

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:	- (2018)
Rubrik:	Umwelt = Environnement

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

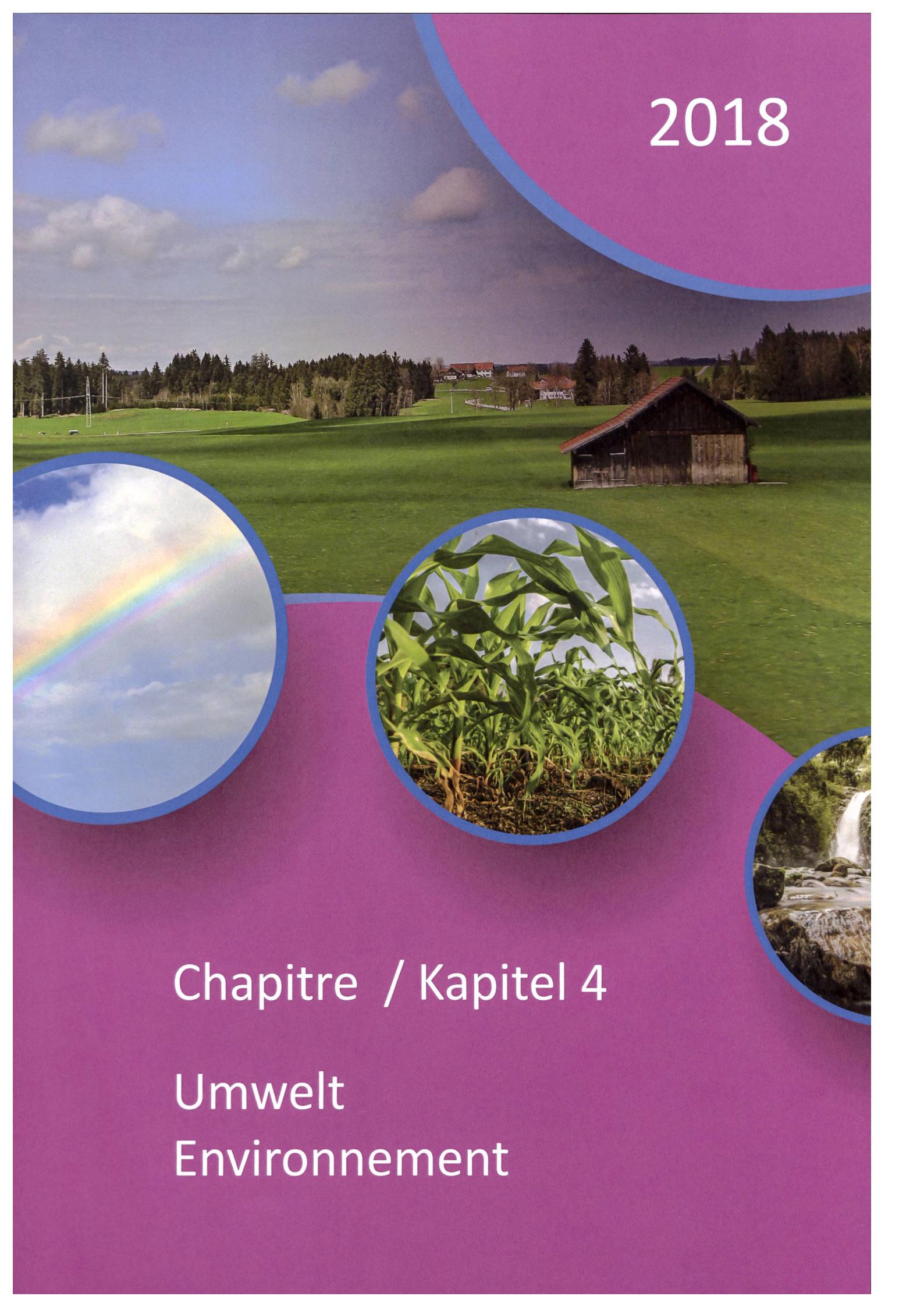
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées 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: 11.01.2026

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



2018

Chapitre / Kapitel 4

Umwelt Environnement

4.1

Radioaktivität in der Luft (Aerosol) und im Niederschlag

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

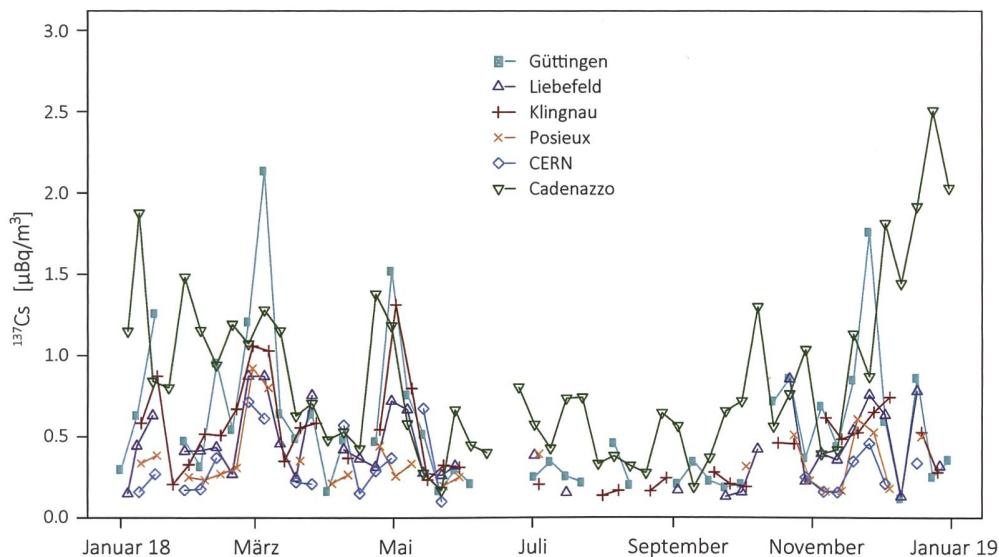
Zusammenfassung

Die Radioaktivität in der Luft und im Niederschlag zeigte 2018 keine erhöhten Werte, welche die Gesundheit der Bevölkerung gefährdet hätten. In der Atmosphäre überwiegt die natürliche Radioaktivität deutlich. Dank der grossen Empfindlichkeit der verwendeten Messmethoden konnten trotzdem kleinste Spuren von künstlichen Radionukliden auf den Aerosolpartikeln nachgewiesen werden. Im Niederschlag wurden 2018 mit Ausnahme von Tritium und sporadischen Spuren von ^{137}Cs keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen. In der unmittelbaren Umgebung von Tritium-verarbeitenden Industriebetrieben erreichte der höchste Tritiumwert im Regenwasser knapp 8% 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 werden fortlaufend grosse Volumen von Luft gefiltert; je nach Station sind es 80'000 m³ bis 150'000 m³ pro Woche. Die Filter werden im Routinebetrieb wöchentlich gewechselt und zur Analyse ans BAG gesandt. Die Messung auf einem HPGe-Gammaspektrometer dauert 2 Tage. Die lange Messzeit ist nötig, weil die Konzentration der radioaktiven Stoffe sehr tief ist. Die Messresultate werden auf www.radenviro.ch und www.bag.admin.ch/hvs zeitnah veröffentlicht. Ziel der HVS Messungen ist nicht die schnelle Alarmierung (dafür gibt es URAnet, MADUK und NADAM) sondern der Nachweis von kleinsten Spuren, die von den anderen Messsystemen nicht detektiert werden können. Die Erfahrung im Jahr 2011 nach dem Reaktorunfall in Fukushima oder im Herbst 2017 beim Ereignis mit ^{106}Ru , hat gezeigt, dass für eine glaubwürdige Information der Bevölkerung und als Grundlage für die Behörden Spurenmessungen 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 betrieben und gemessen wird. Ein weiterer MV-Sammler steht für die Überwachung der freien Atmosphäre in der Hochalpinen Forschungsstation Jungfraujoch. Die Filter der MV-Sammler werden wöchentlich gewechselt und als Monatsprobe (4 - 5 Filter) gammaspektrometrisch gemessen.



Figur 1 :
 ^{137}Cs Konzentrationen bei allen HVS Stationen für das Jahr 2018.

Künstliche Radioisotope in der Luft

Das einzige regelmässig nachgewiesene künstliche Radioisotop in der Luft war wie in den Vorjahren Cäsium-137 (^{137}Cs). ^{137}Cs hat eine Halbwertszeit von 30 Jahren und röhrt zur Hauptsache immer noch vom Reaktorunfall in Tschernobyl her. Die gemessenen Konzentrationen sind insgesamt sehr gering. Etwas höhere Werte (Maximum 2.5 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$) wurden 2018 bis im Mai und wieder ab Oktober gemessen (siehe Figur 1). Auch die höchsten Werte sind rund eine Million Mal tiefer als der Immissionsgrenzwert für ^{137}Cs von 3.3 Bq/m^3 . Zu den erhöhten ^{137}Cs Konzentrationen die eher im Winterhalbjahr auftreten tragen wahrscheinlich das Aufwirbeln von Bodenpartikel in der vegetationsarmen Zeit sowie das Verbrennen von leicht mit ^{137}Cs kontaminiertem Holz zum Heizen bei. Die stärkere Kontamination der Böden im Kanton Tessin nach Tschernobyl erklärt die meist etwas 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 15-120 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Aufgrund der kurzen Halbwertszeit von ^{24}Na kann die Nachweisgrenze variieren und lag 2018 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 sehr deutlich unterhalb des Immissionsgrenzwertes von 100 Bq/m^3 . Geringste Spuren von Jod-131 (^{131}I) tauchten 2018 in einigen (n=11) 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 wohl aus einem Beschleuniger. Bei anderen Stationen

Tabelle 1:
HVS-Stationen des BAG

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

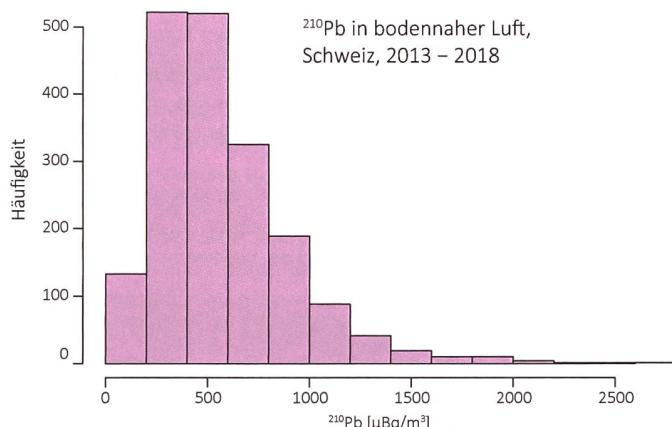
ist die Ursache von Spuren von ^{131}I in dessen medizinischen Anwendungen zu suchen, etwa wenn ^{131}I durch die Verbrennung von Abfällen aus Spitäler in die Luft gelangt. Gesundheitlich sind diese Konzentrationen – eine Million Mal tiefer als der Immissionsgrenzwert – irrelevant. Plutonium-Isotope wurden 2018 an zwei Sammelproben von HVS-Filtern der Station Liebefeld bestimmt – eine Probe mit Filtern vom Winter (Nov-April) und eine Probe mit Filtern vom Sommer (Mai-Sept). Die Summe der Alphastrahler ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu und ^{241}Am ergab $0.7 \pm 10\%$ nano-Becquerel pro m^3 Luft (nBq/m^3) im Winterhalbjahr (2017/2018) und $1.3 \pm 10\%$ nBq/m^3 im Sommerhalbjahr. Zusätzliche Proben von den Stationen Klingnau und Posieux ergaben als Summe der Alphastrahler betrug zwischen 1.2 und 2.4 nBq/m^3 . Diese Konzentrationen der künstlichen Alphastrahler sind sehr tief und liegen wie beim ^{137}Cs eine Million Mal tiefer als der Immissionsgrenzwert. Curium-244 in den HVS-Mischproben von Klingnau, Posieux und Liebefeld lag unterhalb der Nachweisgrenzen (0.05 bis 0.09 nBq/m^3). Die Resultate der MV-Filter in der Umgebung der Kernkraftwerke werden im Kapitel 8.5 näher besprochen.

Natürliche Radioisotope in der Luft

Die 2018 auf den HVS Filtern gemessenen Radioisotope waren fast ausschliesslich natürlicher Herkunft. Vorherrschend waren das Radonfolgeprodukt Blei-210 (^{210}Pb ; Halbwertszeit 21 Jahre) und Beryllium-7 (^7Be ; Halbwertszeit 53 Tage), welches durch die kosmische Strahlung in hohen Schichten der Atmosphäre gebildete und deshalb auch kosmogen genannt wird. Neunzig Prozent der ^7Be -Werte lagen 2018 zwischen 1.6 und 6.9 mBq/m^3 (Mittelwert = Median = 4.1 mBq/m^3). Dies entspricht den erwarteten Werten (siehe Tabelle 2). 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. Neunzig Prozent der 2018 gemessenen ^{210}Pb -Konzentrationen lagen zwischen 0.2 und 1.3 mBq/m^3 (Mittelwert = 0.6 mBq/m^3 , Median = 0.6 mBq/m^3). Auch dies entspricht gut den über die letzten 6 Jahre gemittelten ^{210}Pb -Aktivitäten (Tabelle 2 und Figur 2).

Die Figur 3 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, wobei ^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 2018 noch etwas höher (+1%) als 2017 (NM64 Neutron Monitor Junfraujoch, cosray.unibe.ch). Der Jahresmittelwert 2018 von ^7Be ist mit 4.1 mBq/m^3 gleichgeblieben wie im Vorjahr. Diese erhöhten Werte passen zum Ende des Sonnenzyklus 24. Die auffälligsten Perioden bezüglich ^7Be Luftkonzentrationen waren 2018 der April und die Monate Juli bis August mit deutlich

mehr ^7Be als im langjährigen Mittel (Figur 3). Der April war extrem warm und trocken (MeteoSchweiz 2019: Klimabulletin Jahr 2018). Stärkere vertikale Konvektion und wenig Niederschlag erklären so die hohen ^7Be Werte in der bodennahen Luft. «Wärme und Regenarmut ohne Ende» (Klimabulletin MeteoSchweiz) charakterisierten auch den Sommer 2018 und sind beteiligt an den hohen ^7Be Konzentrationen in der Luft. Als weiteres natürliches Radioisotop findet sich in den HVS Filtern oft auch ^{40}K . Die Konzentrationen lagen 2018 im typischen Bereich von 5 - 20 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ (Maximum: 43 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$). Spitzen, verursacht durch Kalium aus Feuerwerkskörpern, fielen 2018 starken Winden (Neujahr) und einschlägigen Verboten (1. August) zum Opfer.

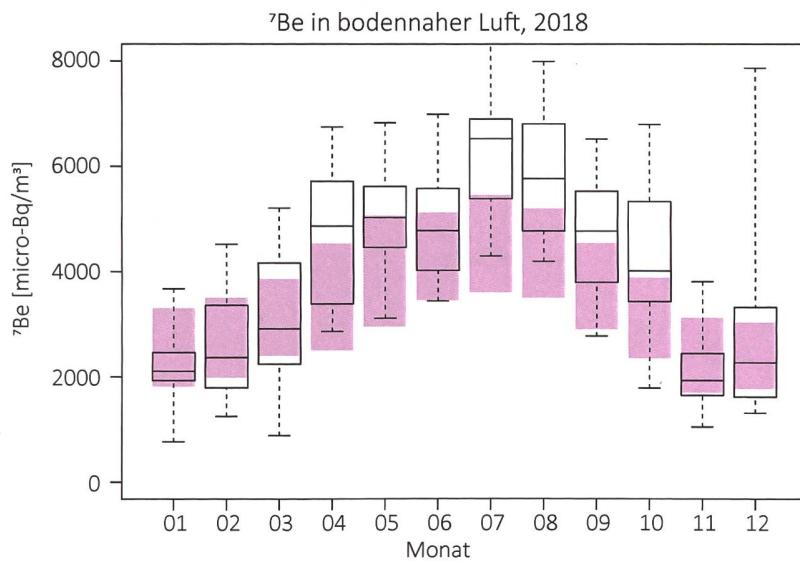


Figur 2:
Histogramm der ^{210}Pb Aktivitäten in bodennaher Luft. 1'864 Messwerte.
Siehe auch Tabelle 2.

Tabelle 2:

Verteilung der 2013-2018 in der Schweiz gemessenen ^{210}Pb und ^7Be Aktivitäten in bodennaher Luft. Aktivitätsangaben in mBq/m^3

Kenngroesse	^{210}Pb [mBq/m^3]	^7Be [mBq/m^3]
5% - 95%-Perzentil	0.18 - 1.18	1.48 - 6.40
Min - Max	0.07 - 2.76	0.15 - 8.74
Mittelwert / Median	0.57 / 0.49	3.66 / 3.50
Anzahl Messwerte: 1'864		



Figur 3 :

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].

Niederschlag

Messungen von Gammastrahlern

Im Berichtsjahr 2018 wurde an folgenden Sammelstationen kontinuierlich Niederschlag gesammelt und monatlich gammaspektrometrisch gemessen: Umgebung der Kernkraftwerke Mühleberg, Leibstadt, Gösgen und Benznau, 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 - 4.1 (Mittelwert 0.8) Bq/l, respektive 0.01 - 0.34 (Mittelwert 0.08) Bq/l gemessen. In 6 von 131 Regen- und Schneeproben lag ^{137}Cs knapp über der Erkennungsgrenze (Maximum 0.6 mBq/l ^{137}Cs). Als Referenzpunkt kann hier der Immissionsgrenzwert aus der Strahlenschutzverordnung von 36 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. Ander künstliche Gammaemitter konnten nicht nachgewiesen werden. 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 alle Tritiumkonzentrationen unterhalb von 3 Bq/l. Tritium-Messungen an Regenproben aus der Umgebung der Kernkraftwerke KKG, KKL, KKM und dem ZWILAG ergaben ebenfalls Messwerte unterhalb oder knapp über der Nachweisgrenze von 2- 5 Bq/l. Bei den Sammelstationen KKB und PSI ergaben sich 2018 mit Mittelwerten von 8 Bq/l (KKB) und 17 Bq/l (PSI) etwas höhere Werte als üblich. Das höchste Monatsmittel trat im März bei der Station PSI auf (84 Bq/l). Alle gemessenen Konzentrationen liegen um mindestens einen Faktor 10 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 9 und 1'534 Bq/l Tritium mit einem Mittelwert von 207 Bq/l. Die Höchstkonzentration entspricht rund 8% 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

URAnet aero

D. Lienhard, P. Beuret, S. Estier, M. Müller, P. Steinmann
Sektion Umweltradioaktivität, URA / BAG, Bern

Zusammenfassung

Das vom Bundesamt für Gesundheit betriebene Messnetz URAnet aero, welches im Jahr 2018 offiziell als Nachfolger von RADAIR in Betrieb genommen wurde, hat im ersten Betriebsjahr keine erhöhte künstliche Radioaktivität festgestellt. Die Aktivitätskonzentrationen der künstlichen Radionuklide blieben unterhalb der Nachweisgrenzen von beispielsweise 3 mBq/m³ für ¹³⁷Cs und damit weit unter den in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Immissionsgrenzwerten. Die Messungen zeigen, dass die natürlich vorkommenden Radontöchter wie ²¹⁴Pb und ²¹⁴Bi in Abhängigkeit der Wetterlage 12h-Mittelwerte von bis zu 40 Bq/m³ erreichen. Die Konzentrationen von gasförmigem ¹³¹I blieben ebenfalls unter der Nachweisgrenze von 40 mBq/m³.

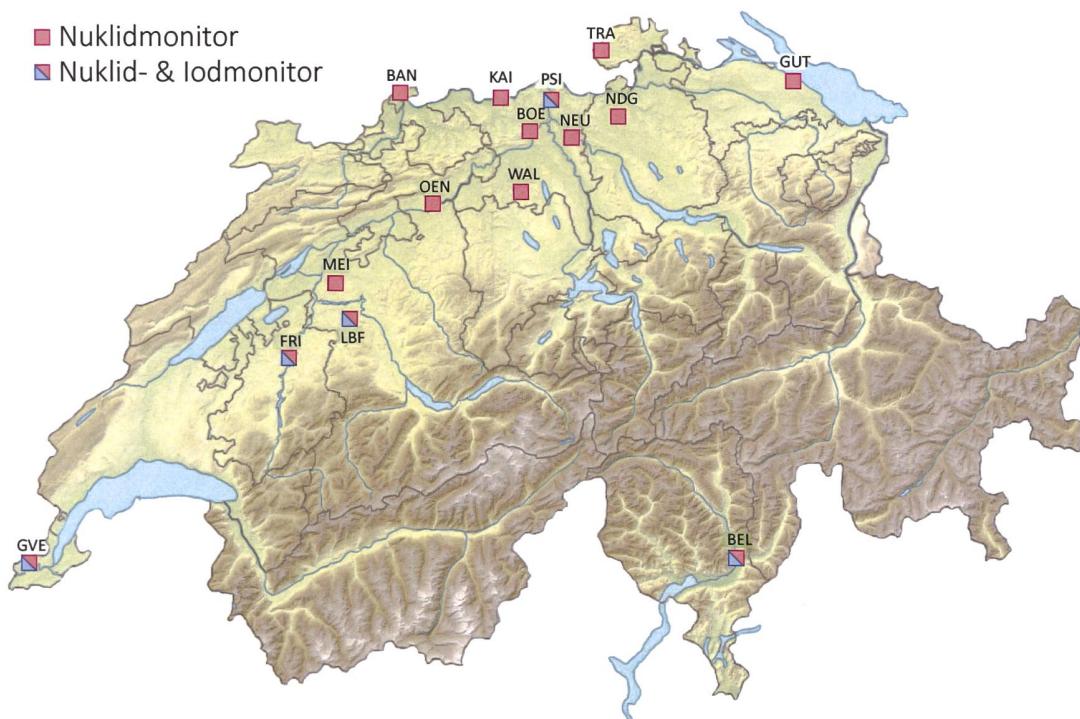
Einführung

Das Vorgängermessnetz RADAIR bestand aus 11 Monitoren zur kontinuierlichen Überwachung der α - und β -Strahlung sowie 5 Monitoren zur Messung der ¹³¹I Konzentration in der Umgebungsluft. Zudem wurde je ein Frühwarnposten in der Umgebung der Kernkraftwerke betrieben. Das Messkonzept und die Messtechnik von RADAIR wurde den aktuellen Anforderungen an ein Messnetz zum Zweck der Immissionsüberwachung nicht mehr gerecht. Aus diesem Grund wurden die α / β -Monitore und die Frühwarnposten abgeschaltet und RADAIR damit im Jahr 2018 offiziell vom neuen Messnetz URAnet aero abgelöst. URAnet aero besteht aus 15 automatisierten Aerosolmonitoren, die kontinuierlich die Radionuklide in der Umgebungsluft messen. Mittels hochauflösender Gammaspektrometrie werden die natürlichen und künstlichen Radionuklide identifiziert und ihre Aktivitätskonzentration in der Luft bestimmt. Dabei werden beispielsweise für ¹³⁷Cs Nachweisgrenzen von 3 mBq/m³ für eine 12-stündige Sammelperiode erreicht, was weit unter den von Euratom geforderten 30 mBq/m³ für ein Messnetz dieser Art liegt. Da das neue Verfahren die direkte Bestimmung der Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide in der Luft erlaubt, wird dadurch die Einhaltung der Immissionsgrenzwerte gemäss der StSV fortlaufend überwacht. Die bereits im RADAIR-Messnetz integrierten ¹³¹I-Monitore werden vom Bundesamt für Gesundheit weiterhin als Teil von URAnet aero betrieben.

Im Unterschied zum Messnetz der High Volume Sampler (HVS), deren Filter nach einer Woche Sammelzeit ins Labor gesendet und dort gemessen werden (siehe Kapitel 4.1), erreichen URAnet aero Monitore zwar nicht die sehr niedrigen Nachweisgrenzen von 0.5 μ Bq/m³ für ¹³⁷Cs, dafür wird die Luft fortlaufend auf Radionuklide untersucht und die Messwerte alle 10 Minuten per Mobilfunknetz übertragen. Eine erhöhte Aktivitätskonzentration eines künstlichen Radionuklids würde dadurch rasch weitergeleitet. URAnet aero dient damit auch als Alarmnetz mit kurzer Reaktionszeit.

Die Standorte der 15 Aerosolmonitore von URAnet aero sind in der Figur 1 dargestellt. Grundsätzlich wurde eine sinnvolle Abdeckung aller geographischen Regionen der Schweiz angestrebt. Dies wurde mit je einem

Monitor nördlich des Juras in Basel/BS (BAN) und südlich der Alpen in Bellinzona/TI (BEL) sowie vier Monitoren verteilt über das Mittelland von Genf bis zum Bodensee erreicht, nämlich in Genf/GE (GVE), Bern/BE (LBF), Villigen/AG (PSI) und Güttingen/TG (GUT). Das Messnetz wurde in der Umgebung der Kernkraftwerke zusätzlich mit weiteren 9 Aerosolmonitoren verdichtet, wobei die Hauptwindrichtungen ausgehend von den Kernkraftwerken sowie die Bevölkerungsverteilung mitberücksichtigt wurden. Daneben war auch noch die Verfügbarkeit von geeigneten Messplätzen, beziehungsweise die baurechtlichen und bautechnischen Faktoren für die Errichtung eines Standorts ausschlaggebend. Sofern dies möglich und aus Sicht des Messkonzepts sinnvoll war, wurden die bereits vorhandenen RADAIR-Standorte miteinbezogen, da hier die Infrastruktur bereits vorhanden war. Um das Kernkraftwerk Mühleberg würden die Stationen in Fribourg/FR (FRI) und Meikirch/BE (MEI), um das Kernkraftwerk Gösgen die Stationen in Oensingen/SO (OEN), Schmiedrued-Walde/AG (WAL) und Bözberg/AG (BOE) sowie um die Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt die Stationen in Kaisten/AG (KAI), Neuenhof/AG (NEU), Bülach/ZH (BUL) und Trasadingen/SH (TRA) aufgebaut. Die 5 ^{131}I -Monitore befinden sich bei den Stationen in Genf, Fribourg, Bern, Bellinzona und am PSI jeweils in den selben Räumlichkeiten wie die Aerosolsammler.



Figur 1:

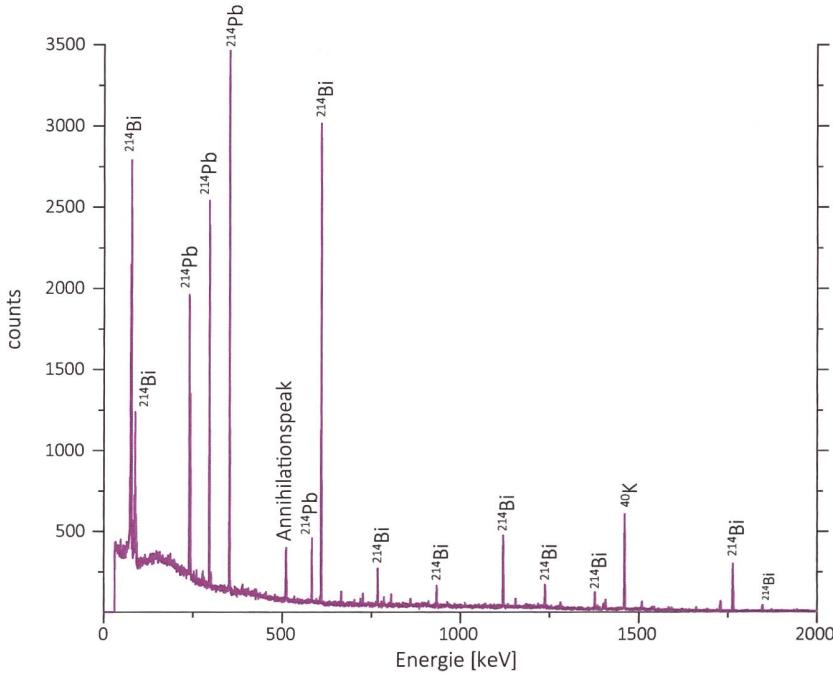
Standorte der Aerosol- und ^{131}I -Monitore von URAnet aero. Die Stationen sind jeweils mit einem Kürzel für die Gemeinde/Region bezeichnet und bedeuten wie im Text erläutert: BAN: Basel/BS, BEL: Bellinzona/TI, BOE: Bözberg/AG, BUL: Bülach/ZH, FRI: Fribourg/FR, GUT: Güttingen/TG, GVE: Genf/GE, KAI: Kaisten/AG, LBF: Liebefeld/BE, MEI: Meikirch/BE, NEU: Neuenhof/AG, OEN: Oensingen/SO, PSI: Villigen/AG, TRA: Trasadingen/SH, WAL: Schmiedrued-Walde/AG.

Die 12-Stunden Mittelwerte der URAnet aero Monitore sind auf www.radenviro.ch einsehbar.

Messmethodik

Aerosolsammler:

Die 15 neuen, automatischen Aerosolmonitore saugen Außenluft durch einen Ansaugkopf mit einem Luftdurchsatz von 16 bis 18 m^3/h an. Die Luft passiert einen Glasfaserfilter, auf dem sich die Aerosolpartikel ablagern. Die von den partikelgebundenen Radionukliden emittierten Gammaquanten werden von einem koaxialen Reinstgermanium-Detektor, der sich unmittelbar unter der bestaubten Fläche des Partikelfilters befindet, fortlaufend energieabhängig erfasst. Die energieabhängige Erfassung erlaubt die eindeutige Identifizierung der individuellen Radionuklide, da diese die Gammaquanten mit einer oder mehreren charakteristischen Energien emittieren. Über die Häufigkeit mit welcher Gammaquanten der gleichen Energie vom Detektor



Figur 2:

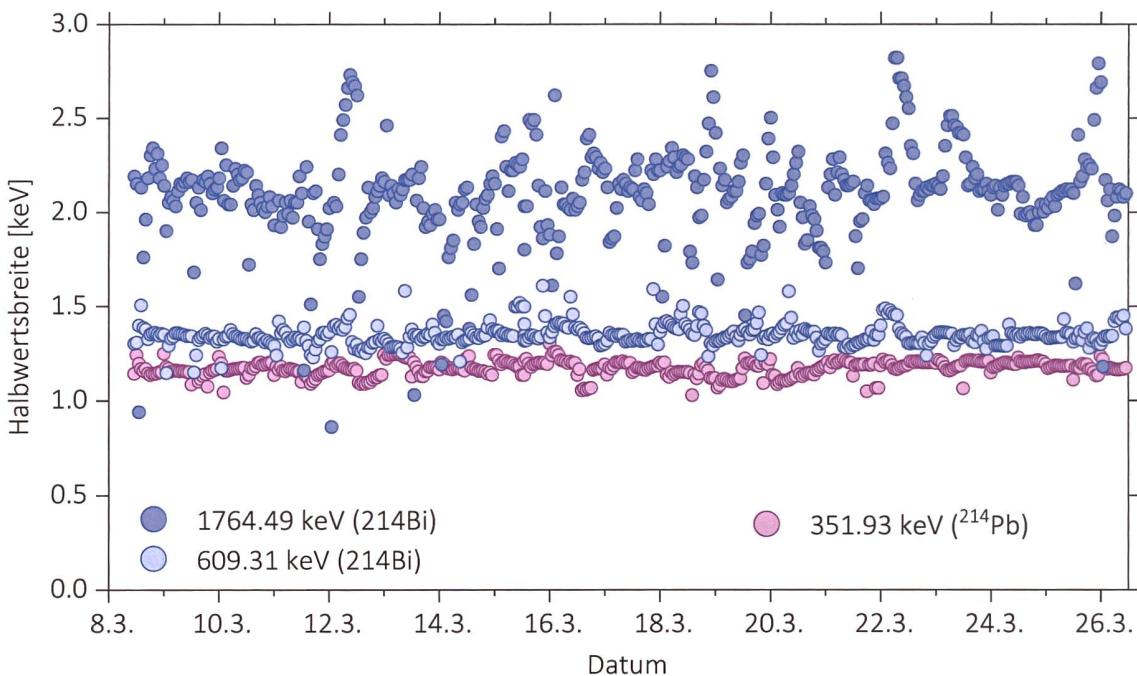
Gammaspektrum nach 12h Sammelzeit. Die Peaks sind entsprechend den Radionukliden markiert. Kleinere Peaks können ebenfalls den Radon-Töchtern zugeordnet werden, sind aber aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht markiert.

registriert werden kann dann die Aktivitätskonzentration eines bestimmten Radionuklids in der Luft berechnet werden. Das Filterband vollzieht alle 12 Stunden einen Bandvorschub, damit regelmässig eine frische Filterfläche bestaubt und eine Blockade durch das akkumulierte Material verhindert wird.

Die sensible Messtechnik bedingt einen geschützten Messstandort, d.h. entweder in einem bestehenden Gebäude oder in einer speziell für diese Zwecke ausgestatteten Messbaracke. Der Messraum muss für einen geregelten Betrieb klimatisiert sein, da ansonsten im Sommer die zusätzliche Wärmeentwicklung durch die Luftpumpe die Kühlung des Reinst-germanium-Kristalls beeinträchtigt, der auf ca. -165°C gehalten wird. Im Winter muss hingegen die Vereisung des Ansaugkopfes mit einem installierten Heizdraht verhindert werden.

Ein Beispiel eines Gammaspektrums ist in Figur 2 dargestellt. Die Messung

deckt den Energiebereich zwischen 30 keV und 2'000 keV ab. Dieser Energiebereich reicht aus, um die relevanten Radionuklide zu identifizieren und quantifizieren. Im Spektrum klar ersichtlich sind die markierten Energien der Radon-Töchter ^{214}Pb und ^{214}Bi sowie der Annihilationspeak. Der ^{40}K Peak stammt hauptsächlich von einer neben dem Detektor befindlichen ^{40}K Quelle, die zur automatischen Nachkalibration der Energie in



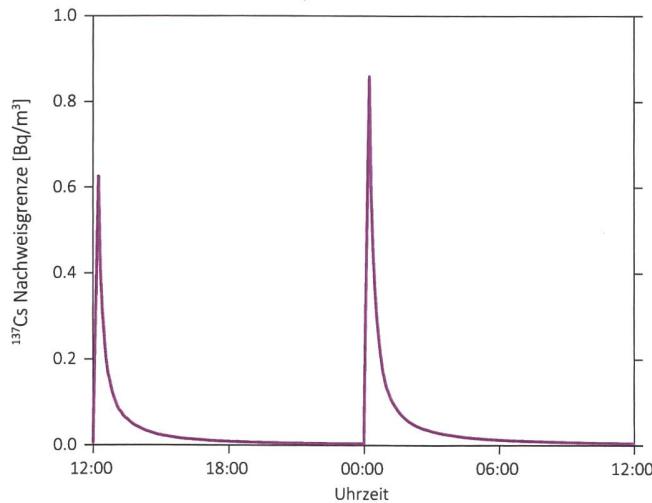
Figur 3:

Halbwertsbreiten der drei Linien bei 351.93 keV, 609.31 keV und 1'764.49 keV der beiden Radon-Töchter ^{214}Bi und ^{214}Pb während einiger Tage Messzeit.

jedem Aerosolmonitor platziert wurde. Im Spektrum sind noch weitere kleinere Peaks ersichtlich, die ebenfalls den Radon-Töchtern zugeordnet werden können, aber aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht markiert sind.

Die Auflösung ist ein wichtiger Indikator der Funktionsfähigkeit des Messapparats. Aus diesem Grund wird die zeitliche Entwicklung der Halbwertsbreite bei 351.93 keV, 609.31 keV und 1764.49 keV festgehalten und kontrolliert. Diese drei Linien stammen von den Radon-Töchtern ^{214}Pb und ^{214}Bi , die immer in der Umgebungsluft vorhanden sind. Die Schwankungen in der Halbwertsbreite in Figur 3 spiegeln teilweise auch die Temperatur-Schwankungen der Luft während der Passage des Messgeräts wieder, die auch die Temperatur des Detektors beeinflussen und damit die Energiekalibration und die Peak-Lage minimal verschieben kann. Große Schwankungen in der Halbwertsbreite dieser drei Linien von mehr als 1 keV deuten aber auf Probleme der Temperatur-Regulierung oder der Elektronik des Detektors hin. Die Schwankungen in Figur 3 unterstreichen die einwandfreie Funktion dieses Detektors.

Die Nachweisgrenze eines Radionuklids hängt bei den Aerosolmonitoren von verschiedenen Faktoren ab. Die wichtigsten Faktoren sind (i) die Energie der Linie, die zur Quantifizierung des Radionuklids verwendet wird, (ii) die Emissionswahrscheinlichkeit des Gammaquants bei dieser Energie, (iii) die Variation des Untergrunds im Gammaspektrum oberhalb und unterhalb des Peaks, (iv) das Volumen der gefilterten Luft und (v) die Halbwertszeit des Radionuklids. Figur 4 zeigt die Nachweisgrenze von ^{137}Cs während einer Messperiode von 24h mit zwei Filterschritten. Nach einem Filterschritt verkleinert sich die Unsicherheit des Untergrunds im Spektrum und vergrößert sich das Volumen der gefilterten Luft. Beide Effekte tragen zum exponentiellen Abfall der Nachweisgrenze bis zum nächsten Filterschritt bei.



Figur 4:
Nachweisgrenze von ^{137}Cs während 24h mit zwei Filterschritten.

Die Analyse-Software berechnet alle 5 Minuten anhand des Gammaspektrums die Aktivitätskonzentrationen und Nachweisgrenzen und prüft, ob die Alarmschwelle eines künstlichen Radionuklids überschritten wurde und sendet im Falle einer Überschreitung eine Meldung an die Nationale Alarmzentrale (NAZ) und per SMS und Email einen Alarm an die involvierten Mitarbeiter des BAG, um den Alarm zu verifizieren.

Zu Ausfällen der Aerosolmonitore kam es in der Vergangenheit durch defekte Klimageräte und Heizdrähte, wobei der Detektor jeweils zu warm wurde und schliesslich ganz erwärmt und wieder neu abgekühlt werden musste. Beim Detektor der Station TRA kam es in der zweiten Jahreshälfte zu einem mehrmonatigen Ausfall, da Probleme mit der Elektronik des Detektors auftraten, die im Service-Center des Herstellers in England behoben werden mussten. Der Monitor der Station WAL fiel in der gleichen Messperiode ebenfalls während mehrerer Monate aufgrund von Erdungs-Problemen aus. Anfangs 2019 waren dann wieder alle 15 Aerosolmonitore im regulären Messbetrieb.

^{131}I -Monitor:

Die Umgebungsluft wird durch eine Pumpe angesaugt und durch eine zylindrische Kartusche mit AgNO_3 -Granulaten gezogen. Falls sich ^{131}I in der Luft befindet, wird dieses auf den AgNO_3 -Granulaten adsorbiert und verbleibt damit in der Kartusche. In der Mitte der zylindrischen Kartusche befindet sich ein NaI-Detektor, der die vom adsorbierten ^{131}I emittierten Gammaquanten bei 364.49 keV registriert.

Messergebnisse

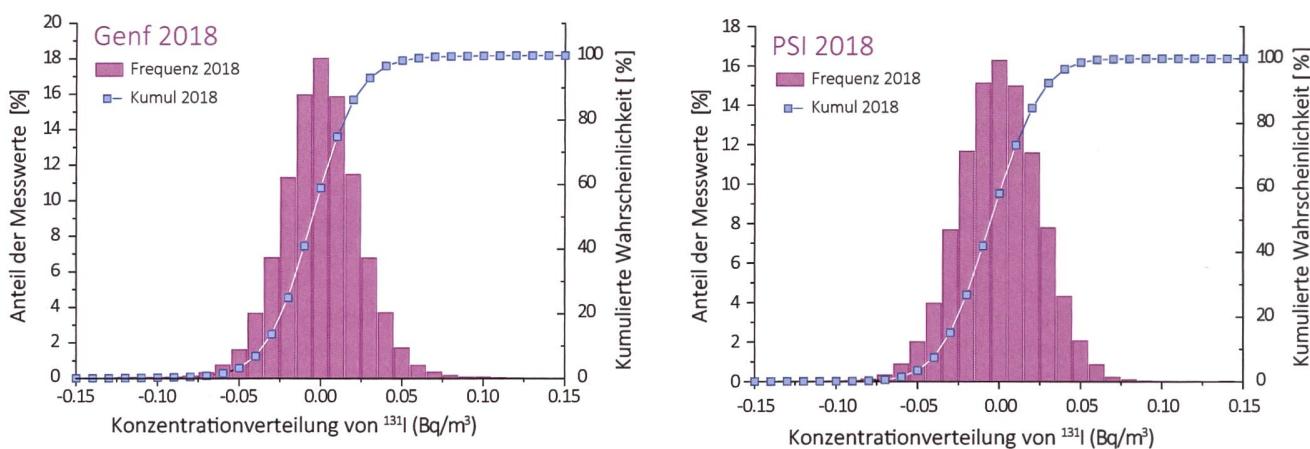
Aerosolsammler :

Im Jahr 2018 konnte von keiner der 15 Messstationen Radionuklide künstlicher Herkunft nachgewiesen werden. Regelmässig wurden hingegen die natürlich vorkommenden Radon-Töchter ^{214}Pb und ^{214}Bi aus der Uran-Radium-Zerfallsreihe und in manchen Fällen auch ^{210}Pb aus der gleichen Zerfallsreihe oder ^{212}Pb und ^{208}Tl aus der Thorium-Zerfallsreihe gemessen. Die Aktivitätskonzentration dieser Radionuklide variiert von Messstation zu Messstation, abhängig von der geologischen Beschaffenheit des Bodens und den meteorologischen Bedingungen. Die ^{214}Pb - und ^{214}Bi -Aktivitätskonzentrationen erreichen Werte von bis zu 40 Bq/m³, wobei in den meisten Fällen die jeweils höchsten 12h-Mittelwerte bei der Station BEL gemessen werden.

In Figur 6 sind die 12h-Mittelwerte der ^{214}Pb -Aktivitätskonzentration im Zeitraum vom 15. September bis 15. Oktober der Stationen BEL, BUL und FRI gezeigt. Die starken Winde vom 24. September und vom 2. Oktober sowie die Niederschläge vom 11. Oktober auf der Station BEL haben die Radionuklide fortgetragen, bzw. ausgewaschen. Auch auf der Station BUL und FRI sorgte eine Kombination aus starken Winden und Niederschlag zwischen dem 22. und 26. September für geringe ^{214}Pb -Aktivitätskonzentrationen. Am 29. September folgten in BUL dann erneut höhere Windgeschwindigkeiten gefolgt von Niederschlag, in deren Folge die ^{214}Pb -Werte erneut zurückgingen. Vermutlich hat in der Folge die hohe Feuchtigkeit im Boden das Radon zurückgehalten, bis es schliesslich ab dem 5. Oktober wieder in die Luft gelangen konnte und zu hohen Werten zwischen dem 5. und 7. Oktober führte. Der Peak in diesem Zeitraum ist dem ansteigenden Trend zwischen dem 5. und 15. Oktober überlagert, als keine Niederschläge und nur niedrige Windgeschwindigkeiten gemessen wurden. Dieser Trend wird auf der Station FRI ebenfalls beobachtet, allerdings ohne die markanten Peaks zwischen dem 5. und 7. Oktober.

^{131}I -Monitor:

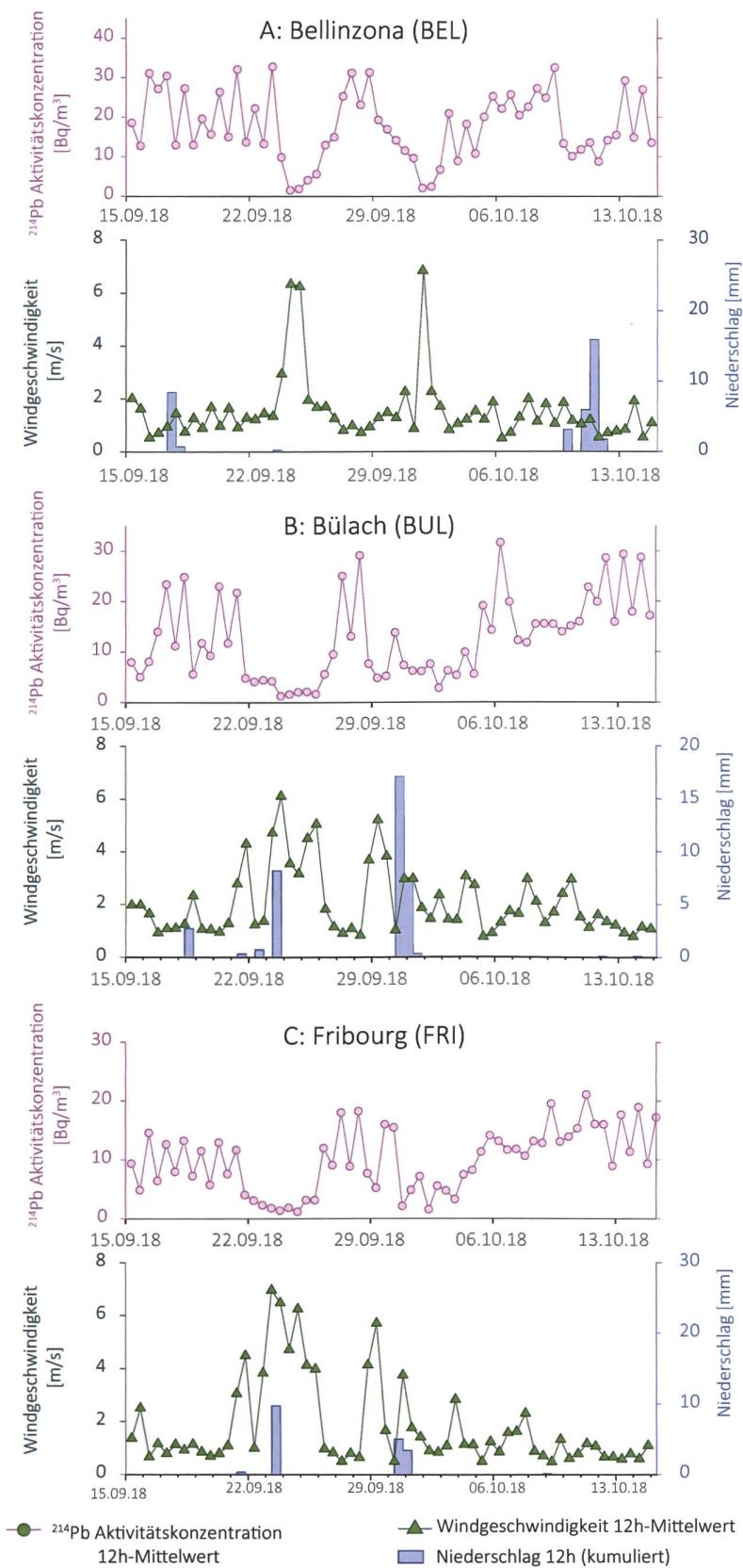
Die 5 ^{131}I -Monitore auf den Stationen BEL, FRI, GVE, LBF und PSI sind seit 2017 im Messnetz URAnet aero integriert und messen die Konzentration des gasförmigen ^{131}I . Bei keiner Messung im Jahr 2018 wurde die Nachweisgrenze überschritten. Die Absenz von ^{131}I in der Luft bestätigen auch die Histogramme der durchschnittlichen ^{131}I -Konzentration bei den Stationen GVE und PSI in Figur 5, die eine Gaussche Glockenkurve mit einem Mittelwert von Null zeigen. Die zwei Histogramme der Figur 5 sind sozusagen identisch.



Figur 5:
Histogramm der Durchschnittskonzentration von ^{131}I auf den Stationen in Genf und PSI im Jahr 2018.

Schlussfolgerung

Das Vorgängermessnetz RADAIR wurde 2018 offiziell von URAnet aero mit 15 Aerosolmonitoren abgelöst, die die Luft mittels Gammespektrometrie fortlaufend auf Radionuklide untersuchen. Die ^{131}I -Monitore von RADAIR wurden ins Messnetz URAnet aero integriert. Die kontinuierliche Überwachung der Radioaktivität in der Luft durch das neue automatische Messnetz stellte keine Konzentration von künstlichen Radionukliden über der Nachweisgrenze fest.



Figur 6:

^{214}Pb -Aktivitätskonzentration, Windgeschwindigkeit (12h-Mittelwert) und Niederschlag (kumulierter 12h-Wert) zwischen dem 15. September und 15. Oktober 2018 bei den Stationen BEL, BUL und FRI. Die meteorologischen Daten stammen von den MeteoSchweiz-Stationen in Cadenazzo (BEL), Zürich-Flughafen (BUL) und Posieux (FRI).

4.3

Überwachung der Radioaktivität der Luft mit Militärflugzeugen

M. Müller, S. Estier, G. Ferreri
Sektion Umweltradioaktivität, URA / BAG, Bern

Zusammenfassung

Mittels zwei an Militärflugzeugen montierten Sammelgeräten werden in 8'000 bis 12'000 m Höhe Luftproben gesammelt. Im Falle einer Radioaktivitätsfreisetzung kann somit im Idealfall 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.

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 überirdischen 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 ablagert. In der Folge wurden in Zusammenarbeit der KUER mit den damaligen Flugzeugwerken Emmen in den 1960er-Jahren Sammelgeräte entwickelt und im Windkanal kalibriert. Diese ermöglichen es, mittels Militärflugzeugen Aerosolpartikel in bis zu 12'000 m Höhe zu sammeln. Die Proben können anschliessend im Labor mittels Gamma-

Spektrometrie analysiert werden. 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 nun für diesen Zweck eingesetzten Tiger-Flugzeuge über eine andere Aufhängevorrichtung verfügen. Zudem zeigte sich, 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) beauftragt. Seit 2004 sind die Geräte wieder einsatzbereit und flugerprobt.



Figur 1:
Höhenluftfilter-Aggregate montiert an den beiden Flügeln eines Tiger.

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. Beispielsweise ist die Probenahme in der Stratosphäre erforderlich, wenn bei einem Ereignis die radioaktive Wolke bis in diese Höhe aufsteigt. Im Normalfall sind 6 Sammelflüge pro Jahr vorgesehen, 2018 waren es ausnahmsweise nur drei. Die Hin- und Rückflüge erfolgen abwechselnd über resp. unter der Tropopause. 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 Probenahmedauer von 20 bis 30 Minuten liegt die gesammelte Luftmenge zwischen 2'000 und 4'000 kg.



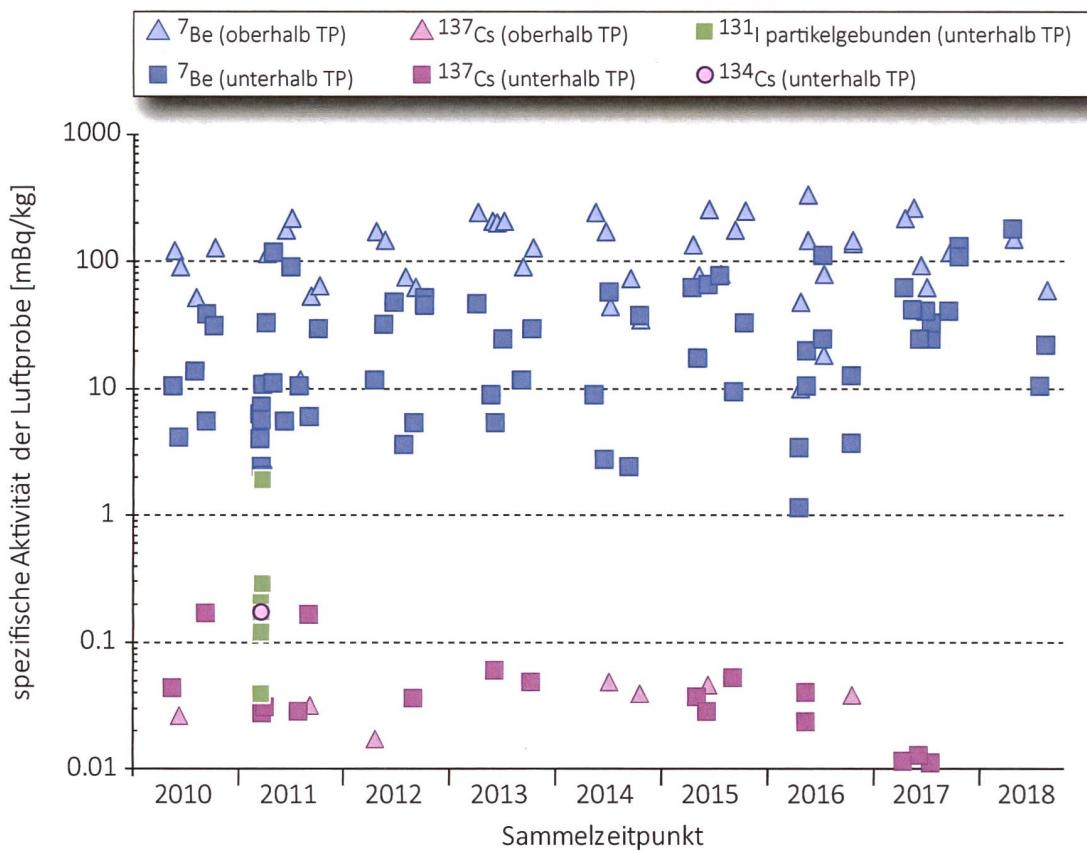
Figur 2:
Höhenluftfilter-Aggregate: Detail-Aufnahme eines Sammelgerätes.

Als Filtermaterial wird ein Zellulosefilter (KG Typ FFL 2689) von Freudenberg Filtration Technologies mit den Dimensionen 555 x 526 mm verwendet. Der Filter wird mit einer hydraulischen Presse mit 25 Tonnen zu einer Tablette von 63 mm Durchmesser und ca. 24 mm Dicke gepresst.

Der Vorteil des Überwachungsverfahrens mit Flugzeugen ist der erhebliche Zeitgewinn im Falle eines Ereignisses mit freigesetzter Radioaktivität, da 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 Gammaspektrometrie, 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 durchgeführt werden, z.B. mit radiochemischen oder massenspektrometrischen Verfahren.



Figur 3:
 ^7Be -, ^{134}Cs -, ^{137}Cs - und partikelgebundene ^{131}I - Messwerte in mBq/kg Luft in den Jahren 2010-2018.

Über die letzten acht Jahre liegt die durchschnittliche Konzentration des kosmogenen Radionuklids ^7Be oberhalb der Tropopause bei 124 mBq/kg. Bei den Messungen 1 km unterhalb der Tropopause liegt der Durchschnittswert bei 18 mBq/kg. Als Vergleich seien hier die Werte von P. Winiger [1] bis [4] erwähnt, die für ^7Be typischerweise bei 100 mBq/kg bzw. 20 mBq/kg liegen, jeweils 1'000 m über bzw. unter der Tropopause ermittelt.

Die ^{137}Cs -Werte lagen im Jahr 2018 alle 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 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, Dübendorf

P. Rünzi

Eawag, Gruppe Sedimentologie, Abteilung SURF, Dübendorf

M. Zehringer

Kantonales Labor Basel-Stadt, Basel

Zusammenfassung

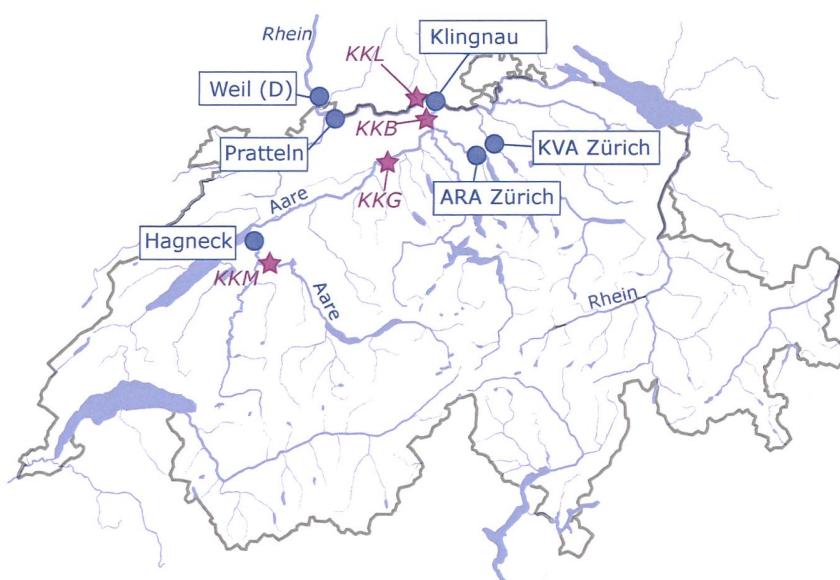
In den Wasserproben von Aare und Rhein wurden 2018 weder ^{54}Mn , ^{58}Co oder ^{60}Co aus Abgaben der Kernkraftwerke Mühleberg, Gösgen, Beznau oder Leibstadt nachgewiesen. Nur in den Schwebestoffproben von Aare und Rhein wurden sporadisch ^{54}Mn und ^{60}Co in geringen Konzentrationen gefunden. Weiter wurde vereinzelt ^{137}Cs beobachtet, welches von den oberirdischen Atombombentests und vom Tschernobylunfall stammt. In Stichproben von Schwebestoffen 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}Co , ^{60}Co , ^{131}I und ^{137}Cs gefunden. In einer Grundwasserprobe von Döttingen wurde zwar von ^{137}Cs im gemessenen Spektrum identifiziert, aber der Messwert lag unterhalb der Nachweigrenze; die Analysen des Grundwassers bei Aarberg 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. Eine Bilanzierung der Frachten ist aufgrund der Messwerte unterhalb der Nachweigrenze praktisch nicht mehr möglich.

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 oberhalb 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



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.

nuklid-Fracht ergibt sich aus dem Produkt der gemessenen Aktivität und der während der Sammelperiode abgeflossenen Wassermenge. Wie bereits im Vorjahr gab es 2018 bei der Überwachungsanlage (BAFU/METAS) bei der Station Hagneck wiederholt technische Störungen (Ausfall des Steuersignals für die Wasserbeprobung, Ausfall der Wasserpumpen). In den Monaten März, April und August konnten deshalb bei Hagneck keine aussagekräftigen Proben gewonnen werden. Die Zuverlässigkeit der Beprobung wurde im Laufe des Jahres verbessert, indem ein wöchentlicher Kontrollgang in der Überwachungsanlage eingeführt wurde.

Die Schwebestoffproben werden mit Hilfe von Sedimentfallen als monatliche Sammelproben gewonnen. 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 zur Analyse gefriergetrocknet und homogenisiert. Die spezifische Aktivität dieser Proben wird in Bezug auf das Trockengewicht angegeben.

Bei der Rheinüberwachungsstation Weil (D) werden durch das Amt für Umweltschutz und Energie Basel Stadt (AUE BS) täglich Wasserproben gesammelt. Das kantonale Labor Basel-Stadt (KLBS) mischt die Tagesproben zu Wochenmischproben und bestimmt deren ^{3}H -Aktivität (Bestimmungsgrenze 2 Bq/L). Zudem sammelt das AUE BS bei Weil monatlich Schwebestoff-Stichproben. Dabei wird über Zeiträume von einigen Tagen Rheinwasser aus der Querprofilmischung entnommen und davon die Schwebestoffe abzentrifugiert. Die Schwebestoffe werden gefriergetrocknet, gemahlen und danach vom KLBS gammaspektrometrisch analysiert. Aus den so bestimmten spezifischen Aktivitäten und dem monatlichen Abfluss bei Basel werden die monatlichen Radionuklidfrachten auf suspendierten Partikeln abgeschätzt. Dabei ist zu beachten, dass diese Hochrechnung auf der Annahme beruht, dass die über 1- 4 Tage gesammelten Stichproben repräsentativ für den ganzen Monat sind. Aufgrund der diskontinuierlichen Abgaben der Kernkraftwerke trifft dies nicht immer zu.

Die Eawag beprobt sporadisch die Grundwasserströme bei Aarberg (Pumpwerk Römerstrasse II, in der Nähe der Überwachungsstation Hagneck), bei Döttingen (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 aufgearbeitet und analysiert.

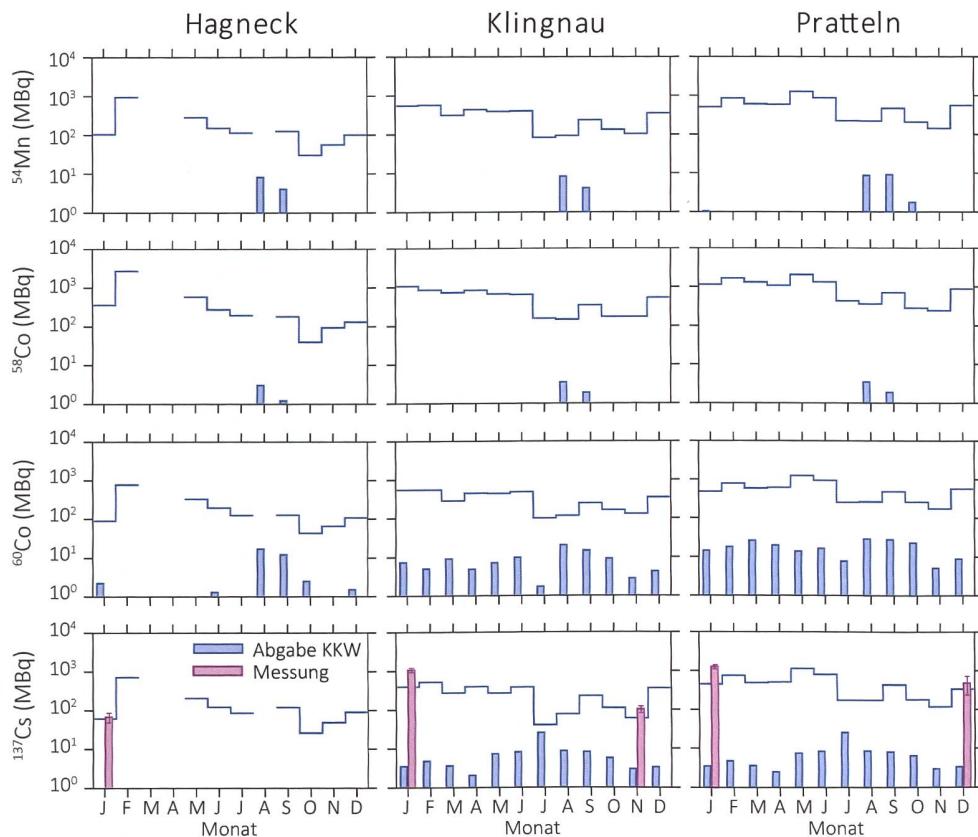
regelmässig Schwebestoffproben gesammelt. Zusätzlich werden Stichproben von Grundwasser, Fisch und Wasserpflanzen untersucht. Die Aktivitäten der Radionuklide in allen Proben werden an der Eawag mittels Gammaspektrometrie bestimmt.

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 50L und 200L ergibt. Zur Bestimmung der monatlichen Fracht der Radionuklide in Aare und Rhein werden die Radionuklide in den Sammelproben durch eine Eisenhydroxidfällung extrahiert. Danach wird das Fällungsprodukt getrocknet und darin die Aktivitäten der betreffenden Radionuklide bestimmt. Die Radio-

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.

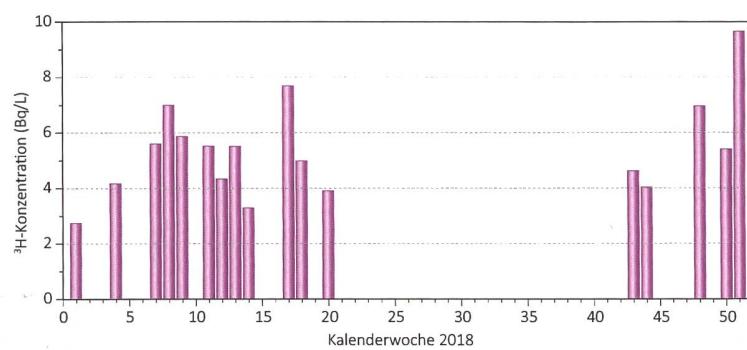


Figur 2:

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 Ausnahmen bei ^{137}Cs immer unter der Nachweisgrenze (blaue Stufenlinie). Die Fehlerbalken zeigen den Standardmessfehler der Fracht. Fehlende Messwerte im März, April und August bei Hagneck: siehe Text.

Die kumulierten Abgaben von ^{54}Mn und ^{58}Co der flussaufwärts gelegenen Kernkraftwerke sind vorwiegend durch die Abgaben aus dem Kernkraftwerk Mühleberg dominiert, bei ^{60}Co tragen auch die Abgaben der Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt deutlich zur Gesamtbilanz bei. Die kumulative ^{137}Cs -Bilanz ist durch die Abgaben des Kernkraftwerks Beznau bestimmt, welche relativ gleichmäßig über das Jahr verteilt erfolgt sind.

Bei allen drei Stationen (Hagneck, Klingnau und Pratteln) wurde über das ganze Jahr kein ^{54}Mn , ^{58}Co oder ^{60}Co nachgewiesen. In früheren Jahren wurden vereinzelt Spuren dieser Nuklide nahe der Nachweisgrenze gefunden, als die Abgaben aus den KKW noch systematisch höher waren. In den letzten Jahren sind die Abgaben von ^{54}Mn , ^{58}Co oder ^{60}Co aus den KKW jedoch um mehrere Größenordnungen zurück gegangen (Fig. 4).



Figur 3:

^{3}H -Aktivitätskonzentration im Rhein bei Weil am Rhein (D).

^{137}Cs wurde bei Klingnau und Pratteln nur sporadisch und in Konzentrationen nahe der Nachweigrenze gefunden. Diese ^{137}Cs -Nachweise sind in der Regel grösser als die Abgaben der Betriebe, was wie in bisherigen Jahren auf die Remobilisierung von ^{137}Cs aus dem Tschernobylunfall zurückgeführt wird.

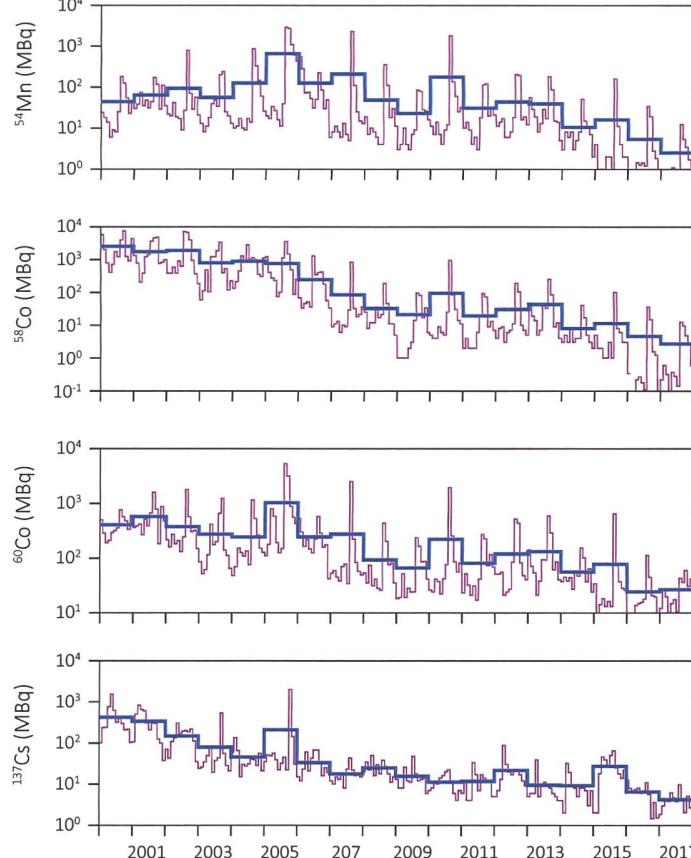
Die ^3H -Aktivität der wöchentlichen Rheinwasserproben von Weil am Rhein (D) ist in Figur 3 dargestellt. Die ^3H -Konzentrationen betragen über das ganze Jahr $< 10 \text{ Bq/L}$. Insbesondere liegen die ^3H -Konzentrationen in den Kalenderwochen 21- 42 immer unterhalb der Messgrenze von 2 Bq/L .

In allen analysierten Proben liegen die Konzentrationen von ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{137}Cs und ^3H um mindestens drei bis vier Grössenordnungen unterhalb der Immissionsgrenzwerte für Gewässer gemäss StSV.

Ausser den oben diskutierten Radionukliden wurden keine weiteren künstlichen 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- 2018. Als Folge der Revisionen der Kernkraftwerke sind die Abgaben in der Regel im Sommer/Herbst am grössen. Über die Jahre betrachtet haben die Abgaben von ^{58}Co , ^{60}Co und ^{137}Cs bis ca. 2008 tendenziell abgenommen. Danach ist bis 2014 keine systematische Veränderung erkennbar; danach verringerten sich die Abgaben ^{54}Mn , ^{58}Co und ^{60}Co nochmals stark.



Figur 4:
Jahres- und Monatsabgaben von ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co und ^{137}Cs aus den Kernkraftwerken während 2000 - 2018 (Summe der Abgaben aller Kernkraftwerke).

nau) und ^{60}Co (bei allen drei Stationen) gefunden. Diese Nachweise dürften auf die Abgaben dieser Nuklide aus dem KKW Mühleberg zurückzuführen sein, welche vorwiegend im Sommer/Herbst erfolgten. ^{58}Co und ^{65}Zn wurden nicht 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 (von Atombombentests und Tschernobylunfall) zurückgeführt werden kann. Zusätzlich zu den

Im Einklang mit den generell geringeren Abgaben während der letzten Jahre lagen die Messwerte der im Wasser gelösten Radionuklide mit sporadischen Ausnahmen bei ^{137}Cs unterhalb der spezifischen Bestimmungsgrenzen. Deshalb ist wie bereits in den Vorjahren eine Quantifizierung der Jahresgesamtfrechte anhand der monatlich überwachten Radionuklidfrachten nicht sinnvoll möglich.

Partikelproben

Die meisten der von den Kernkraftwerken abgegebenen Radionuklide 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 maximal 10 Bq/kg , und zeigen 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 von den oberirdischen Atombombentests und vom Tschernobylunfall zurückgeführt. Ansonsten wurden im Herbst vereinzelt ^{54}Mn (bei Hagneck und Klingnau) und ^{60}Co (bei allen drei Stationen) gefunden. Diese Nachweise dürften auf die Abgaben dieser Nuklide aus dem KKW Mühleberg zurückzuführen sein, welche vorwiegend im Sommer/Herbst erfolgten. ^{58}Co und ^{65}Zn wurden nicht nachgewiesen.

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.

Fische

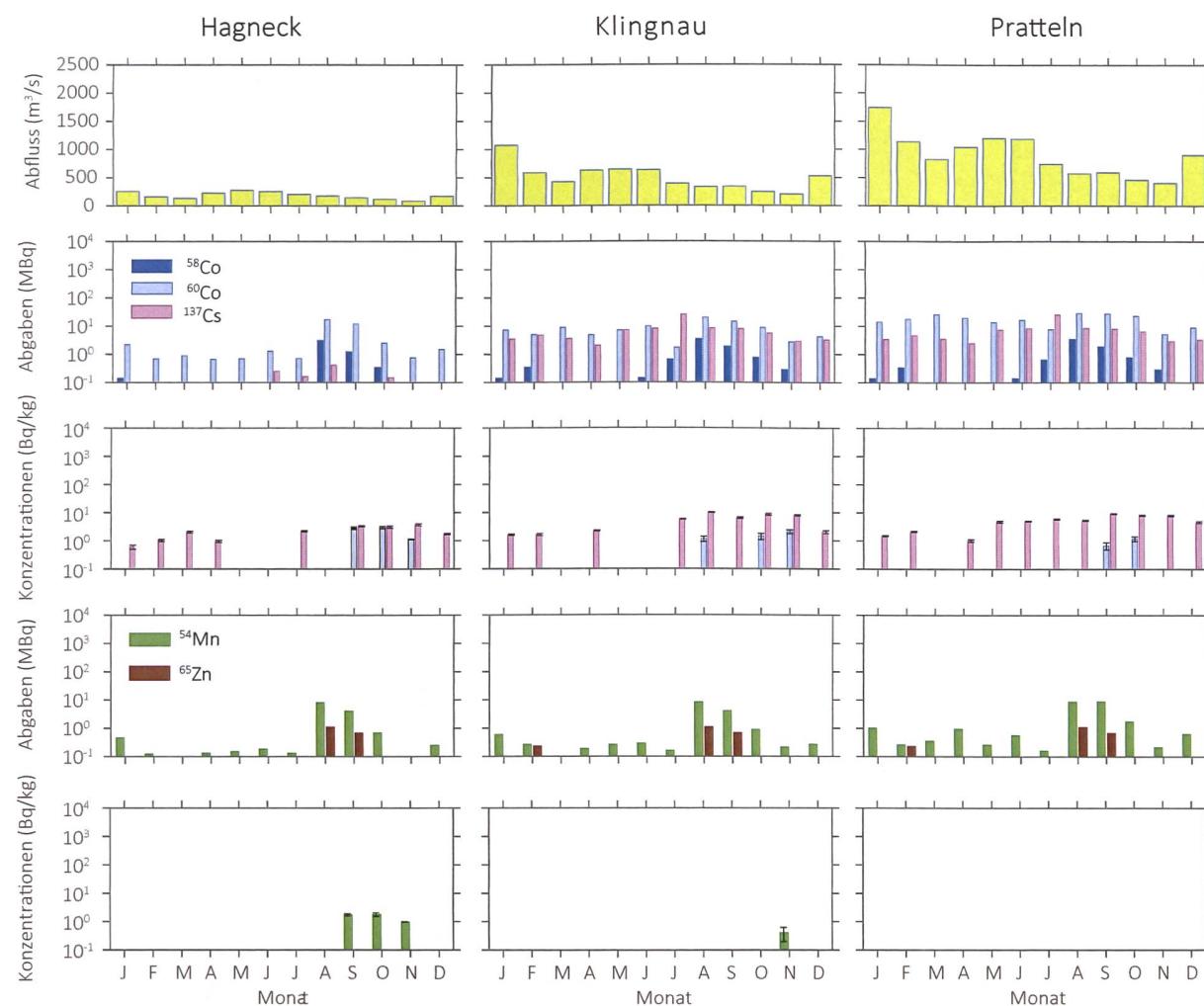
Im Jahr 2018 wurden Fische aus der Aare bei Hagneck (gefangen am 2.11.2018), bei Schönenwerd (28.11.2018), dem Klingnauer Staubecken (14.8.2018) und dem Rhein bei Birsfelden (5.12.2018) analysiert. Bei allen Fischproben wurde natürliches ^{40}K gefunden (645 - 973 Bq/kg). Künstliche Radionuklide wurden keine nachgewiesen.

Wasserpflanzen

Es wurden Wasserpflanzen (*Elodea*) bei den verschiedenen Überwachungsstationen entnommen und analysiert:

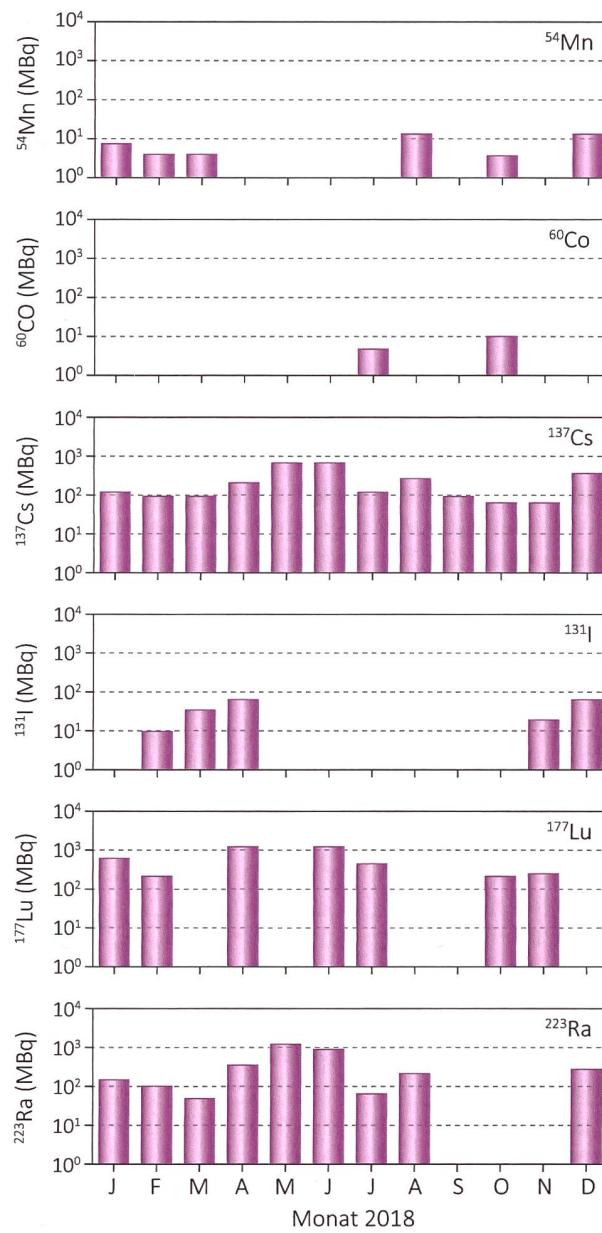
- In der Probe vom Wehr bei Hagneck (17.10.2018) wurden ^{54}Mn (0.8 Bq/kg), ^{60}Co (1.2 Bq/kg) und ^{137}Cs (1.9 Bq/kg) gefunden.
- In der Probe vom Klingnauer Staubecken (17.10.2018) wurden ^{60}Co (3.5 Bq/kg), ^{131}I (1.8 Bq/kg) und ^{137}Cs (4.5 Bq/kg) gefunden.
- In der Probe von Pratteln (17.10.2018) wurde ^{137}Cs (2.3 Bq/kg) gefunden.

Abgesehen von künstlichen Radionukliden wurde in allen Proben ^{40}K gemessen (412 - 771 Bq/kg).



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 Nachweisgrenze der jeweiligen Messung erreicht wurde (typische Nachweisgrenze für alle Nuklide in der Figur: 0.4 - 1.4 Bq/kg). Die Fehlerbalken zeigen den Standardmessfehler der spezifischen Aktivitäten.



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.

Grundwasser

In der Grundwasserprobe von Döttingen (20.6.2018) wurde ^{137}Cs im gemessenen Gammaspektrum identifiziert. Das ^{137}Cs -Messsignal war allerdings sehr gering und der ermittelte Messwert lag unter der Nachweisgrenze von 1.6 mBq/L. In den Grundwasserproben von Aarberg und Pratteln (ebenfalls 20.6.2018) wurden keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen (Nachweisgrenzen 0.1 bzw. 5 mBq/L).

4.5

URAnet aqua: Automatisches Messnetz Flusswassers

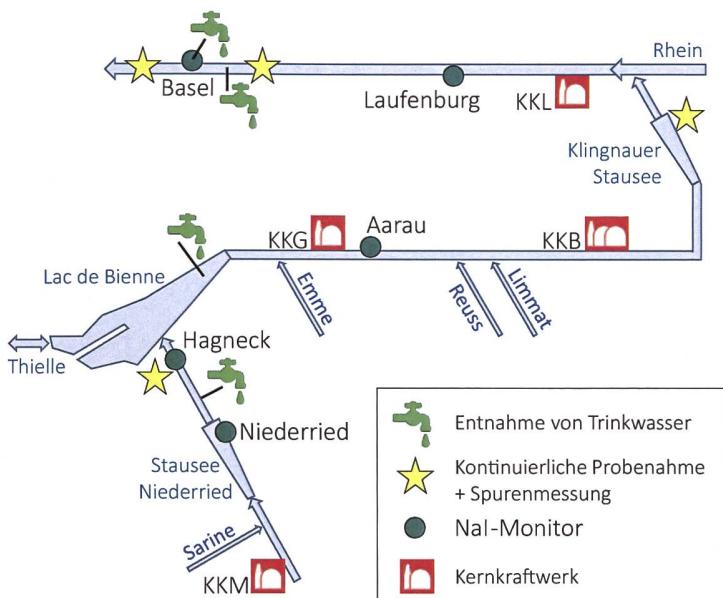
P. Steinmann, M. Müller, S. Estier
Sektion Umweltradioaktivität, URA / BAG, Bern

Zusammenfassung

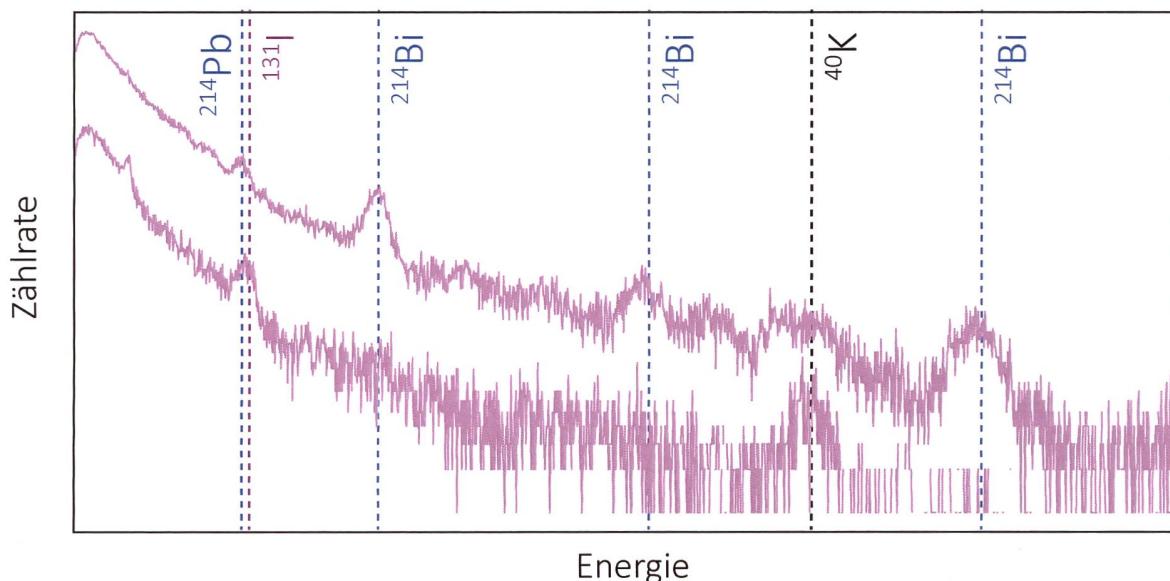
Die fünf automatischen Natrium-Iodid-Sonden des Messnetzes URAnet aqua messen fortlaufend die Konzentration von Gammastrahlern in Aare und Rhein und übermitteln alle 10 Minuten einen Messwert. Künstliche Radionuklide konnten im Berichtsjahr im Flusswasser nicht nachgewiesen werden. Die Verfügbarkeit der Messsonden war mit mehr als 99% bei allen Sonden 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 beiden Sonden bei Niederried und Hagneck messen zwischen dem KKW Mühleberg und dem Bielersee, welcher ein wichtiges Trinkwasserreservoir für die Stadt Biel ist. Um eine möglichst lückenlose Messung zu gewährleisten bestehen in diesem Abschnitt zwei Messstandorte. Flussabwärts des Kernkraftwerks Gösgen sowie der beiden relativ nahe beieinander liegenden Standorte Beznau und Leibstadt sind zwei weitere Sonden installiert (Aarau und Laufenburg). Eine fünfte Sonde überwacht das von IWB für die Trinkwasserversorgung der Stadt Basel aus dem Rhein entnommene Wasser. Auch hier befinden sich also zwei Messsonden zwischen dem letzten Kernkraftwerk und der Trinkwasserentnahme. Die Aufgabe der neuen automatischen Messsonden ist es starke Erhöhungen von Radioaktivität im Flusswasser rasch zu erkennen. Die tiefe Nachweisgrenze erlaubt es eine untere Meldeschwelle in Grössenordnung der Immissionsgrenzwerte für Gewässer aus der revidierten Strahlenschutzverordnung zu setzen. Für ^{137}Cs , ^{60}Co und ^{131}I



Figur 1:
Standorte der Nal-Monitore, EAWAG-Stationen für Spurenmessungen (Hagneck, Klingnau und Pratteln), Rheinüberwachungsstation RÜS Weil a.Rh., Entnahmestellen von Trinkwasser aus Bielersee und Rhein (Pratteln und Basel) sowie aus Uferfiltrat (Aare vor Bielersee).



Figur 2:

Nal-Spektren aus Messungen in einer Abwasserreinigungsanlage. Das untere Spektrum zeigt ^{131}I aus einem Spital. Das obere Spektrum zeigt die Radontöchter ^{214}Pb und ^{214}Bi .

ist die untere Meldeschwelle auf 10 Bq/l gesetzt. Eine zweite Schwelle mit Alarmauslösung basiert auf dem Dosisgrenzwert für Personen aus der Bevölkerung von 1 mSv/Jahr. Die Überlegung dabei ist, dass bei der Nutzung des Flusswassers als Trinkwasser der Dosisgrenzwert eingehalten ist, wenn getroffene Massnahmen spätestens nach einem Monat greifen. Für ^{137}Cs und ^{60}Co liegt die obere Radioaktivitätsschwelle bei 500 Bq/l; für ^{131}I etwas tiefer bei 250 Bq/l. Bei Überschreitung der unteren Meldeschwelle wird die zuständige Stelle am BAG sowie die Nationale Alarmzentrale (NAZ) benachrichtigt. Das BAG verifiziert die Messwerte und eruiert die Ursache einer allfälligen Kontamination. Die NAZ informiert die betroffenen Kantone. Bei Überschreitung der zweiten Schwelle ordnet die NAZ nach Rücksprache mit dem BAG die nötigen Massnahmen an. Die automatischen Messsonden sind komplementär zu den monatlichen Messungen der EAWAG (siehe Figur 1), welche mit einer mehr als tausendmal tieferen Nachweisgrenze auch geringste Abgaben der Kernkraftwerke erfassen können.

Messtechnik

Die eingesetzten Sonden enthalten 3“ Nal-Detektoren, welche im Wasser eine «Sichtweite» von rund einem Meter haben. Die Nal-Kristalle registrieren die Gammastrahlung und die Sonde zeichnet ein Energiespektrum auf. Alle 10 Minuten werden die 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]. Beim Nachweis von tiefen Konzentrationen von ^{131}I ist eine genauere Analyse nötig, da die stärkste Gammalinie von ^{131}I (Energie 364 keV) nahe bei der stärksten Linie des natürlichen ^{214}Pb (352 keV) liegt. Im Spektrum überlagern sich die beiden Linien, da die Auflösung von Nal-Detektoren deutlich schlechter ist als jene der im Labor verwendeten Ge-Kristalle. Zudem ist die Energiekalibrierung bei Nal-Kristallen (abhängig von der Temperatur) weniger stabil, so dass die Radontochter ^{214}Pb bisweilen als künstliches ^{131}I identifiziert wird. Die in Figur 2 gezeigten Spektren von Messungen in einer ARA illustrieren diesen Punkt. Im unteren Spektrum kann mit Sicherheit ^{131}I identifiziert werden, das aus der Abgabe eines Spitals stammt. Die gemessene Aktivität beträgt 6 Bq/l. Das obere Spektrum zeigt ebenfalls einen Peak in der Region 360 keV. Dieser ist aber dem ^{214}Pb zuzuordnen, einerseits aufgrund der etwas tieferen Energie und andererseits dadurch, dass alle wichtigen Linien der Radontöchter ^{214}Pb und ^{214}Bi sichtbar sind.

Verfügbarkeit der Messsonden und Messergebnisse 2018

Die Verfügbarkeit der Sonden, d.h. das Vorhandensein von 10-Minuten-Spektren, ist in Tabelle 1 zusammengefasst. Generell sind diese Werte sehr hoch. Die "Uptime" entspricht jener Zeit, in der die Alarmfunktion des Messnetzes gewährleistet war. Werte von 99.9% und 100% bedeuten, dass die Sonden nur wenige Stunden im Jahr nicht einsatzbereit waren und zwar während den jährlichen Messungen zur Konstanzprüfung oder bei der Reinigung. Einzig bei der Sonde in Aarau ist es zu einem längeren Ausfall gekommen (3 Tage zwischen 13. und 16. November). Etwas höher ist der Anteil fehlender Werte bei den auf radenviro.ch publizierten Tagesmittelwerten. Der Grund dafür ist, dass beim Fehlen eines einzigen 10-Minuten-Wertes kein Tagesmittelwert gerechnet wird. Die Nal-Detektoren des URAnet aqua Messnetzes konnten 2018 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.

Tabelle 1:
Verfügbarkeit (Uptime) der
Nal-Wassersonden im Jahr 2018

Station	Uptime	Inbetriebnahme
Niederried	99.9%	Juni 2014
Hagneck	100.0%	Juni 2015
Aarau	99.0%	Juni 2014
Laufenburg	99.9%	Januar 2015
Basel	100.0%	Juli 2013

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.

4.6

Tritium-Monitoring in der Aare

Th. Stocker, R. Purtschert, P. Dürring, H.P. Moret und T. Wagner

Abt. Klima- und Umweltphysik, Physikalisches Institut Universität Bern, Sidlerstrasse 5, BERN

Zusammenfassung

Im Jahr 2018 setzte die Abteilung für Klima- und Umweltphysik (KUP) der Universität Bern das Monitoring von Tritium (${}^3\text{H}$) in Fließgewässern des Kantons Bern fort, welches im Januar 2017 im Auftrag der BKW Energie AG (BKW) und des Kantons Bern sowie mit Unterstützung des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) begonnen wurde. Um ein vollständigeres Bild des gesamten Tritiumeintrags im Raum Bern zu erhalten, wurde das Messprogramm im Vergleich zum Vorjahr um mehrere neue Probenahmestationen erweitert. Im Jahr 2018 wurden die höchsten Werte in Proben aus dem Raum Niederwangen gemessen.

Hintergrund

Tritium ist eines der Radionuklide, die in der Schweiz durch das BAG überwacht werden. Im Hinblick auf die Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg (KKM) am 20.12.2019 besteht von verschiedener Seite her ein Interesse Tritium (${}^3\text{H}$) im Wasser der Aare in hoher zeitlicher Auflösung zu messen. Um den bisherigen Normalzustand vor der Stilllegung des KKM bezüglich Tritium in den Fließgewässern zu charakterisieren, führt die KUP seit Anfang 2017 Tritium-Messungen durch, die eine Detektion von allfälligen späteren Veränderungen ermöglichen. Tritium wird dabei jährlich in mehr als 900 Wasserproben gemessen.

Probenahmen

Im Jahr 2018 wurde im Rahmen dieses Monitorings Aarewasser an drei Standorten entnommen:

- Aare flussaufwärts vom KKM (Standort Eymatt am Wohlensee)
- Aare flussabwärts vom KKM (Standort Mühleberg-Rewag)
- Aare Wynau (kurz vor dem endgültigen Verlassen der Aare des Kantons Bern)

Zusätzlich wurden zwei Trinkwasserfassungen, welche hauptsächlich von Aarewasser gespeist werden, beprobt (Wasserverbund Seeland Gimmiz/Worben). Tritium wurde auch an Einzelproben im Wasser von drei Referenzstandorten untersucht:

- Aare am Altenbergsteg Bern (monatliche Einzelproben)
- Emme an der Heimiswilbrücke Burgdorf (monatliche Einzelproben)
- Aare Thun (Wochenmischproben seit Sommer 2018)

Darüber hinaus wurden Niederschlagsproben vom Dach des Physikalischen Instituts der Universität Bern untersucht.

Da sich in Niederwangen, ca. 10 km südwestlich des KKM, mit der Firma MB Microtec einer der grössten Tritium-Emittenten der Schweiz befindet, wurden im Jahr 2018 auch Tritium-Messungen im dortigen Niederschlag sowie im Wasser des Stadtbachs in Niederwangen und (ab November 2018) des Gäbelbachs durchgeführt.

Tabelle 1 enthält Einzelheiten zu den Messungen, die 2018 durchgeführt wurden.

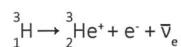
Die täglichen Probenahmen aus der Aare an den Standorten Eymatt und Mühleberg erfolgten mit Hilfe von automatischen Probenahmern vom Typ ISCO 6712, welche in Abständen von je 30 Minuten einige Milliliter Flusswasser in Probeflaschen abfüllen, sodass jede Probeflasche eine Mischprobe eines 24-Stunden-Intervalls enthält.

Der Standort Thun wurde im Sommer 2018 in Betrieb genommen, um den Tritiumeintrag der Aare im Oberstrombereich des Grossraums Bern zu bestimmen. So soll eine Baseline noch vor einer allfälligen Erhöhung des Tritium-Gehalts der Aare, die möglicherweise im Grossraum Bern durch das KKM und/oder MB Microtec verursacht wird, etabliert werden. Es wurden Wochenmischproben gemessen, die sich aus jeweils 28 Einzelproben zusammensetzten (4 Proben pro Tag x 7 Tage).

Im Raum Niederwangen wurden wöchentliche Stichproben aus dem Stadtbach entnommen. Darüber hinaus wurde in Niederwangen ein Regensammler installiert. Die Intervalle zwischen den Regenmessungen variieren je nach Niederschlagsmenge und liegen zwischen wenigen Tagen und mehreren Wochen.

Nachweis und Messung des Tritiumgehalts

Der Tritiumgehalt der Wasserproben wurde indirekt über den radioaktiven Zerfall des in den Proben enthaltenen Tritiums bestimmt. Tritiumkerne sind instabil und zerfallen mit einer Halbwertszeit von $4'500 \pm 8$ Tagen (12.32 Jahren) unter Emission eines Elektrons und eines Antineutrinos in das Heliumisotop ^3He (Beta-Minus-Zerfall):



Zum Nachweis und zur Ladungsmessung der in den Wasserproben emittierten Elektronen kam wie im Vorjahr ein Liquid-Szintillationsmessgerät vom Typ Aloka LSC-LBIII zum Einsatz, welches im Tieflabor des Physikalischen Instituts der Universität Bern installiert ist. Die Nachweigrenze liegt bei 4 Tritium Units (entsprechend 0.47 Bq/L), womit auch die natürliche Hintergrundaktivität von ^3H im Niederschlag bestimmt werden kann. Für die im vorliegenden Kapitel verwendete Einheit «Tritium Unit» (TU) gilt: 1 Bq/L entspricht 8.47 TU.

Messergebnisse Januar bis Dezember 2018

Standorte Eymatt und Mühleberg (Aare)

Die Tritium-Messwerte (Figur 1) von Wasser der Standorte Eymatt und Mühleberg bewegten sich relativ stabil in einem Band zwischen 5 und 15 TU (entsprechend 0.5 - 2 Bq/L). Nur gelegentlich wurden höhere Werte bis maximal 23 TU gemessen, die in der Regel mit einer eher geringen Schüttung der Aare korrelierten. In der zweiten Jahreshälfte ist ein Trend hin zu erhöhten Werten und auch eine grösitere Variabilität festzustellen.

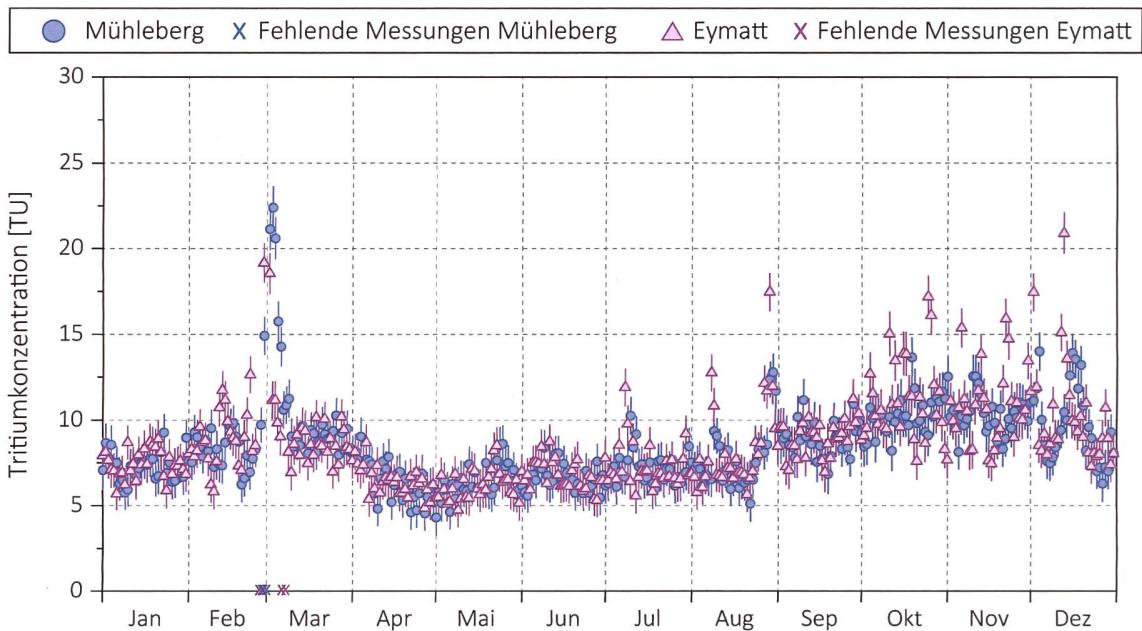
Standorte Kornhausbrücke (Aare Bern) und Heimiswilbrücke (Emme Burgdorf)

An diesen beiden Standorten (Figur 2) wurden keine signifikant erhöhten Messwerte festgestellt, es ist jedoch ebenfalls ein leicht ansteigender Trend zu erkennen.

Tabelle 1:

Tritium-Messungen Januar bis Dezember 2018 nach Art oder Entnahmestandort der Probe

Art oder Entnahmestandort der Probe	Anzahl
Aare Eymatt	365
Aare Mühleberg Rewag	365
Aare Wynau	39
Aare Thun	19
Referenzstation Aare Kornhausbrücke	12
Referenzstation Emme Heimiswilbrücke	12
Niederschlag Physikalisches Institut	12
Niederschlag Niederwangen	18
Stadtbach Niederwangen	44
Gäbelbach Eymattstrasse	6
Gimmiz/Worben	24
Standards/Nulleffekt/Vergleichsmessungen	65
Total: 981	



Figur 1:
Tritium-Messwerte Eymatt und Mühleberg (2018).

Standort Wynau (Aare)

Auch in Wynau (Figur 3) wurde ein leicht ansteigender Trend festgestellt.

Standort Thun (Aare)

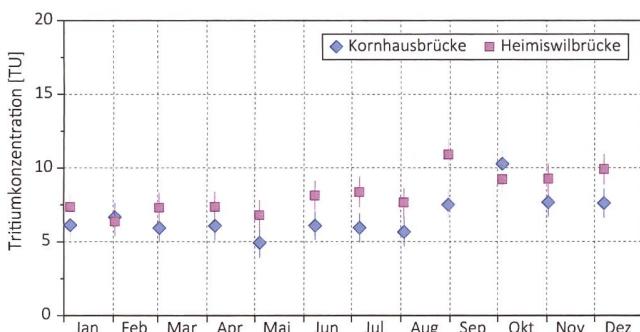
Der Standort Thun (Figur 4) dient als Referenzstation vor einem allfälligen Tritiumeintrag im Raum Bern. Die Werte liegen generell ca. 1-2 TU tiefer als an den Standorten Eymatt und Mühleberg.

Standorte Gimmiz (Grundwasser)

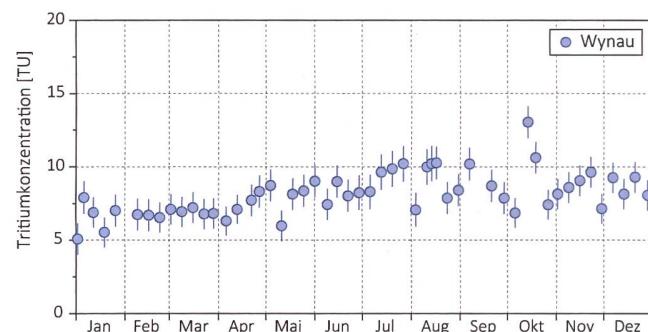
Im Raum Gimmiz wurden 2018 die beiden Wasserfassungen Gimmiz 3 und Römerstrasse (Figur 5) beprobt. Der Tritiumgehalt der Wasserfassung Römerstrasse entspricht dem des Aarewassers. Am Standort Gimmiz 3 wurden erhöhte Werte gemessen. Dies ist auf einen erhöhten Anteil von lokal infiltriertem Niederschlag zurückzuführen, welcher im Raum Bern mit Tritium angereichert wurde.

Standort Physikalisches Institut, Stadt Bern (Regenwasser)

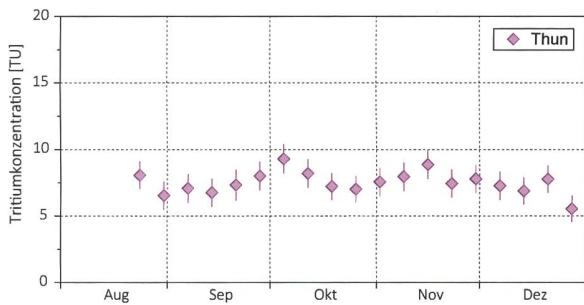
Die Tritiumkonzentration im Niederschlag im Raum Bern ist generell höher als in der Aare und auch höher als in Niederschlägen anderenorts in der Schweiz. Das liegt an lokalen gasförmigen Emissionen (siehe Kapitel 9.3). Die im Jahr 2018 gemessenen Proben liegen im Bereich 10- 90 TU (entsprechend 1- 11 Bq/L; Figur 6).



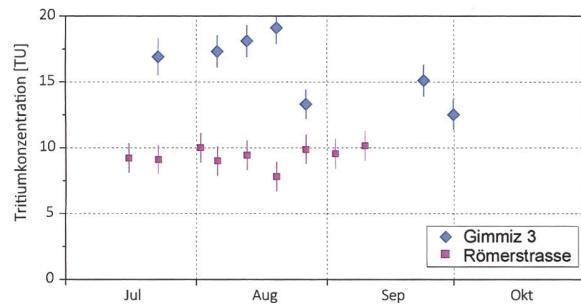
Figur 2:
Tritium-Messwerte an den Standorten Kornhausbrücke und Heimiswilbrücke (monatliche Einzelproben - 2018).



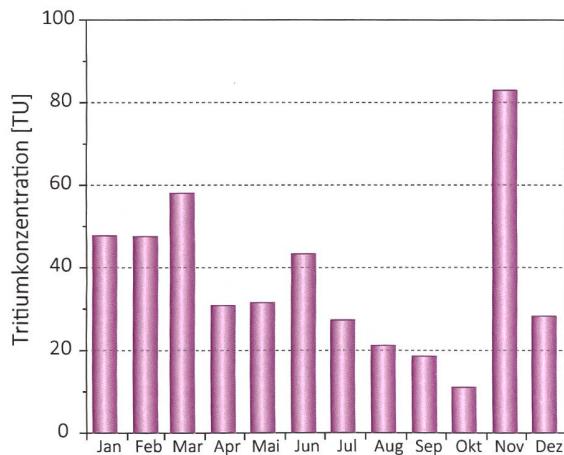
Figur 3:
Tritium-Messwerte am Standort Wynau (wöchentliche Einzelproben - 2018).



Figur 4:
Tritium-Messwerte am Standort Thun
(Wochenmischproben - 2018).



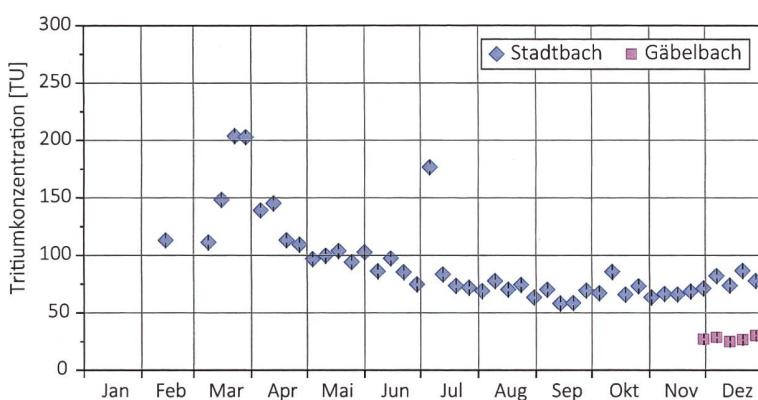
Figur 5:
Tritium-Messwerte der Wasserfassungen Gimmiz 3 und Römerstrasse (Einzelproben - 2018).



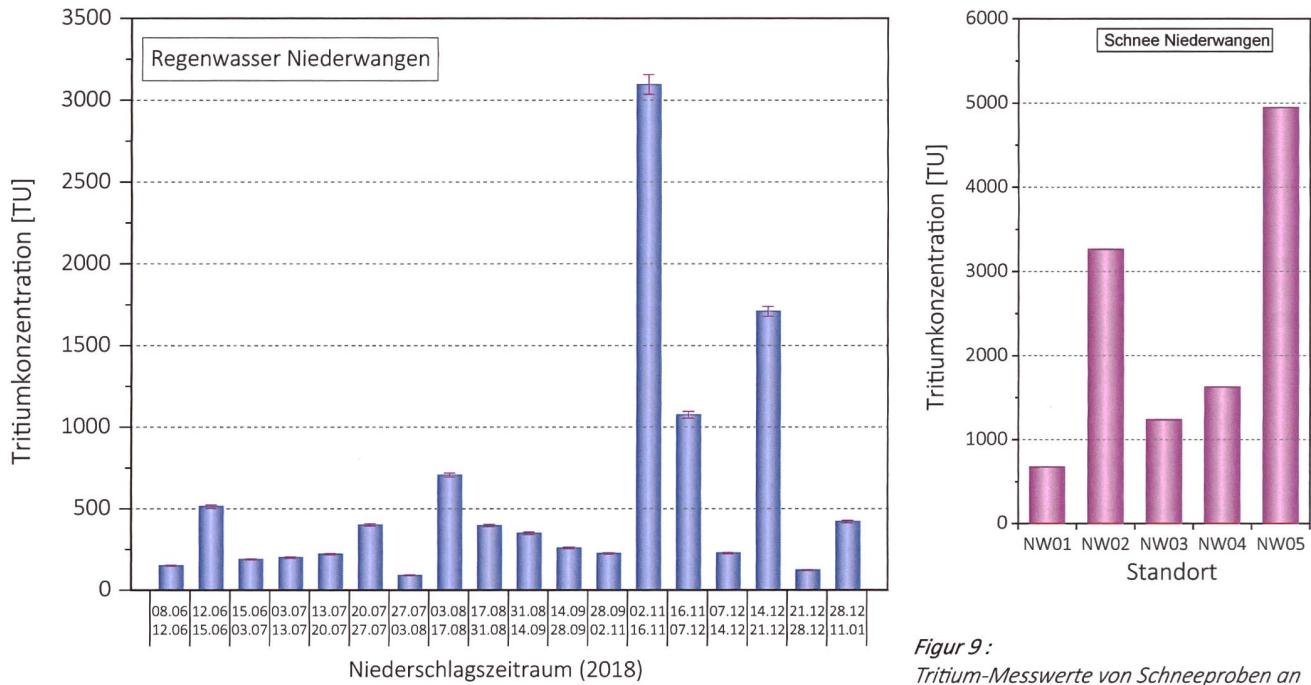
Figur 6:
Tritium-Messwerte von Regenwasser des Physikalischen Instituts der Universität Bern (Monatsproben - 2018).

Standorte Niederwangen

Im Raum Niederwangen wurden im Jahr 2018 insgesamt 50 Messungen am Wasser des Stadtbachs (seit Februar 2018) und des Gäbelbachs (seit Ende November 2018) sowie 23 Messungen am lokalen Nie (seit Juni 2018) durchgeführt; siehe Figuren 7, 8 und 9. Der absolute Höchstwert von annähernd 5'000 TU (590 Bq/L) wurde an einer Schneeprobe gemessen, die am 20.12.2017 auf einem abgeernteten Feld unweit der Firma MB Microtec gesammelt wurde. Ansonsten betrugen die höchsten Messwerte bei Schnee- (Figur 9) oder Regenwasserproben (Figur 8) ca. 3'000 TU (350 Bq/L), beim Wasser des Stadtbachs ca. 200 TU (24 Bq/L). Das Wasser des Gäbelbachs wies relativ stabile Werte im Bereich zwischen 25 und 30 TU (3-3.5 Bq/L) auf.

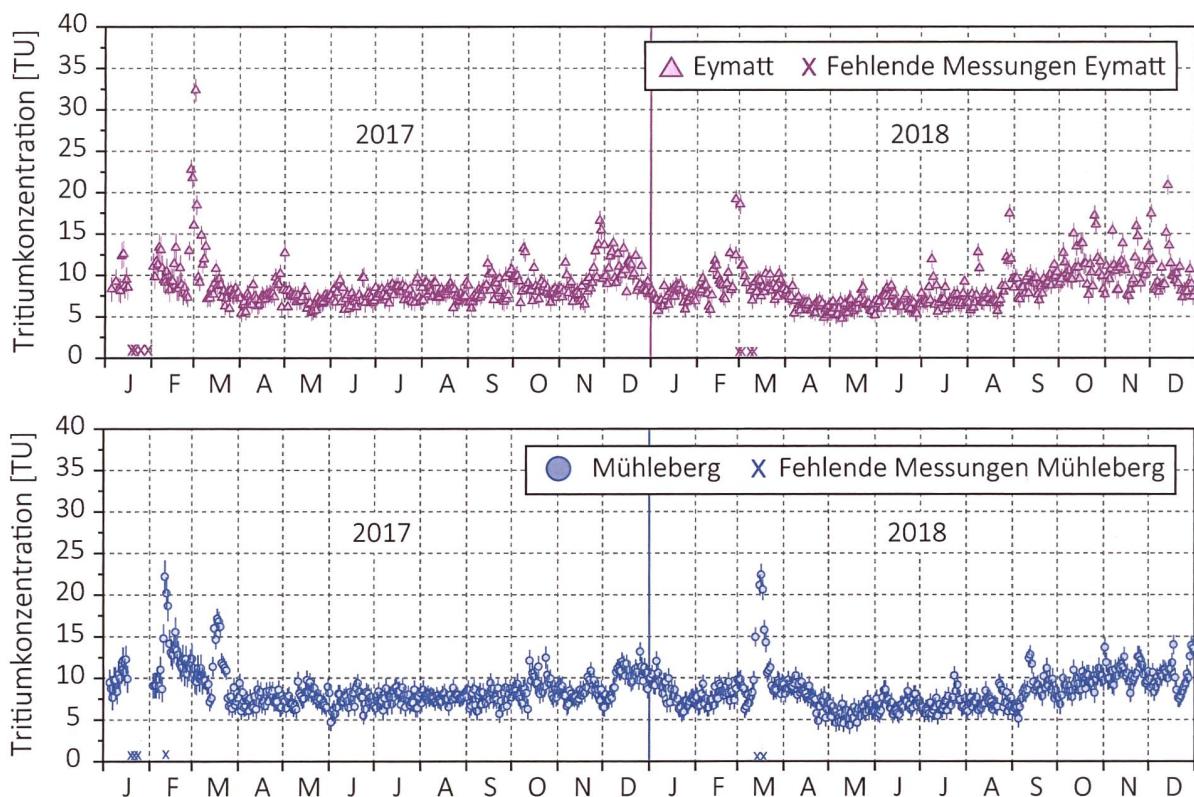


Figur 7:
Tritium-Messwerte am Stadtbach Niederwangen sowie am Gäbelbach Eymatt (wöchentliche Einzelproben - 2018).

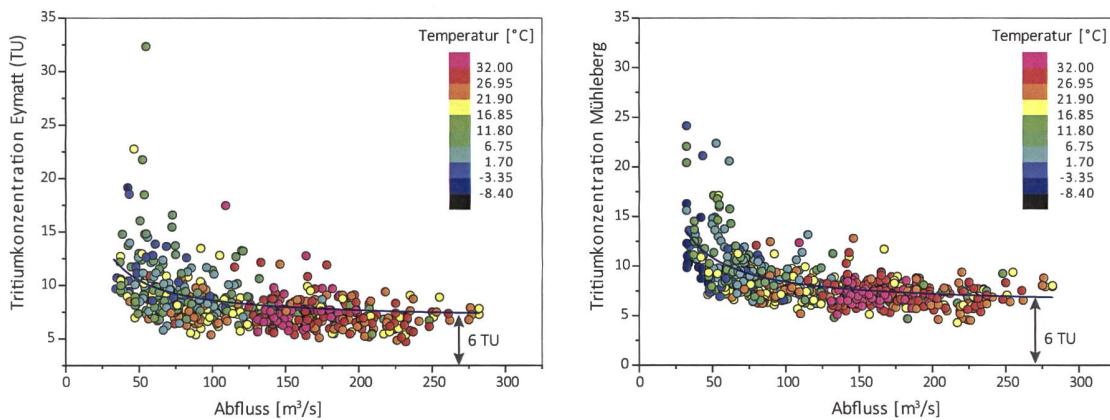


Figur 8:
Tritium-Messwerte im Regenwasser Niederwangen (Probenahme jeweils nach ausreichender Niederschlagsmenge).

Figur 9:
Tritium-Messwerte von Schneeproben an fünf verschiedenen Standorten im Raum Niederwangen (Stichproben Ende Dezember 2017).



Figur 10:
Überblick über die bisherigen hochauflösenden Messungen seit Messbeginn.



Figur 11:

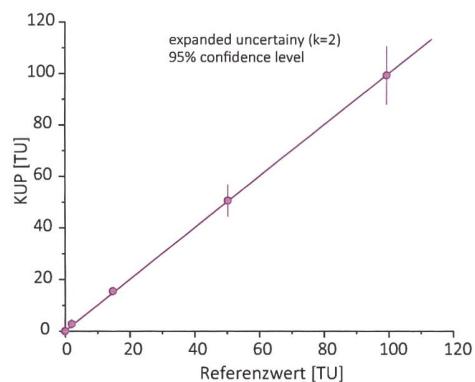
Abhängigkeit der Tritiumkonzentration von der Aareschüttung bei den Stationen Eymatt und Mühlberg (Messzeitraum 2017-2018). Die zum Probenahmezeitpunkt herrschende Lufttemperatur (Meteostation Bern) ist farblich dargestellt. Ebenfalls eingezeichnet sind Regressionslinien für einen kontinuierlichen Jahreseintrag von 1 TBq/Jahr und einer Basiskonzentration von 6 TU.

Interpretation der bisherigen Aarewassermessungen

Die seit Messbeginn (1. Januar 2017) erhaltenen Tritiumwerte der beiden Aarewasserstationen Eymatt und Mühlberg sind in Figur 10 und 11 dargestellt. In beiden Jahren konnten Perioden erhöhter Aktivität beobachtet werden, die synchron bei beiden Stationen auftraten und auch vergleichbare Amplituden aufwiesen. Die im Jahr 2018 in Thun begonnene Messreihe weist darauf hin, dass die Quelle dieser Aktivitätsspitzen im Raum Bern liegen muss. Eine eingehendere Analyse zeigt, dass die Tritiumwerte stark mit der Aareschüttung korrelieren. Die höchsten Tritiumwerte treten bei tiefem Aareabfluss auf (Figur 11). Da dieser bei Frostperioden besonders tief ist, treten die Aktivitätsspitzen gehäuft in der kalten Jahreszeit auf. Leider friert bei sehr tiefen Temperaturen der automatische Probenehmer manchmal ein. Deswegen fallen die fehlenden Messungen jeweils genau in den Zeitraum mit erhöhter Aktivität (Figur 10). Eine Korrelationsanalyse ergibt, dass ein Teil der Variation (20 %) auf einen diffusen, zeitlich konstanten Tritiumeintrag von 1 TBq/Jahr zurückzuführen ist.

Ringversuch 2018 (internationaler Messvergleich)

Das Tritium-Labor der KUP nahm 2018 an einem von der International Atomic Reference Material Agency (IARMA) durchgeführten Ringversuch teil und hat diesen Proficiency-Tests mit Bestnoten bestanden (Figur 12).



Figur 12:

Ergebnisse des IARMA-Ringversuchs 2018. Fünf Proben im Aktivitätsbereich 0-100 TU wurden gemessen und mit dem Referenzwert verglichen. Alle Resultate liegen innerhalb der 95 %-Toleranzgrenze.

4.7

Radioactivité du sol et de l'herbe

P-A. Pittet, P. Froidevaux, F. Barraud, L. Pfefferlé, F. Bochud

Institut de radiophysique, CHUV, Grand Pré 1, Lausanne

S. Estier, P. Steinmann, A. Gurtner

Section de surveillance de la radioactivité, URA / OFSP, Berne

M. Zehringen

Laboratoire Cantonal de Bâle, Kannenfeldstr. 2, Basel

M. Burger, S. Röllin, R. Holzer, H. Sahli, M. Astner

Labor Spiez, Office fédéral de la protection de la population, 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 jusque dans les années soixante ainsi qu'aux retombées de l'accident de Tchernobyl.

Une attention particulière a été apportée au site de la centrale de Mühleberg, dont le fonctionnement sera stoppé à fin 2019 avant d'être ensuite démantelée. Les prélèvements ont été effectués sur sept sites et ont fait l'objet d'analyses indépendantes pour le strontium-90 (^{90}Sr), le plutonium et l'américium. Cela permettra de vérifier qu'aucune contamination de l'environnement n'intervienne lors des opérations de démantèlement.

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 cycles vivants, le calcium (pour le strontium) et le potassium (pour le césum). 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 [1]. 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 beaucoup plus rapidement que le strontium.

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 variables, telles 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 végétale, cette dernière étant notablement affectée par les conditions météorologiques (température, pluviosité) [2,3,4].

Une surveillance régulière des installations nucléaires a été mise en place depuis le début de leur exploitation et la situation radiologique de leur voisinage est bien connue. Toutefois, un programme de surveillance renforcé a débuté en 2017 pour la centrale de Mühleberg [5] qui sera mise à l'arrêt à fin 2019. Ce programme comprend des mesures supplémentaires sur 3 nouveaux sites et l'analyse indépendante de chaque échantillon provenant des 7 sites de prélèvement. Ceci permettra de mesurer l'impact radiologique éventuel des travaux de démantèlement (Tableau 3).

Résultats et discussion

Les résultats des mesures pour les sols sont présentés dans le Tableau 1. La présence du ^{90}Sr et des actinides Pu et Am est principalement due aux retombées des essais nucléaires atmosphériques des années soixante. Cette déposition ayant été amenée au sol par les précipitations, les régions connaissant une pluviosité plus importante montrent les activités les plus élevées. Ainsi, les activités en ^{90}Sr sont dans une gamme de 0.2 à 0.8 Bq/kg sur le plateau suisse tandis que des valeurs supérieures à 1 Bq/kg peuvent être observées au Tessin ou sur les sites alpins. La même tendance est observée pour les actinides, avec des activités inférieures à 0.3 Bq/kg pour le plutonium et à 0.15 Bq/kg pour l'américium sur le plateau suisse, alors que ces valeurs augmentent avec l'altitude, le point de prélèvement le plus élevé (alpage de l'Allmendhubel) montrant les activités les plus importantes. Les rapports $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ proches de 0.40 (voir le chapitre 7.2, mesures de plutonium et d'américium) confirment que cette contamination est due aux essais nucléaires des années soixante.

La situation est plus complexe dans le cas du ^{137}Cs , car le passage du nuage radioactif émis lors de l'accident de Tchernobyl en 1986 a provoqué une déposition supplémentaire dont la répartition géographique n'est pas uniforme. De fortes précipitations ayant eu lieu au Tessin lors du passage du nuage, c'est dans cette région que les dépôts les plus importants ont eu lieu et où sont mesurées actuellement les plus fortes activités, avec un marquage maximum localisé à Stabio (208 Bq/kg). Pour le ^{60}Co et le ^{134}Cs , deux radioéléments produits artificiellement dans les réacteurs nucléaires, aucune activité supérieure à la limite de détection n'a été observée. Enfin, c'est pour le ^{40}K , un des trois isotopes constituant le potassium naturel, que l'activité observée est la plus élevée.

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 , suivi du ^{7}Be , qui est formé par l'action du rayonnement solaire sur les couches supérieures de l'atmosphère. Les activités en ^{60}Co et ^{134}Cs sont restées inférieures à la limite de détection. L'activité en ^{90}Sr de l'herbe peut varier fortement selon la période de coupe pour un même site de prélèvement, l'incorporation de certains éléments (Ca, K) et radioéléments (^{137}Cs et ^{90}Sr) étant dépendante de la croissance végétale [4]. Toutefois, l'activité de l'herbe est principalement fonction de celle du sol, les valeurs les plus importantes étant observées au Tessin ou en altitude, tandis que pour les échantillons collectés sur le plateau, les activités en ^{90}Sr ne dépassent pas 1.5 Bq/kg. La même tendance est observée pour le ^{137}Cs , dont les activités les plus élevées sont mesurées au Tessin.

Le programme renforcé de surveillance du voisinage de la centrale de Mühleberg, avec une analyse distincte pour 7 sites de prélèvement, a débuté en 2017. Les premières mesures ont montré que pour les sols, les activités en ^{90}Sr , Pu et Am mesurées pour les 7 sites étaient dans la gamme des valeurs observées pour les sols prélevés sur le plateau, les différences observées d'un site à l'autre illustrant la disparité du dépôt consécutif aux essais nucléaires et potentiellement certaines activités agricoles, comme le labourage en profondeur. Les nouvelles mesures effectuées pour les échantillons collectés en 2018 (Tableau 3) confirment ces résultats, avec les activités les plus faibles pour Niederruntigen et les plus élevées pour Oberruntigen. L'activité en ^{90}Sr des herbes est du niveau de celle observée pour les autres échantillons collectés sur le plateau suisse (Tableau 2).

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 2018 (Bq/kg matière sèche, fraction < 2 mm). 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	^{40}K	^{60}Co	^{134}Cs	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$	^{241}Am
AG (Voisinage KKB)	2	416 - 455	< 0.9	< 0.7	12.7 - 15.2	0.29 ± 0.06	0.167 ± 0.015	0.065 ± 0.005
AG (KKB in-situ)	2	333 - 382			8.8 - 12.3			
AG (PSI)	1	381 ± 42	< 0.8	< 0.7	10.8 ± 1.3	0.30 ± 0.07	0.133 ± 0.013	0.052 ± 0.008
AG (PSI in-situ)	1	324 \pm 34			6.7 \pm 0.9			
AG (ZWILAG)	1	394 ± 42	< 0.7	< 0.7	10.2 ± 1.2	0.31 ± 0.08 0.36 ± 0.07	0.171 ± 0.012	0.065 ± 0.007
AG (ZWILAG in-situ)	1	352 \pm 37			7.5 \pm 1.0			
AG (Vois. KKL)	4	382 - 422	< 0.7	< 0.7	9.4 - 13.7	0.47 ± 0.11	0.201 ± 0.016	0.083 ± 0.010
AG (KKL in-situ)	4	265 - 358			6.0 - 9.7			
AG/SO (Vois. KKG)	4	371 - 488	< 0.7	< 0.5	10.1 - 14.7	0.40 ± 0.08	0.224 ± 0.015	0.109 ± 0.015
AG/SO (KKG in-situ)	4	337 - 411			7.5 - 10.1			
BE (Voisinage KKM) ¹⁾	7	395 - 735	< 0.9	< 0.7	3.5 - 12.8	0.43 ± 0.08	0.151 ± 0.013	0.057 ± 0.008
BE (KKM in-situ) ¹⁾	7	340 - 644			3.9 - 9.8			
BE (Mürren) ²⁾	1	491 ± 26	< 0.6	< 0.4	15 \pm 1	5.2 ± 0.6	0.54 ± 0.02	0.26 ± 0.05
BE (Gimmelwald)	1	311 \pm 16	< 0.5	< 0.4	16 \pm 1	3.0 ± 0.4	0.70 ± 0.02	0.24 ± 0.06
BE (Fahrni) ³⁾	1	480 ± 24	< 0.5	< 0.4	9 \pm 1	2.1 ± 0.4	0.38 ± 0.02	0.20 ± 0.05
BE (Diesse/Jura)	1	442 \pm 30	< 0.2	< 0.3	17 \pm 2	1.1 ± 0.2	0.48 ± 0.02	0.20 ± 0.05
BL (Sissach)	1	472 ± 15	< 0.2	< 0.1	10 ± 0.6	3.6 ± 0.7		
FR (Posieux)	1	419 \pm 44	< 0.6	< 0.5	5.3 ± 0.6	0.34 ± 0.12	0.206 ± 0.019	0.078 ± 0.012
FR (Posieux, in-situ)	1	342 \pm 36			5.1 ± 0.7			
GE (Vois. CERN)	5	414 - 548	< 0.9	< 0.7	2.7 - 8.1	0.25 ± 0.06	0.111 ± 0.008	0.049 ± 0.002
GE (CERN in-situ)	5	330 - 466			2.3 - 3.7			
TG (Göttingen)	1	346 \pm 37	< 0.6	< 0.6	22.7 ± 2.4	0.27 ± 0.07	0.185 ± 0.017	0.074 ± 0.008
TG (Göttingen in-situ)	1	303 \pm 32			13.8 ± 1.5			
TI (Centovalli)	1	585 ± 20	< 0.4	< 0.4	203 ± 5.6	4.5 ± 0.9		
TI (Leventina)	1	513 ± 20	< 0.3	< 0.3	32 ± 1.3	1.7 ± 0.3		
TI (Malcantone)	1	622 \pm 26	< 0.3	< 0.2	55 ± 1.9	4.9 ± 1.0		
TI (Cadenazzo)	1	593 ± 62	< 0.7	< 0.7	60.3 ± 6.1	0.69 ± 0.30 0.59 ± 0.09	0.066 ± 0.006	0.039 ± 0.006
TI (Cadenazzo – In-situ)	1	578 \pm 59			51.9 ± 5.4			
TI (Caslano)	1	673 ± 70	< 0.7	< 0.7	84.3 ± 8.5	0.57 ± 0.08	0.104 ± 0.007	0.050 ± 0.006
TI (Caslano – in-situ)	1	550 \pm 56			45.2 ± 4.7			
TI (Stabio)	1	620 ± 65	< 0.7	< 0.7	208 ± 21	1.59 ± 0.19	0.536 ± 0.027	0.300 ± 0.020
TI (Stabio – In situ)	1	573 \pm 59			139 ± 14			

n = nombre d'échantillons;

¹⁾ avec 3 nouveaux sites de collecte d'échantillons depuis 2017 pour la surveillance du démantèlement;

²⁾ alpage (Allmendhubel, 1'900 m); ³⁾ bord des alpes (850 m).

Remarque: Les résultats des mesures in situ sont représentatifs de l'activité moyenne du sol sur une surface d'environ 300 m², alors que les mesures en laboratoire permettent la détermination précise de l'activité du sol au point de prélèvement.

Tableau 2 :

Activité en ^{7}Be , ^{40}K , ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{137}Cs et ^{90}Sr dans des échantillons d'herbe prélevés en Suisse en 2018 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	^{7}Be	^{40}K	^{60}Co	^{134}Cs	^{137}Cs	^{90}Sr
AG (Voisinage KKB)	4	65 - 125	538 - 1'173	< 1.2	< 1.0	< 1.0	0.6 ± 0.1 ⁴⁾ 0.9 ± 0.1 ⁵⁾
AG (PSI)	2	95 - 302	503 - 512	< 1.0	< 0.8	0.5 - 0.8	0.8 ± 0.1 ⁴⁾ 1.5 ± 0.1 ⁵⁾
AG (ZWILAG)	2	78 - 367	664 - 962	< 1.5	< 1.4	< 1.5	0.6 ± 0.1 ⁴⁾ 0.5 ± 0.1 ⁵⁾
AG (Voisinage KKL)	8	34 - 431	355 - 929	< 1.5	< 1.3	0.4 - 2.1	1.1 ± 0.1 ⁴⁾ 1.2 ± 0.2 ⁵⁾
AG/SO (Voisinage KKG)	8	69 - 365	528 - 1'542	< 1.9	< 1.3	0.5 - 1.0	0.6 ± 0.1 ⁴⁾ 1.3 ± 0.1 ⁵⁾
BE (Voisinage KKM) ¹⁾	14	56 - 472	706 - 1'320	< 2.1	< 1.4	< 1.4	0.6 ± 0.1 ⁴⁾ 0.7 ± 0.1 ⁵⁾
BE (Lauterbrunnen)	1	4 ± 0	613 ± 33	< 0.9	< 0.5	1.0 ± 0.1	0.4 ± 0.1
BE (Mürren) ²⁾	1	183 ± 14	590 ± 26	< 0.4	< 0.3	< 0.4	7.5 ± 0.9
BE (Gimmelwald)	1	255 ± 20	479 ± 21	< 0.4	< 0.3	< 0.3	2.0 ± 0.3
BE (Fahrni) ³⁾	2	69 ± 6 ⁴⁾ 221 ± 17 ⁵⁾	750 ± 41 ⁴⁾ $1'280 \pm 56$ ⁵⁾	< 0.9 ⁴⁾ < 0.6 ⁵⁾	< 0.5 ⁴⁾ < 0.4 ⁵⁾	< 0.7 ⁴⁾ 0.4 ⁵⁾	2.1 ± 0.2 ⁴⁾ 2.9 ± 0.4 ⁵⁾
BE (Diede/Jura)	2	110 ± 8 ⁴⁾ 228 ± 18 ⁵⁾	$1'150 \pm 51$ ⁴⁾ 574 ± 25 ⁵⁾	< 0.4 ⁴⁾ < 0.4 ⁵⁾	< 0.3 ⁴⁾ < 0.3 ⁵⁾	< 0.3 ⁴⁾ < 0.3 ⁵⁾	0.5 ± 0.1 ⁴⁾ 0.7 ± 0.1 ⁵⁾
BL (Sissach)	1		580 ± 22	< 0.5	< 0.3	0.36 ± 0.22	1.5 ± 0.3
GE (Voisinage CERN)	4	155 - 328	325 - 1'049	< 1.5	< 1.4	< 0.9 - 1.4	1.2 ± 0.1 ⁵⁾
FR (Posieux)	2	36 - 122	1'124 - 1'137	< 1.4	< 1.2	< 1.2	0.9 ± 0.1 ⁴⁾ 0.3 ± 0.3 ⁵⁾
TG (Güttingen)	2	45 - 144	1'215 - 1'305	< 2.2	< 1.8	< 1.9	0.5 ± 0.1 ⁴⁾ 0.5 ± 0.1 ⁵⁾
TI (Centovalli)	1		478 - 19	< 0.3	< 0.3	5.0 ± 0.4	
TI (Leventina)	1		951 - 38	< 0.2	< 0.1	2.3 ± 0.6	
TI (Malcantone)	1		558 - 14	< 0.2	< 0.2	1.1 ± 0.3	
TI (Cadenazzo)	2	126 - 163	708 - 1'141	< 2.1	< 1.6	1.2 ± 0.9 ⁵⁾ 2.8 ± 0.6 ⁶⁾	1.9 ± 0.2 ⁴⁾ 3.1 ± 0.3 ⁵⁾
Ti (Stabio)	1	134 ± 19	865 ± 98	< 2.1	< 1.6	10.6 ± 1.7	1.6 ± 0.2 ⁵⁾

¹⁾ = nombre d'échantillons; ²⁾ avec 3 nouveaux sites de collecte d'échantillons depuis 2017, programme renforcé pour la surveillance du démantèlement; ³⁾ alpage (Allmendhubel); ⁴⁾ bord des alpes, 850 m; ⁵⁾ coupe de printemps; ⁶⁾ coupe d'automne.

Tableau 3 :

Activités en ^{90}Sr , Pu et Am dans des sols (0 - 5 cm, fraction < 2 mm) et en ^{90}Sr dans les herbes, prélevés en 2018 sur sept sites autour de Mühleberg (Bq/kg matière sèche).

Site	^{90}Sr (sol)	$^{239+240}\text{Pu}$	^{241}Am	^{90}Sr (herbe)	
				printemps	automne
Rewag	0.22 ± 0.05	0.165 ± 0.013	0.060 ± 0.005	0.21 ± 0.04	0.31 ± 0.07
Salvisberg	0.44 ± 0.08	0.149 ± 0.013	0.067 ± 0.010	0.62 ± 0.06	0.80 ± 0.09
Ufern Horn	0.77 ± 0.08	0.179 ± 0.020	0.078 ± 0.012	0.90 ± 0.12	0.80 ± 0.12
Niederruntigen	0.21 ± 0.05	0.027 ± 0.007	0.014 ± 0.001	0.52 ± 0.06	0.58 ± 0.11
Oberruntigen	0.63 ± 0.11	0.262 ± 0.017	0.101 ± 0.008	0.77 ± 0.08	0.84 ± 0.09
Fuchsenried	0.43 ± 0.10	0.129 ± 0.011	0.042 ± 0.009	0.82 ± 0.08	1.09 ± 0.11
Clôture KKW	0.33 ± 0.10	0.145 ± 0.012	0.040 ± 0.009	0.45 ± 0.08	0.66 ± 0.07
Plateau suisse (min-max) ¹⁾	0.21 - 0.77	0.027 - 0.262	0.014 - 0.109	0.21 - 1.10	0.31 - 1.46

¹⁾ Selon les tableaux 1 et 2

Conclusions

Les mesures de la radioactivité dans les sols et les herbes en Suisse en 2018 présentent des valeurs 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 du plateau, centrales nucléaires incluses. 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 est encore observé plus de trente ans après l'accident de Tchernobyl.

Le programme de surveillance renforcé de la centrale de Mühleberg a été poursuivi et permettra de déceler un éventuel impact des travaux de démantèlement.

Références

- [1] voir chapitre «Mesures de ^{90}Sr , de ^{210}Po et de ^{226}Ra dans les vertèbres et de ^{90}Sr dans les dents de lait».
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Froidevaux, P. et al., chap. 4.6 de «Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnement en Suisse», 2005, OFSP.
- [5] Estier, S. et al., chap. 3.1 de «Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnement en Suisse », 2017, OFSP.

