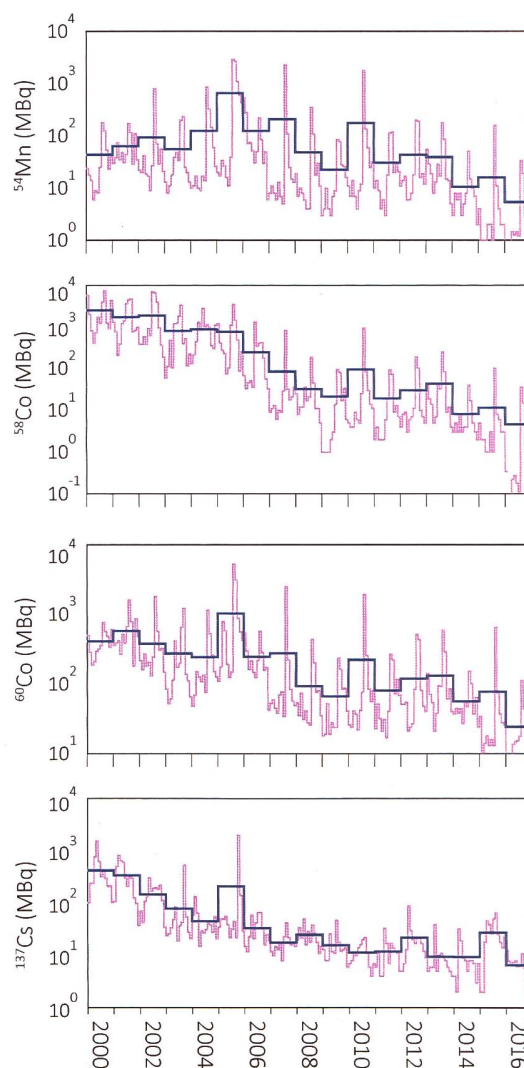
Wasserproben

Figur 2 zeigt die monatlichen Frachten der im Wasser gelösten Radionuklide ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co und ^{137}Cs bei den Stationen Hagneck, Klingnau und Pratteln.

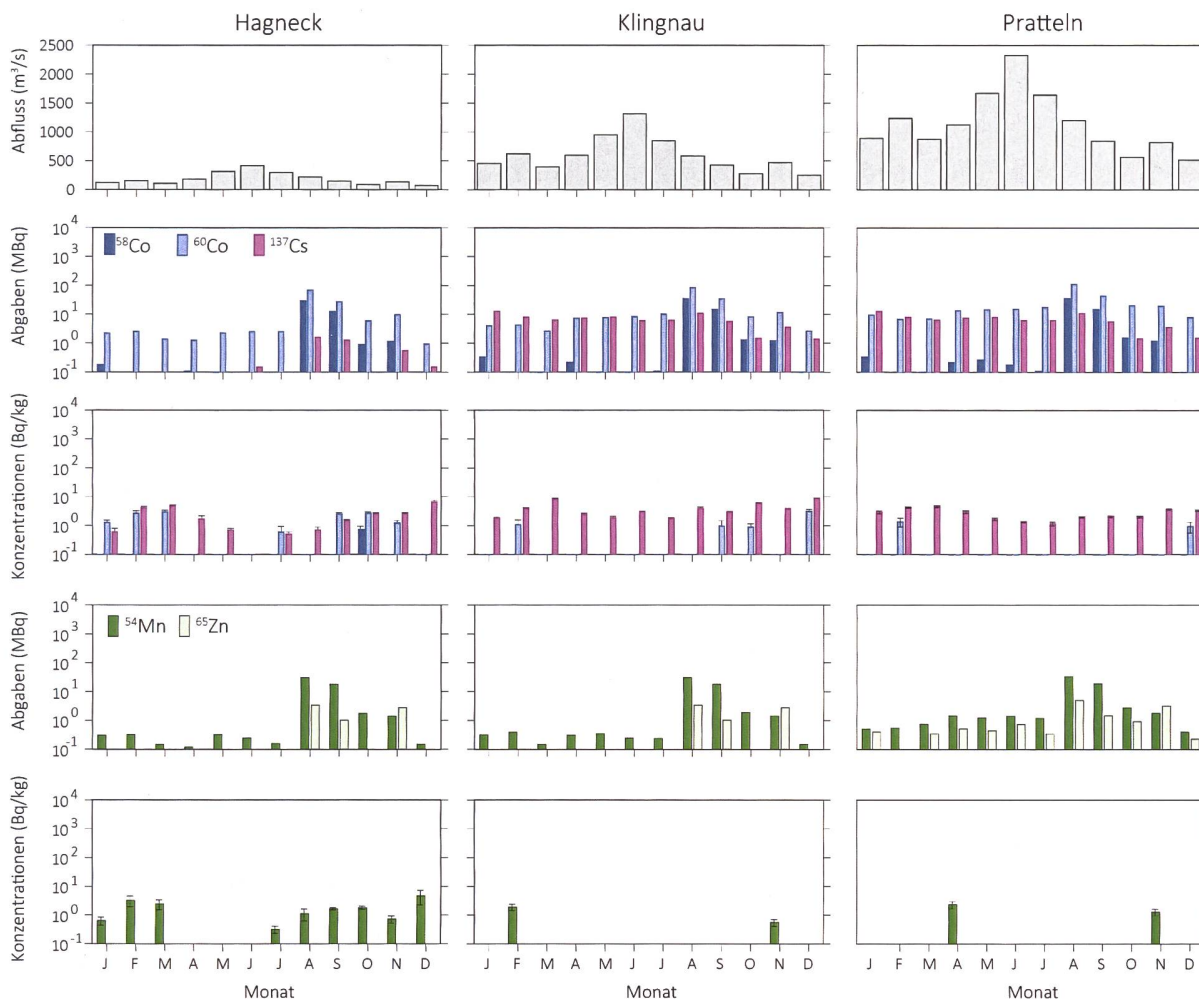
Die kumulierten Abgaben von ^{54}Mn , ^{58}Co und ^{60}Co der flussaufwärts gelegenen Kernkraftwerke sind bei allen drei Stationen nahezu identisch, weil diese Nuklide überwiegend aus dem Kernkraftwerk Mühleberg stammen. Die kumulative ^{137}Cs -Bilanz ist durch die Abgaben des Kernkraftwerks Beznau bestimmt, welche relativ gleichmässig über das Jahr verteilt waren.

Bei allen drei Stationen (Hagneck, Klingnau und Pratteln) wurde über das ganze Jahr kein ^{54}Mn , ^{58}Co oder ^{60}Co nachgewiesen. ^{137}Cs wurde bei allen drei Stationen nur sporadisch und in Konzentrationen nahe der Bestimmungsgrenze gefunden. Diese ^{137}Cs -Nachweise sind grösser als die Abgaben der Betriebe, was wie in bisherigen Jahren auf die Remobilisierung von ^{137}Cs vom Tschernobylunfall zurückgeführt wird.

Die ^3H -Aktivität der wöchentlichen Rheinwasserproben von Weil am Rhein (D) ist in Figur 3 dargestellt.



Figur 4:
 Zeitliche Entwicklung der Abgaben von ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co und ^{137}Cs aus den Kernkraftwerken während 2000 - 2016 (jährliche und monatliche Mittelwerte der Summen der Abgaben aller Kernkraftwerke; Angaben ENSI).



Figur 5:

Spezifische Aktivitäten von ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{65}Zn und ^{137}Cs in den monatlichen Partikelproben aus den Sedimentfallen bei Hagneck, Klingnau und Pratteln im Vergleich mit dem Abfluss und den kumulierten Abgaben der stromaufwärts gelegenen Kernkraftwerke. Die Messwerte wurden nur dann eingezeichnet, wenn die Bestimmungsgrenze der jeweiligen Messung erreicht wurde (typische Bestimmungsgrenzen für alle Nuklide in der Figur: 0.5 - 4 Bq/kg). Die Fehlerbalken zeigen den Standardmessfehler der spezifischen Aktivitäten.

Die ^3H -Konzentrationen betragen über das ganze Jahr generell ≤ 8 Bq/L. Dieser Wert wurde nur in den beiden Proben der Kalenderwoche 29 (18 Bq/L) und Kalenderwoche 51 (11 Bq/L) übertroffen.

Ausser den oben diskutierten Radionukliden wurden keine weiteren künstliche Radionuklide nachgewiesen, wohl aber natürliche wie ^7Be , ^{40}K und ^{210}Pb .

Langfristige Entwicklung der Radionuklidabgaben und Frachten in Aare und Rhein

Figur 4 zeigt den zeitlichen Verlauf der Abgaben von ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co und ^{137}Cs aller Kernkraftwerke während den Jahren 2000-2016. Als Folge der Revisionen der Kernkraftwerke sind die Abgaben in der Regel im Sommer/Herbst am grössten. Über die Jahre betrachtet haben die Abgaben von ^{58}Co , ^{60}Co und ^{137}Cs bis ca. 2008 tendenziell abgenommen. Danach ist keine systematische Veränderung erkennbar, wobei die Abgaben im Jahr 2016 allerdings bei allen vier Nukliden einen Tiefstand erreicht haben.

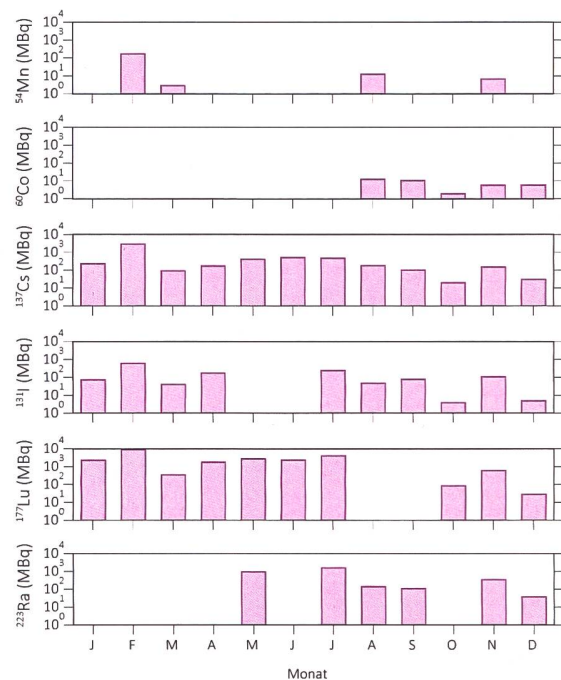
Im Einklang mit den generell geringeren Abgaben während der letzten Jahre lagen die Messwerte der im Wasser gelösten Radionuklide meist unterhalb der spezifischen Bestimmungsgrenzen. Deshalb ist wie bereits in den Vorjahren eine Quantifizierung der Jahresgesamtfracht anhand der monatlich überwachten Radionuklidfrachten nicht sinnvoll möglich.

Partikelproben

Die meisten der von den Kernkraftwerken abgegebenen Radionuklidspezies lagern sich an suspendierte Partikel im Wasser an. Der Partikeltransport trägt somit wesentlich zur Verfrachtung der Radionuklide bei. Insbesondere werden Radionuklide durch sedimentierende Partikel aus dem offenen Wasser entfernt. Umgekehrt können Radionuklide durch Resuspension des Sediments auch wieder zurück in die Wasserphase gelangen.

Die spezifischen ^{137}Cs -Aktivitäten der Partikelproben liegen bei allen drei Stationen bei 0.4 - 8.7 Bq/kg, und der zeitliche Verlauf zeigt keine generelle Korrelation mit den Abgaben aus den Kernkraftwerken (Figur 5). Die ^{137}Cs -Nachweise werden in Übereinstimmung mit dem im Wasser gelösten ^{137}Cs auf die Mobilisierung von ^{137}Cs vom Tschernobylunfall zurückgeführt. Ansonsten wurden ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co und ^{65}Zn bei den Stationen Hagneck, Klingnau und Pratteln nur vereinzelt nachgewiesen.

Figur 6 zeigt die aus den Stichproben bei Weil (D) abgeschätzten Frachten von ^{54}Mn , ^{60}Co und ^{137}Cs auf Schwebestoffen. ^{54}Mn und ^{60}Co wurden nur sporadisch nachgewiesen. In allen Stichproben wurde ^{137}Cs gefunden, was wiederum primär auf die Mobilisierung von ^{137}Cs aus dem Tschernobylunfall zurückgeführt werden kann. Zusätzlich zu den relativ langlebigen Radionukliden konnten in den Stichproben von Weil (D) auch die kurzlebigen Radionuklide ^{131}I (Halbwertszeit: 8 Tage), ^{177}Lu (Halbwertszeit: 6.7 Tage) und ^{223}Ra (Halbwertszeit: 11.4 Tage) nachgewiesen werden (ebenfalls Figur 6), welche in der Nuklearmedizin eingesetzt werden.



Figur 6:
Monatliche Frachten von ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{131}I , ^{177}Lu und ^{223}Ra auf Schwebestoffen bei Weil am Rhein (D). Die Frachten wurden aus den Messergebnissen der Stichproben abgeschätzt, welche über kurze Zeiträume (1 - 4 Tage pro Monat) gesammelt wurden.

Fische

Im Jahr 2016 wurden Fische aus der Aare bei Hagneck (gefangen am 23.2.2016), bei Schönenwerd (11.8.2016), dem Klingnauer Staubecken (7.10.2016) und dem Rhein bei Birsfelden (19.12.2016) analysiert. Bei allen Fischproben wurde natürliches ^{40}K gefunden (671- 757 Bq/kg). Künstliche Radionuklide wurden keine nachgewiesen

Wasserpflanzen

Es wurden Wasserpflanzen bei den verschiedenen Überwachungsstationen entnommen und analysiert:

- In der Probe von Wehr bei Hagneck (23.8.2016) wurden ^{54}Mn (18 Bq/kg), ^{60}Co (19 Bq/kg) und ^{137}Cs (10 Bq/kg) gefunden.
 - In der Probe vom Klingnauer Staubecken (23.8.2016) wurde ^{137}Cs (4 Bq/kg) gefunden.
 - In der Probe von Pratteln (23.8.2016) wurden keine künstlichen Radionuklide gefunden.
- Abgesehen von künstlichen Radionukliden wurde in allen Proben ^{40}K beobachtet (407 - 504 Bq/kg).

Grundwasser

In den Grundwasserproben von Aarberg (2.11.2016), Döttingen (23.8.2016) und Pratteln (2.11.2016) wurden keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen (Bestimmungsgrenze 0.3 - 2 mBq/L).

4.5

Automatisches Messnetz zur Überwachung des Flusswassers

P. Steinmann, M. Müller, S. Estier

Sektion Umweltradioaktivität, URA / BAG, 3003 Bern

Zusammenfassung

Die fünf automatischen Natrium-Iodid-Sonden des Messnetzes URAnet aqua messen fortlaufend die Konzentration von Gammastrahlern in Aare und Rhein und übermitteln alle 10 Minuten einen Messwert. Künstliche Radionuklide konnten im Berichtsjahr nicht nachgewiesen werden. Mit Ausnahme der Sonde Hagneck, welche nach einer Beschädigung erneut längere Zeit ausfiel, war die Verfügbarkeit der Messsonden sehr hoch.

Das Messnetz und seine Aufgaben

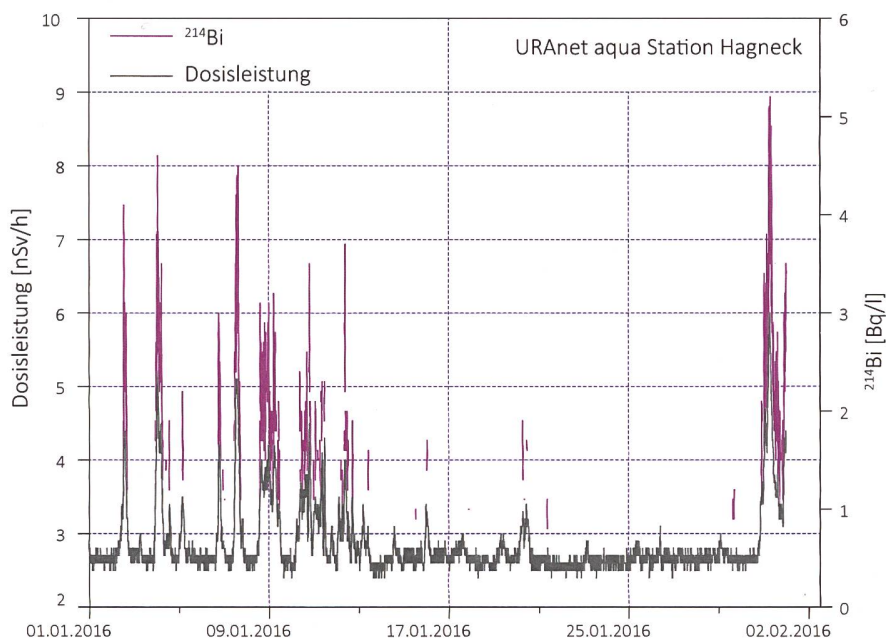
Das Messnetz «URAnet aqua» überwacht kontinuierlich und automatisch das Flusswasser von Aare und Rhein stromabwärts der Kernkraftwerke (Figur 1). Die fünf Messsonden sind wie folgt installiert: bei Niederried und Hagneck, zwischen dem KKW Mühleberg und dem Bielersee (Trinkwasserentnahme); bei Aarau, flussabwärts des KKW Gösgen; bei Laufenburg, unterhalb des KKW Leibstadt; und bei Basel zur Überwachung des vom Wasserwerk (iwb) im Rhein entnommenen Wassers.

Die Aufgabe der neuen automatischen Messsonden ist es, starke Erhöhungen von Radioaktivität im Flusswasser rasch zu erkennen. Die Nachweisgrenze von rund 1 Bq/l erlaubt es, eine untere Meldeschwelle im Bereich des Toleranzwertes aus der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung (FIV) zu setzen, welcher für ^{137}Cs 10 Bq/l beträgt. Eine zweite Schwelle mit Alarmauslösung ist entsprechend dem FIV-Grenzwert für Trinkwasser festgelegt; für ^{137}Cs beträgt dieser 1'000 Bq/l. Bei Überschreitung der unteren Meldeschwelle wird die zuständige Stelle am BAG benachrichtigt, welche die Messwerte verifiziert, die



Figur 1:

Standorte der NaI-Detektoren; EAWAG-Stationen mit kontinuierlicher Probenahme für Spurenmessungen (Hagneck, Klingnau und Pratteln); Rheinüberwachungsstation Rüs Weil a.Rh. (Messungen KL BS); Entnahmestellen von Trinkwasser im Bielersee und im Rhein (Pratteln und Basel).



Figur 2 :
Dosisleistung bei der Station Hagneck im Januar 2016. Erhöhte Werte treten auf, wenn bei Niederschlagsereignissen Radonfolgeprodukte in die Flüsse geschwemmt werden. Diese Radonfolgeprodukte werden von der Sonde erfasst, wie am Beispiel ^{214}Bi in der Figur dargestellt.

net ein Energiespektrum auf. Alle 10 Minuten werden Messwerte an die Messzentrale weitergeleitet. Am Ende einer vollen Stunde werden die sechs 10 Minuten Spektren addiert und neu ausgewertet, was eine tiefere Nachweisgrenze ermöglicht (1Bq/l für ^{137}Cs), siehe auch Lit. [1].

Messergebnisse 2016

Die Verfügbarkeit der Sonden, d.h. das Vorhandensein der 10-Minuten Spektren, ist in Tabelle 1 zusammengefasst. Bis auf die Station Hagneck waren diese Werte hoch: 97.9% oder besser. Die Sonde Hagneck ist erneut bei einem Hochwasser beschädigt worden, was wiederum zu einem längeren Ausfall führte, weil diese Sonde mitten in der Aare befestigt ist und Wartungsarbeiten entsprechend aufwändig sind. Da mit Niederried und Hagneck zwei Stationen unterhalb des KKW Mühleberg installiert sind, war die lückenlose Erfassung des Aarewassers vor Eintritt in den Bielersee trotzdem gewährleistet.

Die NaI-Detektoren des URAnet aqua Messnetzes konnten 2016 keine künstlichen Radioisotope im Flusswasser nachweisen. Bei den Messwerten fallen vor allem Spitzen in der Dosisleistung auf, wenn nach starken Niederschlägen viele Radonfolgeprodukte ins Flusswasser gelangen (siehe Fig. 2). Neben den kurzen «Radonspitzen» zeigt die Sonde Laufenburg anhaltendes Ansteigen der ODL bei Hochwasser. Das hat damit zu tun, dass die Sonde frei im Wasser hängt und bei erhöhter Strömung aufschwimmt; zudem werden durch das Öffnen der Schleusen die Strömungsverhältnisse geändert. Bei genauerer Betrachtung lässt sich bei der Ortsdosisleistung der Sonde Niederried eine geringe Erhöhung im August und September feststellen. Die Ursache ist die Stauabsenkung des Stausees Niederried in dieser Zeit. Auch hier führt eine geringere Abschirmung des Detektors durch die Wassersäule zu einem stärkeren Beitrag an kosmischer Strahlung. Online werden zurzeit die 24-Stunden Mittelwerte der gemessenen Radioisotope auf www.radenviro.ch publiziert.

Literatur

[1] Steinmann P. und Estier S., 2015. Radioaktivität in Flusswasser unterhalb KKW: Das neue Messnetz zur kontinuierlichen Überwachung von Aare und Rhein. Aqua & Gas, 10, 66-72.

Ursache einer allfälligen Kontamination eruiert und die Bevölkerung informiert. Falls erforderlich, wird auch die Internationale Hauptwarnzentrale Rhein informiert. Bei Überschreitung der zweiten Schwelle wird sofort eine Alarmmeldung an die Nationale Alarmzentrale gesandt, die nach Rücksprache mit dem BAG die nötigen Massnahmen anordnet.

Die automatischen Messsonden sind komplementär zu den monatlichen Messungen der EAWAG (siehe Figur 1), welche mit einer mehr als tausendmal tieferen Nachweisgrenze auch geringe Abgaben der Kernkraftwerke erfassen.

Messtechnik

Die eingesetzten Sonden enthalten 3“ NaI Detektoren, welche im Wasser eine «Sichtweite» von rund einem Meter haben. Die NaI-Kristalle registrieren die Gammastrahlung und die Sonde zeich-

Tabelle 1:
Verfügbarkeit (Uptime) der NaI Wassersonden im Jahr 2016

Station	Uptime	Inbetriebnahme
Niederried	99.9%	Juni 2014
Hagneck	70.3%	Juni 2015
Aarau	99.7%	Juni 2014
Laufenburg	97.9%	Januar 2015
Basel	99.9%	Juli 2013

4.6

Radioactivité du sol et de l'herbe

P.-A. Pittet, P. Froidevaux, F. Barraud, M. Pedro et F. Bochud

Institut de radiophysique, CHUV, Grand Pré 1, 1007 Lausanne

S. Estier, P. Steinmann, A. Gurtner

Section de surveillance de la radioactivité (URA), URA / BAG, 3003 Berne

M. Zerhinger

Laboratoire Cantonal de Bâle, Kannenfeldstr. 2 CH-4012 Basel

J.A. Corcho Alvarado, S. Wüttrich, S. Rölli, B. Balsiger

Labor Spiez, Bundesamt für Bevölkerungsschutz des VBS, 3700 Spiez

Résumé

Nous avons prélevé des échantillons de sol (0 - 5 cm) et d'herbe sur différents sites en Suisse, notamment aux abords des centrales nucléaires, et mesuré leurs niveaux d'activité. Dans certains cas, des mesures de spectrométrie gamma in-situ ont également été réalisées. Les résultats montrent que l'activité artificielle dans le sol et l'herbe est restée faible et est principalement due aux retombées des essais d'armes atomiques réalisées en atmosphère dans les années soixante ainsi qu'aux retombées de l'accident de Tchernobyl. Pour tous les échantillons de sol, les activités sont inférieures à 1 Bq/kg pour le plutonium et l'américium. L'activité en ^{90}Sr est proche de 1 Bq/kg sur le plateau suisse, mais elle est plus élevée dans les régions au relief plus marqué et lorsque l'altitude augmente. Le niveau d'activité en ^{137}Cs est plus variable et dépend de la contribution de l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl et peut atteindre 271 Bq/kg au Tessin et 46 Bq/kg à l'extrême nord-est de la Suisse, des régions qui ont été plus impactées par les retombées de l'accident, tandis que sur le plateau les valeurs mesurées sont inférieures à 20 Bq/kg. La diminution de ces activités continue de progresser, ce qui est illustré par la représentation des valeurs mesurées depuis le début des années 2000.

Les variations observées dans les sols se reflètent au niveau des herbes, avec des activités en ^{90}Sr supérieures dans les herbes de montagne (jusqu'à 12.7 Bq/kg), ainsi qu'au Tessin (valeurs supérieures ^{90}Sr : 11 Bq/kg; ^{137}Cs : 36 Bq/kg). On observe également que la période de coupe est responsable des différences observées dans les activités en ^{90}Sr pour un même site de prélèvement, avec une variation pouvant atteindre un facteur 10.

Introduction

Le ^{90}Sr et le ^{137}Cs ont été largement dispersés dans l'environnement suite aux essais nucléaires des années cinquante et soixante ainsi que lors de l'accident de Tchernobyl en 1986. Ces radioéléments sont les deux principaux produits de fission à durée de vie moyenne (environ 30 ans) et ont un comportement chimique proche de deux éléments impliqués dans les organismes vivants, le calcium (pour le strontium) et le potassium (pour le césium). Par exemple, le ^{90}Sr est facilement transféré du sol aux plantes, puis tout au long de la chaîne alimentaire et pourra finalement se trouver dans les tissus osseux et les dents (voir chapitre 6.2). Le ^{137}Cs va aussi passer du sol aux végétaux et rejoindre la chaîne alimentaire. Au contraire du ^{90}Sr il se retrouvera principalement dans les tissus musculaires des vertébrés et sera éliminé de l'organisme beaucoup plus rapidement que le strontium.

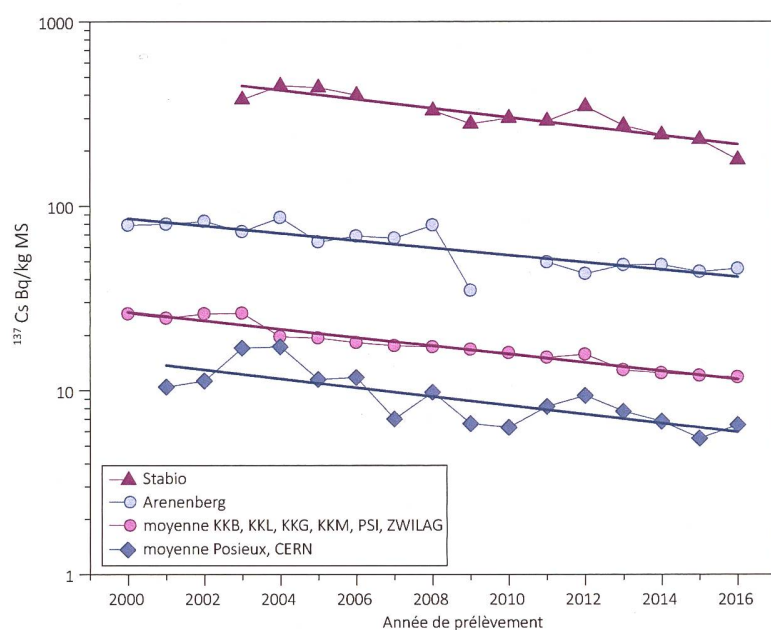


Figure 1 : Evolution de l'activité en ^{137}Cs (Bq/kg masse sèche) dans des sols de diverses régions prélevés pendant les années 2000 à 2016.

Résultats et discussion

Les résultats des mesures pour les sols sont présentés dans le Tableau 1. Les mesures de ^{137}Cs dans le sol montrent que ce radioélément est encore présent, particulièrement dans les zones impactées de manière significative par l'accident de Tchernobyl. Ainsi, la zone de la Suisse orientale (Arenenberg) présente encore une activité résiduelle de 46 Bq/kg de masse sèche, alors que les sols du reste du plateau suisse dépassent rarement les 10 Bq/kg. Au Tessin, le site de Stabio est particulièrement impacté par le ^{137}Cs de Tchernobyl et

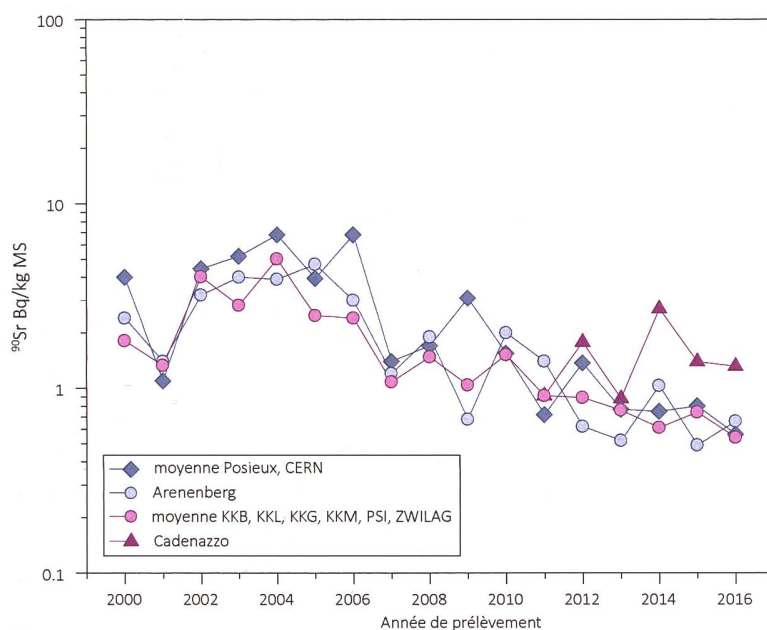


Figure 1 : Evolution de l'activité en ^{90}Sr (Bq/kg masse sèche) dans des sols de diverses régions prélevés pendant les années 2000 à 2016.

Le transfert d'un radioélément entre deux compartiments de l'environnement, par exemple du sol à l'herbe, peut être caractérisé par le facteur de transfert. Ce paramètre est cependant dépendant de plusieurs facteurs, tels que la nature des compartiments (type de sol et espèce de la plante), la concentration des autres éléments compétiteurs (Ca et K) ainsi que la progression de la croissance, cette dernière étant notablement affectée par les conditions météorologiques (température, pluviosité) [1,2,3]. Il est difficile de tirer des conclusions de données isolées d'activité, le suivi de son évolution dans le temps et sur plusieurs sites est plus simple à interpréter. Une augmentation du niveau de radioactivité peut être décelée dans un endroit déterminé par comparaison avec les résultats obtenus pour des sites de référence. Ces informations seront particulièrement utiles lors de la surveillance des opérations de démantèlement des installations nucléaires.

présente une activité de 178 Bq/kg. Pour tous ces sites, l'activité est en diminution ainsi que la Figure 1 l'illustre pour les années 2000 à 2016, avec une période apparente de 12 à 15 ans. Le niveau d'activité mesuré à proximité des installations nucléaires est très proche de celui déterminé en Suisse romande (CERN et Posieux) et plus faible que celui des sites du nord-est et du Tessin.

La Figure 2 illustre la diminution également observée pour le ^{90}Sr . Bien que les variations annuelles soient plus importantes que pour le ^{137}Cs aucune différence n'est constatée entre les prélèvements effectués à proximité des installations nucléaires et ceux opérés sur les autres sites du plateau, avec une activité inférieure à 1 Bq/kg. Les sols alpins, hors Tessin, montrent une activité résiduelle en ^{90}Sr et ^{137}Cs dont l'origine peut être tracée aux essais nucléaires (voir Mürren, Gimmelwald et Fahrni) et peuvent atteindre 32 Bq/kg pour le ^{137}Cs et 3.8 Bq/kg pour le ^{90}Sr . Une étude récente [4] a également mis en évidence la diminution d'activité de ces radioéléments sur ces sites de prélèvement, avec une période apparente de 19 à 26 ans pour le ^{137}Cs et 10 à 14 ans pour le ^{90}Sr . On remarque que

4.6 Radioactivité du sol et de l'herbe

Tableau 1:

Activités en ^{40}K , ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{90}Sr , Pu et Am dans des sols (0-5 cm) prélevés en Suisse en 2016 (Bq/kg matière sèche, fraction < 2 mm).

Canton / Lieu	n	^{40}K	^{60}Co	^{134}Cs	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$	^{241}Am
AG (Voisinage KKB)	2	408 - 445	<1.0	<0.9	16.0 - 16.1	1.0 ± 0.2	0.125 ± 0.013	0.059 ± 0.008
AG (KKB in-situ)	2	295 - 355			8.6 - 11.5			
AG (PSI)	1	397 ± 43	< 0.7	< 0.7	10.3 ± 1.2	0.6 ± 0.2	0.112 ± 0.014	0.042 ± 0.006
AG (PSI in-situ)	1	302 ± 32			5.4 ± 0.8			
AG (ZWILAG)	1	397 ± 43	< 0.9	< 0.7	10.9 ± 1.3	0.3 ± 0.1	0.125 ± 0.015	0.049 ± 0.007
AG (ZWILAG in-situ)	1	327 ± 34			7.5 ± 0.9			
AG (Vois. KKL)	4	332 - 438	< 1.2	< 1.1	9.7 - 13.1	0.6 ± 0.2	0.141 ± 0.015	0.069 ± 0.008
AG (KKL in-situ)	4	239 - 347			7.0 - 10.5			
AG/SO (Vois. KKG)	4	386 - 448	< 0.8	< 0.7	8.7 - 16.1	0.7 ± 0.2	0.168 ± 0.015	0.072 ± 0.009
AG/SO (KKG in-situ)	4	290 - 345			5.5 - 9.8			
BE (Voisinage KKM)	4	613 - 760	< 1.5	< 1.1	5.3 - 14.5	0.8 ± 0.2	0.183 ± 0.011	0.037 ± 0.006
BE (KKM in-situ)	4	499 - 620			3.3 - 11.1			
BE (Mürren) ¹⁾	1	540 ± 56	< 0.6	< 0.5	32.0 ± 4.5	3.8 ± 1.4		
BE (Gimmelwald) ²⁾	1	320 ± 33	< 0.5	< 0.4	13.9 ± 2.0	3.3 ± 1.0		
BE (Fahrni) ³⁾	1	460 ± 63	< 0.2	< 0.3	18.6 ± 5.2	2.5 ± 0.8		
BE (Diesse/Jura)	1	450 ± 46	< 0.5	< 0.5	12.4 ± 1.8	1.5 ± 0.9		
BL (Sissach)	1	567 ± 18	< 0.1	< 0.3	17.2 ± 0.5			
FR (Posieux)	1	383 ± 42	< 0.7	< 0.9	5.4 ± 0.8	0.4 ± 0.2	0.108 ± 0.013	0.048 ± 0.006
FR (Posieux, in-situ)	1	319 ± 33			3.2 ± 0.6			
GE (Vois. CERN)	4	430 - 469	< 1.2	< 0.8	4.0 - 11.0	0.7 ± 0.2	0.100 ± 0.009	0.041 ± 0.006
GE (CERN in-situ)	4	337 - 394			2.9 - 7.1			
GE (CERN BAT588*)	1	428 ± 45	<0.6	<0.6	8.7 ± 1.0			
GE (CERN BAT588* In-situ)	1	352 ± 37			5.4 ± 0.8			
TG (Göttingen)	1	356 ± 39	< 0.7	< 0.7	21.4 ± 2.3	0.5 ± 0.2	0.093 ± 0.009	0.039 ± 0.004
TG (Göttingen in-situ)	1	259 ± 27			9.9 ± 1.2			
TG (Arenenberg)	1	450 ± 12	<0.4	<0.5	45.7 ± 0.7	0.7 ± 0.2	0.132 ± 0.011	0.063 ± 0.008
TI (Centovalli)	1	503 ± 24	<0.5	<0.6	271 ± 19	5.8 ± 1.2		
TI (Leventina)	1	573 ± 19	<0.1	<0.1	27 ± 0.9	2.1 ± 0.4		
TI (Malcantone)	1	609 ± 22	<1.0	<0.2	63 ± 2.2	4.2 ± 0.8		
TI (Stabio)	1	634 ± 71	< 1.5	< 1.2	178 ± 18	1.3 ± 0.3	0.408 ± 0.025	0.180 ± 0.012
TI (Stabio- In situ)	1	525 ± 54			133 ± 13.5			
TI (Cadenazzo)	1	698 ± 74	< 1.0	< 0.9	82.4 ± 8.4	1.3 ± 0.2	0.085 ± 0.008	0.031 ± 0.004 0.032 ± 0.005
TI (Cadenazzo- In-situ)	1	546 ± 56			53.5 ± 5.5			
Ti (Caslano)	1	575 ± 61	< 0.8	< 0.7	109 ± 11	1.2 ± 0.2	0.071 ± 0.008	0.034 ± 0.005
Ti (Caslano- in-situ)	1	551 ± 57			53.8 ± 5.5			

n = nombre d'échantillons; ¹⁾ Alpage (Alp Allmendhubel); ²⁾ Vallée; ³⁾ en plaine.

*) le point de mesure CERN Rue Booster devenu inaccessible (construction) a été déplacé au point BAT588

la période effective du ^{137}Cs dépend du site de prélèvement. Cette observation a été également décrite pour des sols agricoles en France [5], avec des périodes effectives allant de 3.9 à 27.2 ans et une valeur moyenne de 10.5 ans.

Les activités en Pu et Am sont faibles et du même ordre de grandeur pour tous les sites ($^{239+240}\text{Pu}$ < 0.2 Bq/kg, ^{241}Am < 0.08 Bq/kg), à l'exception de Stabio ($^{239+240}\text{Pu}$: 0.41 Bq/kg, ^{241}Am : 0.18 Bq/kg). Pour tous ces points de mesure, le rapport isotopique $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ est proche de 0.4, valeur attribuée aux retombées des essais nucléaires des années soixante.

Les mesures de radioactivité dans l'herbe sont rapportées dans le Tableau 2. On constate que la radioactivité de l'herbe est dominée par le ^{40}K , présent naturellement, suivi du ^7Be , qui est formé par l'action du rayonnement solaire sur les couches supérieures de l'atmosphère. Les activités en ^{137}Cs sont présentées dans un intervalle de valeurs minimales et maximales alors que les activités en ^{90}Sr sont présentées de manière individuelle pour la coupe du printemps et celle d'automne. Toutes les activités mesurées pour le ^{137}Cs sont faibles et ne dépassent pas 3 Bq/kg, sauf pour le site de Centovalli, pour lequel le sol montre également l'activité en ^{137}Cs la plus élevée.

L'activité en ^{90}Sr varie fortement selon la période de coupe pour un même site de prélèvement. Sur le plateau, la variabilité la plus importante est observée à Posieux (0.3 à 2.6 Bq/kg MS). Les valeurs observées pour les autres sites de plaine, y compris à proximité des centrales, sont comprises dans cette gamme. Ces différences observées dans l'activité en ^{90}Sr de l'herbe lors des coupes de printemps et d'automne a déjà été remarquée et son origine attribuée au métabolisme des végétaux qui influence de manière importante l'incorporation de certains éléments (Ca, K) et radioéléments (^{137}Cs et ^{90}Sr) en fonction des périodes de croissance végétale [3]. Pour le ^{90}Sr , l'activité moyenne annuelle sur le plateau est de 1 Bq/kg, tandis que l'activité mesurée au Tessin est notablement plus élevée, de 1 à 11 Bq/kg avec une activité moyenne annuelle de 4.7 Bq/kg. Cette tendance est en rapport avec les activités mesurées pour ce radionucléide sur les sols correspondants.

Tableau 2 :

Activité du ^7Be , ^{40}K , ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{137}Cs et ^{90}Sr dans des échantillons d'herbe prélevés en Suisse en 2016 lors de deux saisons de coupe (Bq/kg de matière sèche). Pour les échantillons uniques, la valeur et l'incertitude sont indiquées ($a \pm b$). Si plusieurs échantillons ont été mesurés, la gamme des valeurs est donnée ($a - b$).

Canton/Lieu	n	^7Be	^{40}K	^{60}Co	^{134}Cs	^{137}Cs	^{90}Sr
AG (Voisinage KKB)	4	191 - 344	471 - 883	< 2.8	< 2.0	0.9 - 1.0	0.4 \pm 0.1 ⁴⁾ 1.3 \pm 0.1 ⁵⁾
AG (PSI-ZWILAG)	2	244 - 345	628 - 701	< 1.4	< 1.1	0.7 - 0.8	0.6 \pm 0.1 ⁴⁾ 0.9 \pm 0.1 ⁵⁾
AG (PSI-OASE)	2	280 - 303	472 - 627	< 1.3	< 1.2	<1.2 - 1.8	0.4 \pm 0.1 ⁴⁾ 2.1 \pm 0.2 ⁵⁾
AG (Voisinage KKL)	8	80 - 326	394 - 1'226	< 1.9	< 1.8	<1.0 - 2.3	1.2 \pm 0.1 ⁴⁾ 0.8 \pm 0.1 ⁵⁾
AG/SO (Voisinage KKG)	8	150 - 288	401 - 974	< 2.3	< 1.7	0.5 - 1.8	1.1 \pm 0.1 ⁴⁾ 1.4 \pm 0.2 ⁵⁾
BE (Voisinage KKM)	8	96 - 263	558 - 1'082	< 1.7	< 1.3	0.5 - 2.3	0.5 \pm 0.1 ⁴⁾ 1.1 \pm 0.2 ⁵⁾
BE (Mürren) ¹⁾	1	158 \pm 25	610 \pm 54	< 0.4	< 0.3	0.5 \pm 0.1	12.7 \pm 2.2
BE (Gimmelwald) ²⁾	1	188 \pm 29	1'100 \pm 97	< 0.4	< 0.3	0.3 \pm 0.1	2.2 \pm 0.7
BE (Fahrni) ³⁾	1	210 \pm 37	1'420 \pm 100	< 1.2	< 0.7	<0.9	1.6 \pm 0.5 ⁴⁾ 3.7 \pm 1.0 ⁵⁾
BE (Diesse/Jura)	1	289 \pm 44	1'260 \pm 100	< 0.5	< 0.3	<0.4	0.4 \pm 0.1 ⁴⁾ 0.8 \pm 0.2 ⁵⁾
BL (Sissach)	1	259 \pm 12	620 \pm 30	< 0.1	< 0.2	1.57 \pm 0.16	2.5 \pm 0.5
GE (Voisinage CERN)	5	120 - 218	444 - 763	< 2.0	< 1.7	<1.9	1.2 \pm 0.1 ⁵⁾
FR (Posieux)	2	201 - 403	768 - 997	< 2.4	< 2.1	<2.1	0.3 \pm 0.1 ⁴⁾ 2.6 \pm 0.2 ⁵⁾
TG (Güttingen)	2	219 - 222	884 - 941	< 1.4	< 1.2	<1.0	0.3 \pm 0.1 ⁴⁾ 1.1 \pm 0.1 ⁵⁾
TG (Arenenberg)	1	123 \pm 6.6	729 \pm 24	< 0.9	<0.8	<1.6	0.6 \pm 0.1 ⁴⁾
TI (Centovalli)	1	430 \pm 34	444 \pm 26	< 0.4	< 0.3	36 \pm 3.0	11.2 \pm 2.2
TI (Leventina)	1	243 \pm 18	845 \pm 41	< 0.2	< 0.1	1.3 \pm 0.2	3.3 \pm 0.7
TI (Malcantone)	1	236 \pm 9	683 \pm 24	< 0.2	< 0.2	0.45 \pm 0.13	1.1 \pm 0.2
TI (Cadenazzo)	2	154 - 594	842 - 942	< 1.5	< 1.2	1.2 - 1.4	5.6 \pm 0.5 ⁴⁾ 7.7 \pm 0.6 ⁵⁾
TI (Caslano)	1						4.4 \pm 0.4 ⁵⁾
TI (Stabio)	1						1.8 \pm 0.2 ⁵⁾

n = nombre; ¹⁾ Alpage (Alp Allmendhubel); ²⁾ Vallée; ³⁾ en plaine; ⁴⁾ coupe de printemps; ⁵⁾ coupe d'automne.

Conclusions

Les mesures de ^{90}Sr et de ^{137}Cs dans les sols et les herbes en Suisse en 2016 présentent des activités similaires aux années précédentes. Aucune augmentation d'activité n'a été constatée, ni aux abords des centrales nucléaires, ni dans les sites de référence. Les sites de montagne et certains sites du Tessin présentent des activités en ^{90}Sr et en ^{137}Cs supérieures à celles mesurées sur les sites de plaine, centrales nucléaires incluses. L'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl est par contre encore responsable d'un marquage assez important en ^{137}Cs dans des échantillons de sol et d'herbe de certains sites de prélèvement du Tessin et de Suisse orientale.

Les variations observées en activité ^{90}Sr dans l'herbe lors des coupes de printemps et d'automne peuvent atteindre un ordre de grandeur, ce qui montre qu'il ne faut pas nécessairement interpréter une augmentation d'activité comme une élévation parallèle de la radioactivité dans l'environnement.

Références

- [1] Ehlken, S., Kirchner, G. Environmental processes affecting plant root uptake of radioactive trace elements and variability of transfer factor data: a review. *J Environ Radioact.* 2002, 58, 97-112.
- [2] Guillaume, T. et al., Disparity in ^{90}Sr and ^{137}Cs uptake in Alpine plants: phylogenetic effect and Ca and K availability. *Plant Soil* 2012, 355, 29-39.
- [3] Froidevaux, P. et al., chap. 4.6 de « Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnement en Suisse », 2005, OFSP.
- [4] Corcho-Alvarado, J. A. et al., Long-term behavior of ^{90}Sr and ^{137}Cs in the environment: Case studies in Switzerland. *J. Environ. Radioact.* 2016, 160, 54-63.
- [5] Roussel-Debel, S. et al., ^{137}Cs in French soils: Deposition patterns and 15-year evolution. *Sci. Total Environ.* 2007, 388-398.



Interview mit Prof. Dr. Hansruedi Völke, Physics Departement University of Fribourg

BAG: In welchem Gremium arbeiten Sie ?

Im Frühling 1973, wurde ich, nach dem Studienabschluss in Physik an der Universität Fribourg, von Professor Otto Huber als wissenschaftlicher Mitarbeiter die KUER angestellt. Nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl wurde das damalige Labor der KUER an der Universität Fribourg in eine Sektion beim Bundesamt für Gesundheit umgewandelt, blieb aber noch bis 2007 am alten Standort. Ich war dann bis 2007 dessen Leiter als Sektionschef. Auf Ende 2009 wurde ich beim BAG pensioniert. Noch bis im Sommer 2016 unterrichtete ich als Titularprofessor an der Universität Fribourg in den Fächern Strahlenschutz sowie Kern-, Astro- und Teilchenphysik. Zudem leitete ich während derselben Zeit des Bachelor-Studienprogrammes in Umweltwissenschaften.

BAG: Welches sind Ihre Fachgebiete ?

Von meiner Ausbildung bin ich Kernphysiker und spezialisiert in Strahlenschutz und Strahlen-Messtechnik. Ich habe 1980 in diesen Fachgebieten doktoriert, wurde 1996 für den Fachbereich Health Physics an der Universität Fribourg habilitiert und 2001 zum Titularprofessor ernannt.

BAG: Zu welchem/welchen Kapitel/n des Jahresberichts tragen oder trugen Sie bei ?

Seit 1973 war ich am Erarbeiten der Jahresberichte der KUER, sowie später jener des BAG als Autor oder Mitautor beteiligt, vor allem an den Kapiteln über die in Fribourg durchgeführten Messungen. Von 1987 bis 2007 war ich verantwortlicher Redaktor und Koordinator dieser Berichte.

BAG: An wie vielen Jahresberichten zur Umweltradioaktivität waren Sie beteiligt ?

Bei den KUER-Berichten war ich ab Nr. 18 (für das Jahr 1974) bis zum letzten KUER-Bericht Nr. 30 (1987-88) beteiligt, sowie am Sonderbericht 25 Jahre Radioaktivitätsüberwachung in der Schweiz von 1982, und dann an den BAG-Berichten zur Umweltradioaktivität ab 1989/90 bis und mit 2006. Insgesamt sind das 31 Berichte. Des weiteren war ich Autor oder Koautor von 130 Publikationen in meinem Fachgebiet. Ich wurde auch häufig zu Vorträgen über diese Themen eingeladen.

BAG: Sie sind somit seit dem Jahr 1974 in diesem Bereich tätig ?

Seit meiner Habilitation war ich an der Universität Fribourg bis im Sommer 2016 im Unterricht in den Bereichen Radioaktivität / Strahlenschutz, Kern-, Teilchen- und Astrophysik sowie Umweltwissenschaften tätig. Von 1987 bis 2006 war ich Mitglied der Deutsch-Schweizerischen Kommission für die Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen (DKS) und Schweizer Sprecher von deren Arbeitsgruppe Strahlenschutz. Seit 2007 bin ich im Redaktion-Komitee der Fachzeitschrift «StrahlenschutzPRAXIS» des Fachverbands für Strahlenschutz. Ich nehme auch noch regelmässig an Fachtagungen teil und schreibe weiterhin wissenschaftliche Artikel.

BAG: Welche Entwicklungen haben Sie seit Ihren Anfängen in folgenden Bereichen beobachtet ?

a) Überwachung der Radioaktivität

Die 50er- bis 70er-Jahren war die Zeit der Pioniere. Damals wusste man weniger über die Radioaktivität, ihr Verhalten in der Umwelt und die Wirkung der Strahlung auf den Menschen. Radiologische Modelle und Dosis-Modelle gab es noch nicht. Die Überwachungsverfahren mussten von Null auf entwickelt werden und viele der Probenahme- und Messgeräte wurden in unseren Mechanik- und Elektronik-Werkstätten selbst gebaut. Lange wurde unsere Arbeit von der Überwachung des Kernwaffen-Fallout dominiert und wir haben enorm viel gelernt dabei. Später kann dann die Überwachung der Kernanlagen hinzu, sowohl die vier Schweizer Kernkraftwerke als auch Forschungsanlagen wie das

CERN und das EIR, das spätere PSI. Auch hier waren wir Pioniere beim Erarbeiten der Messprogramme und Messverfahren. Mit der Zeit interessierten uns auch immer mehr die natürliche Radioaktivität, die kosmische Strahlung, die Radionuklide im Erdboden, das Radon sowie die Radionuklide im Trinkwasser und in Konsumgütern. Gegenstand der Überwachung war auch die Verwendung radioaktiver Stoffe in Industrie und Gewerbe sowie bei Diagnose und Therapie in den Spitälern. Zu erwähnen ist auch die Mitarbeit am nationalen Radonprogramm der Schweiz, bei der Umgebungsüberwachung und Sanierung von Betrieben der Leuchtfarbenindustrie (einerseits bei der Verwendung von Radium und Tritium die den Fabriken und Setzateliers im Jura und andererseits bei zwei Betrieben für die Leuchtfarbenherstellung in Teufen/AR sowie in Niederwangen/Bümpliz bei Bern). Die Verwendung von radioaktivem Jod in den Spitälern wurde über die Messung im Abwasser von städtischen Kläranlagen erfasst. Diese landesweite Überwachung, die auch im internationalen Vergleich ausgezeichnet war und ist, war nur möglich dank der exzellenten Zusammenarbeit zwischen allen Bundesstellen, kantonalen Laboratorien, Universitäten und Forschungseinrichtungen. Wir haben sehr von ihrem fachlichen Know-how und ihrer unbürokratischen Bereitschaft zur Mitarbeit profitiert.

b) Radioaktivitätsgehalt in der Umwelt

Im gleichen Ausmass wie die Empfindlichkeit der Messverfahren zugenommen hat, nahm die künstliche Radioaktivität in der Umwelt ab. Dies betrifft sowohl den Eintrag durch die Kernwaffenversuche als auch die Emissionen aus Kernanlagen und Betrieben. In der Umgebung der Kernkraftwerke ist heute, ausser dem 14C, auch mit sehr empfindlichen Messverfahren meist keine Immission durch die Werke messbar. Die Strahlendosen der in der Nahumgebung lebenden Bevölkerung durch die Emissionen dieser Anlagen müssen somit auf der Basis der Emissionen berechnet werden. Die Dosen sind – auch unter sehr konservativen Annahmen – sehr klein und betragen nur etwa einen Tausendstel der natürlichen Strahlenexposition. Die natürliche Strahlung, sei es die kosmische oder die terrestrische Strahlung sowie die natürlichen Radionuklide im menschlichen Körper bleibt somit der weitaus grösste Beitrag zur Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung.

c) Messtechnologien?

Da haben wir die ganze Palette der Entwicklung miterlebt: Angefangen hat dies bei den einfachen Zählrohren für die Gesamt-Beta-Messung und dem Nachweis von Strahlung mittels Autoradiographie auf Röntgenfilmen. Dann kam die Gamma-Spektrometrie (zuerst mit NaI-Kristallen und dann mit Ge(Li)- und Ge(HP)-Detektoren mit der Computerauswertung der Spektren), dann die Alpha-Spektrometrie mit Gitterionisationskammer und Si-Detektoren, die Messung von Radon, von Tritium mit Flüssig-Szintillation, die Dosismessungen mit Hochdruckionisationskammern und schliesslich die in-situ-Spektrometrie und die Aeroradiometrie. Bereits 1976 konnten wir bei einer der ersten in-situ-Messung beim KKW Mühleberg die radioaktiven Edelgase von Krypton und Xenon in der Abluffahne detektieren. Die Schweiz war eines der ersten Länder, das ein Filtergerät entwickelt hatte für die Sammlung von Luftstaubproben aus der oberen Troposphäre und unteren Stratosphäre mittel Flugzeugen der Schweizer Luftwaffe. Später kamen dann die mathematischen Modelle für die Radioökologie, für die atmosphärische Ausbreitung von Radioaktivität sowie die Datenbanken zur Erfassung und Verarbeitung der Messergebnisse und schliesslich auch die Akkreditierung der Messlaboratorien, die heute bei amtlichen Laboratorien Standard sind.

BAG: Zu welchem Jahresbericht zur Umweltradioaktivität haben Sie am liebsten beigetragen?

Die spannendste Zeit waren nebst der Zeit des Kernwaffenfallout die Monate unmittelbar nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl. Es ging darum ein Messlabor mit einem sehr hohen Probendurchlauf zu leiten, bei der Koordination der Probenahmen, Messungen, Auswertungen und Berichterstattung mitzuwirken und gleichzeitig noch dauernd Telefonanrufe von Journalisten und besorgten Bürgern zu beantworten und das während mehrerer Wochen, anfangs fast rund um die Uhr. Diese Zeit war auch deshalb spannend, weil wir viel gelernt haben über das Verhalten von Radionukliden in der Umwelt, den Übergang in Pflanzen und Nahrung, und letztlich wie diese zur Strahlenexposition der Bevölkerung beitragen. Die Schweiz war weltweit das erste Land, dass eine wissenschaftliche Tagung zu den Auswirkungen der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl durchgeführt hat, nämlich bereits von 20.-22. Oktober 1986 am Inselspital in Bern. Die Beiträge aller an den Messungen beteiligter Laboratorien (diese haben zusammen im ersten Jahr nach Tschernobyl rund 20'000 Proben auf Radioaktivität untersucht) füllen zwei Tagungsbände mit über 800 Seiten. Sie dokumentieren die Auswirkungen dieser Katastrophe auf unser Land und wie diese gemeistert wurde.

