

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

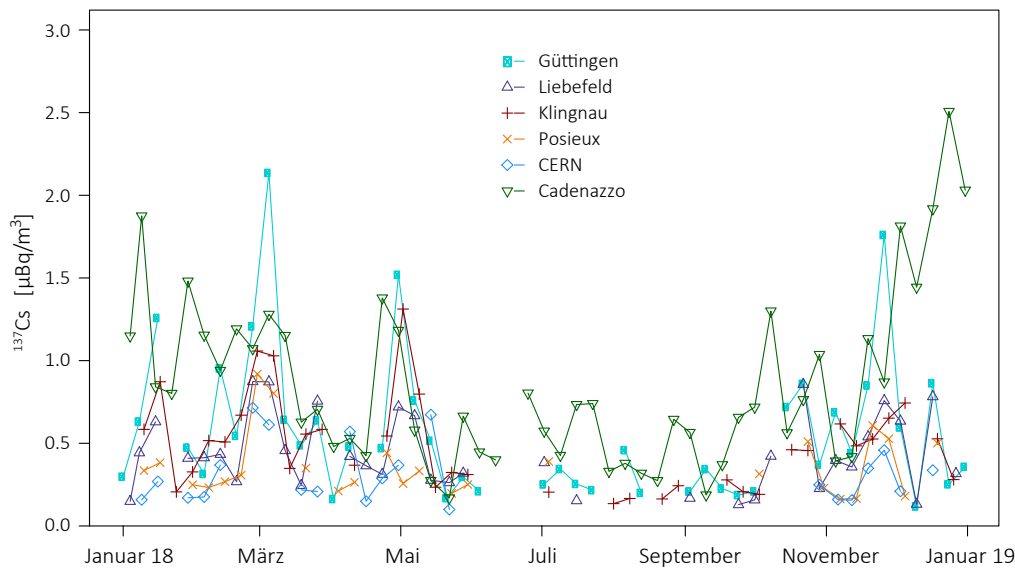
Zusammenfassung

Die Radioaktivität in der Luft und im Niederschlag zeigte 2019 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 2019 mit Ausnahme von Tritium und sporadisch Spuren von ^{137}Cs keine künstlichen Radionukliden nachgewiesen. In der unmittelbaren Umgebung von Tritium-verarbeitenden Industriebetrieben erreichten die Tritiumwerte im Regenwasser maximal 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. Diese Messzeit ist notwendig, um eine Nachweisgrenze zu erreichen, mit der auch Spuren von künstlichen Radionukliden detektiert würden. 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 beim Ereignis mit ^{106}Ru im Herbst 2017, hat gezeigt, dass für eine glaubwürdige Information der Bevölkerung und als Grundlage für die Behörde 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 filtern 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 Jungfrauoch. Die Filter der MV-Sammler werden wöchentlich gewechselt und als Monatsprobe (4 - 5 Filter) gammaspektrometrisch gemessen.



Figur 1 : ¹³⁷Cs Konzentrationen bei allen HVS Stationen für das Jahr 2019.

Künstliche Radioisotope in der Luft

Das einzige regelmässig nachgewiesene künstliche Radioisotop in der Luft war wie in den Vorjahren Cäsium-137 (¹³⁷Cs). ¹³⁷Cs hat eine Halbwertszeit von 30 Jahren und rührt zur Hauptsache immer noch vom Reaktorunfall in Tschernobyl her. Die gemessenen Konzentrationen sind insgesamt sehr gering. Etwas höhere Werte (Maximum 2.5 µBq/m³) wurden 2019 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 ¹³⁷Cs von 8.5 Bq/m³. Zu den erhöhten ¹³⁷Cs Konzentrationen, die eher im Winterhalbjahr auftreten, tragen wahrscheinlich das Aufwirbeln von Bodenpartikel in der vegetationsarmen Zeit, sowie das Verbrennen von leicht mit ¹³⁷Cs kontaminiertem Holz zum Heizen, bei. Die stärkere Kontamination der Böden im Kanton Tessin nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl erklärt die meist etwas höheren Werte der Station Cadenazzo. Das radioaktive Natriumisotop ²⁴Na mit einer Halbwertszeit von 15 Stunden kann sowohl natürliche als auch künstliche Quellen haben. Natürliches ²⁴Na wird wie das ⁷Be und ²²Na in der oberen Atmosphäre durch die kosmische Strahlung erzeugt. Künstliches ²⁴Na 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 ²⁴Na nachgewiesen werden; im Bereich von 15-120 µBq/m³. 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 ²⁴Na kann die Nachweisgrenze variieren und lag 2019 bei rund einem Siebtel der Messungen bei >1'000 µBq/m³. Die gemessenen ²⁴Na Werte und die Nachweisgrenzen insgesamt liegen allerdings stets deutlich unterhalb des Immissionsgrenzwertes von 48 Bq/m³.

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	Güttingen 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)

Geringste Spuren von Jod-131 (¹³¹I) tauchten 2019 in einigen (n=11) HVS Filtern auf; vor allem bei der HVS Station CERN mit einem höchsten Wert von 2.0 µBq/m³. Das auf dem Gelände des CERN gemessene ¹³¹I stammt wohl aus einem Beschleuniger. Bei anderen Stationen ist die Ursache von Spuren von ¹³¹I in dessen

medizinischen Anwendungen zu suchen, etwa wenn ¹³¹I durch die Verbrennung von Abfällen aus Spitälern in die Luft gelangt. Gesundheitlich sind diese Konzentrationen – eine Million Mal tiefer als der Immissionsgrenzwert – irrelevant. Plutonium-Isotope wurden 2019 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 ²³⁸Pu, ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu und ²⁴¹Am ergab 0.7 ± 0.07 nano-Becquerel pro m³ Luft (nBq/m³) im Winterhalbjahr (2018/2019) und 1.3 ± 0.13 nBq/m³ im Sommerhalbjahr. Zusätzliche Proben von den Stationen Klingnau und Posieux ergaben als Summe der Alphastrahler zwischen 1.2 und 2.4 nBq/m³. Diese Konzentrationen der künstlichen Alphastrahler sind sehr tief und liegen wie beim ¹³⁷Cs 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/m³). Die Resultate der MV-Filter in der Umgebung der Kernkraftwerke werden im Kapitel 8.5 näher besprochen.

Natürliche Radioisotope in der Luft

Die 2019 auf den HVS Filtern gemessenen Radioisotope waren fast ausschliesslich natürlicher Herkunft. Vorherrschend waren das Radonfolgeprodukt Blei-210 (²¹⁰Pb; Halbwertszeit 21 Jahre) und Beryllium-7 (⁷Be; Halbwertszeit 50 Tage), welches durch die kosmische Strahlung in hohen Schichten der Atmosphäre gebil-

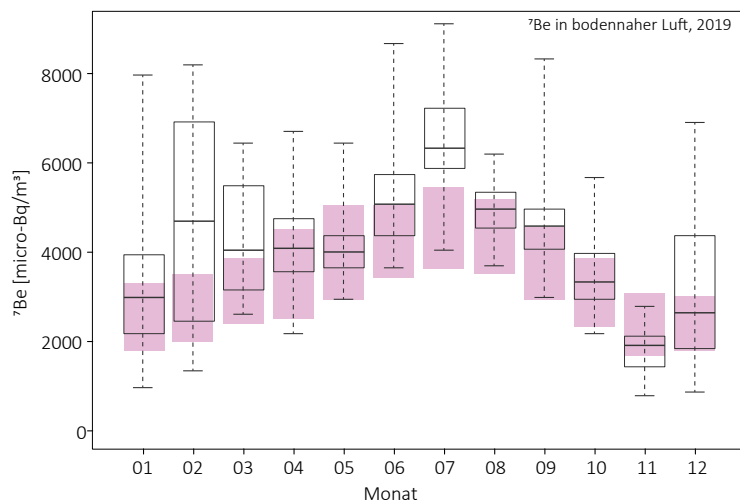
dete und deshalb auch zu den kosmogenen Radionukliden gezählt wird. Neunzig Prozent der ⁷Be-Werte lagen 2019 zwischen 1.4 und 7.2 mBq/m³ (Mittelwert = 4.2 mBq/m³; Median = 4.1 mBq/m³). Dies entspricht den erwarteten Werten (siehe Tabelle 2), wobei der Höchstwert 2019 mit 9.08 mBq/m³ leicht aus dem Rahmen fiel. Neben ⁷Be war in kleinsten Spuren von meist weniger als einem µBq/m³ das ebenfalls kosmogene Natrium-22 (²²Na) nachweisbar. Neunzig Prozent der 2019 gemessenen ²¹⁰Pb-Konzentrationen lagen zwischen 0.15 und 1.0 mBq/m³ (Mittelwert = 0.51 mBq/m³, Median = 0.46 mBq/m³). Diese Werte

Tabelle 2:
Verteilung der 2013-2018 (Referenz) sowie 2019 in der Schweiz gemessenen ²¹⁰Pb und ⁷Be Aktivitäten in bodennahe Luft. Aktivitätsangaben in mBq/m³

Kenngrosse	²¹⁰ Pb (Referenz)	²¹⁰ Pb (2019)	⁷ Be (Referenz)	⁷ Be (2019)
5%- 95%-Perzentil	0.18 - 1.18	0.15 - 1.02	1.48 - 6.40	1.43 - 7.19
Min - Max	0.07 - 2.76	0.08 - 1.80	0.15 - 8.74	0.80 - 9.08
Mittelwert / Median	0.57 / 0.49	0.51 / 0.46	3.66 / 3.50	4.21 / 4.11
Anzahl Messwerte	1'864	306	1'864	306

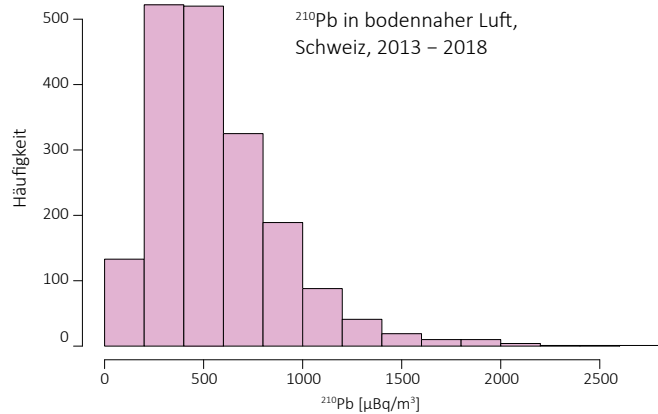
sind etwas tiefer als die über die vorherigen 6 Jahre gemittelten Pb-210 Aktivitäten (Tabelle 2 und Figur 3). Möglicherweise waren im wiederum sehr warmen 2019 Inversionslagen mit typischerweise erhöhten ²¹⁰Pb Konzentrationen seltener als in der Vergleichsperiode.

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, wobei ⁷Be-reiche Luft aus der obersten Troposphäre an den Boden gelangt. Weitere



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).

Einflüsse für die ^7Be Konzentration in der Luft sind Niederschlag (Auswaschen von ^7Be) und die kosmische Strahlung. Die kosmische Strahlung war 2019 noch einmal minim höher (+0.4%) als 2018 (IGY Neutron Monitor Junfrauojoch, cosray.unibe.ch). Der Jahresmittelwert 2019 von ^7Be ist mit 4.2 mBq/m^3 leicht höher als im Vorjahr. Diese erhöhten Werte passen zum Ende des Sonnenzyklus 24 (negative Korrelation der kosmischen Strahlung und damit der ^7Be -Produktion mit der Sonnenaktivität). Die auffälligsten Perioden bezüglich ^7Be Luftkonzentrationen waren 2019 Februar/März und Juni/Juli mit deutlich mehr ^7Be als im langjährigen Mittel (Figur 2). Diese Monate waren deutlich wärmer als im langjährigen Durchschnitt und relativ trocken (MeteoSchweiz: Klimabulletin Jahr 2019). Stärkere vertikale Konvektion und wenig Niederschlag erklären so die hohen ^7Be Werte in der bodennahen Luft. Der kalte und nasse Mai 2019 zeichnete für durchschnittliche ^7Be -Werte verantwortlich. Als weiteres natürliches Radioisotop findet sich in den HVS Filtern oft auch ^{40}K . Die Konzentrationen lagen 2019 meist im typischen Bereich von $5 - 20 \mu\text{Bq/m}^3$. Der höchste Wert mit $55 \mu\text{Bq/m}^3$ wurde beim «Sylvesterfilter» gemessen, verursacht durch Kalium aus Feuerwerkskörpern.



Figur 3 :
Histogramm der ^{210}Pb Aktivitäten in bodennaher Luft. 1'864 Messwerte.
Siehe auch Tabelle 2.

Niederschlag

Messungen von Gammastrahlern

Im Berichtsjahr 2019 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 waren die Messresultate sehr ähnlich wie im Vorjahr, mit Werten im Bereich $0.0 - 2.3$ (Mittelwert 0.8) Bq/l, respektive $0.01 - 0.30$ (Mittelwert 0.08) Bq/l. In 9 (von 103) Regen- und Schneeproben lag ^{137}Cs knapp über der Erkennungsgrenze (Maximum $1.3 \text{ mBq/l } ^{137}\text{Cs}$). Als Referenzpunkt kann hier der Immissionsgrenzwert aus der Strahlenschutzverordnung von $36 \text{ Bq/l } ^{137}\text{Cs}$ in öffentlich zugänglichen Gewässern herangezogen werden, da bei starken Niederschlägen ein öffentlich zugängliches Gewässer im Wesentlichen durch Regenwasser gespeist sein könnte. Andere 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 die Tritiumkonzentrationen nur zweimal knapp über der Nachweisgrenze von 2 Bq/l : Im Januar bei Basel-Binningen ($3.5 \pm 0.6 \text{ Bq/l}$) und im Mai bei La Chaux-de-Fonds ($3.0 \pm 0.7 \text{ Bq/l}$). Tritium-Messungen an Regenproben aus der Umgebung der Kernkraftwerke KKG, KKL und KKM ergaben ebenfalls Messwerte unterhalb oder knapp über der Nachweisgrenze von $2 - 5 \text{ Bq/l}$. Bei diesen Stationen war der höchste gemessene Wert $5.7 \pm 0.7 \text{ Bq/l}$ (KKL, Februar). Bei den Sammelstationen PSI, KKB und Zwiilag ergaben sich 2019 mit Mittelwerten von 21, 11 und 8 Bq/l etwas höhere Werte - vergleichbar mit letztem Jahr. Das höchste Monatsmittel trat im Februar bei der Station PSI auf (100 Bq/l). Alle gemessenen Konzentrationen liegen sehr deutlich unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte (siehe Kapitel 8.5). Höhere Tritiumwerte - aber auch hier unterhalb der Grenzwerte - zeigten sich bei der Überwachung von Tritium-verarbeitenden Industrien. Nahe bei den betroffenen Standorten in Teufen AR und Niederwangen BE enthielt das Regenwasser zwischen 8 und $3'218 \text{ Bq/l}$ Tritium mit einem Mittelwert von 198 Bq/l . Die Höchstkonzentration entspricht rund 16% , der Mittelwert 1% des Immissionsgrenzwertes für öffentlich zugängliche Gewässer, der in der StSV festgehalten ist. 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.

Chapitre / Kapitel 4

Environnement Umwelt

2019

- Aérosols et précipitations
- URAnet Aero
- Surveillance de l'air avec des avions militaires
- Systèmes aquatiques, URAnet Aqua
- Tritium dans l'Aar
- Eaux potables
- Sols et herbe
- Aérosol und Niederschlag
- URAnet Aero
- Überwachung der Luft mit Militärflugzeugen
- Aquatische System, URAnet Aqua
- Tritium in der Aare
- Trinkwasser
- Boden und Gras