

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



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Gesundheit BAG
Office fédéral de la santé publique OFSP
Ufficio federale della sanità pubblica UFSP
Abteilung Strahlenschutz
Division radioprotection
Divisione radioprotezione

2018

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

2018

Avant-propos

La radioactivité de l'environnement est constamment surveillée en Suisse depuis 1956. A l'époque, son augmentation, liée aux essais nucléaires atmosphériques, avait incité les autorités à développer un réseau de contrôle spécifique. Depuis 1986, et l'accident de Tchernobyl, la surveillance des rayonnements ionisants et de la radioactivité dans l'environnement est devenue une tâche permanente de l'Office fédéral de la santé publique. Ce dernier élabore chaque année un programme de prélèvements et de mesures.

Pour effectuer cette tâche, l'OFSP s'appuie sur la collaboration de partenaires d'autres instances fédérales, cantonales et universitaires. Cette organisation décentralisée permet à l'OFSP de profiter des compétences spécifiques de chaque laboratoire ou office.

- Les spécialistes de l'EAWAG et du Département F.-A. Forel de l'Université de Genève mettent en œuvre la surveillance des milieux aquatiques.
- Les analyses radiochimiques complexes ou mettant en œuvre des appareils de mesure sophistiqués (par ex. AMS) sont effectuées par des instituts spécialisés (Institut de Radiophysique IRA, Laboratoire de Spiez, PSI, Université de Berne).
- L'IFSN (centrales nucléaires) et la SUVA (entreprises) contribuent par des analyses effectuées dans leurs domaines de surveillance respectifs.
- La CENAL exploite un réseau de mesure du débit de dose et organise les mesures d'aéroradiométrie.
- Le CERN met à disposition les résultats de ses propres analyses qui sont comparés aux analyses indépendantes.
- Les Hôpitaux Universitaires de Genève (HUG) effectuent des mesures corps entiers.
- Les denrées alimentaires sont analysées en grande partie par les laboratoires cantonaux qui sont équipés pour ces analyses.

Finalement, l'OFSP est responsable de la coordination générale, de ses propres réseaux de surveillance et du laboratoire d'essais (surveillance du milieu atmosphérique, tritium et spectrométrie gamma in situ). Les discussions et les échanges réguliers d'expérience assurent la qualité et aident à améliorer le système.

Conformément à l'Ordonnance sur la radioprotection, l'OFSP est également chargé de publier les résultats de la surveillance dans un rapport annuel. Si, depuis 2015, la plupart des résultats des mesures de la radioactivité dans l'environnement sont consultables en ligne sur la nouvelle plateforme radenviro (www.radenviro.ch) de l'OFSP, ce site n'a pas pour vocation de remplacer le présent rapport annuel. En effet, le lecteur trouvera ici des explications, commentaires et interprétations qui font défaut sur la plateforme Internet. Cette dernière permet, quant à elle, une meilleure transparence et réactivité. Les deux outils sont donc complémentaires.

La plupart des laboratoires participants à la surveillance rédigent leur propre contribution pour le rapport annuel. L'OFSP collecte et met en forme l'ensemble de ces contributions. Chaque auteur participe à la relecture et à la correction détaillée d'un ou plusieurs chapitres (phase du review). La séance de rédaction offre la possibilité aux auteurs de discuter les points importants et d'apporter les dernières corrections aux contributions.

Avec le présent rapport vous prenez connaissance du résultat de ce processus pour l'année 2018.

Nous remercions chaleureusement tous les offices et laboratoires participants pour leur précieuse collaboration.

*Dr. Sybille Estier
Dr. Philipp Steinmann
Office fédéral de la santé publique
Unité de direction Protection des consommateurs
Division de Radioprotection*

Vorwort

Die Umweltradioaktivität wird in der Schweiz seit 1956 kontinuierlich überwacht. Damals veranlasste die Erhöhung der Radioaktivität durch die oberirdischen Atomwaffenversuche die Behörden, ein Netzwerk für Kontrollmessungen aufzubauen. Seit 1986 ist die Überwachung der ionisierenden Strahlung sowie der Radioaktivität in der Umwelt ein gesetzlich verankerter Auftrag des BAG. Auf dieser Grundlage erstellt das BAG jährlich ein Probenahme- und Messprogramm.

Bei dieser Aufgabe stützt sich das BAG auf die Zusammenarbeit mit Partnern aus Bundesverwaltung, Kantonen und Universitäten. Diese dezentrale Organisation bietet den Vorteil, dass gezielt verschiedenste Fachkompetenzen eingebunden werden können.

- So liegt die Überwachung der aquatischen Systeme bei den Fachleuten der EAWAG und des Departement F.-A. Forel der Universität Genf.
- Radiochemische Analysen sowie gerätetechnisch komplexe Messungen (z.B. AMS) finden an spezialisierten Instituten statt (Institut de Radiophysique IRA, Labor Spiez, PSI, Universität Bern).
- Das ENSI (Kernkraftwerke) und die SUVA (Betriebe) steuern Beiträge aus ihren Aufsichtsbereichen bei.
- Die NAZ betreut ein ODL-Messnetz und ist für die Durchführung Aeroradiometriemessungen zuständig.
- Das CERN stellt seine eignen Resultate dar, welche dann mit den unabhängigen Messungen verglichen werden können.
- Das Universitätsspital Genf (HUG) führt Ganzkörpermessungen durch.
- Lebensmittel werden zum grossen Teil in den entsprechend ausgerüsteten Kantonalen Laboratorien analysiert.

Das BAG schliesslich ist verantwortlich für die Koordination, die eigenen Messnetze und das Prüflabor (Schwerpunkt Luftüberwachung, Tritium und in-situ Gammasspektrometrie). Regelmässige Diskussionen zwischen den Laboratorien und ein ständiger Erfahrungsaustausch tragen zur Qualitätssicherung bei und geben immer wieder neue Impulse für Verbesserungen.

Die Strahlenschutzverordnung verpflichtet das BAG auch zur Veröffentlichung der Resultate der Radioaktivitätsmessungen in einem Jahresbericht. Seit 2015 präsentiert das BAG zudem einen Grossteil der Messresultate auf der neuen Internet Plattform radenviro (www.radenviro.ch), welche den hier vorliegenden gedruckten Jahresbericht ideal ergänzt: Während die Leserin des Jahresberichtes nach Themen geordnete, vertiefte Erklärungen, Diskussionen und Interpretationen vorfindet, ist der Betrachter der Radenviro-Inhalte bei Vorkommnissen oder auffälligen Befunden rasch informiert.

Für den Jahresbericht verfassen fast alle beteiligten Laboratorien ihre eigenen Beiträge. Das BAG sammelt diese und übernimmt das Layout. Eine erste Version des Jahresberichtes wird anschliessend in einer review-Runde kritisch gegengelesen. Danach bietet die jährliche Redaktionssitzung die Gelegenheit wichtige Fragen und letzte Korrekturen im Plenum zu besprechen.

Das Ergebnis dieses Prozesses für das Jahr 2018 finden Sie im vorliegenden Heft.

Den am Bericht beteiligten Ämtern und Laboratorien danken wir für die wertvolle Mitarbeit bestens.

*Dr. Sybille Estier
Dr. Philipp Steinmann
Bundesamt für Gesundheit
Direktionsbereich Verbraucherschutz
Abteilung Strahlenschutz*

Sommaire

1	Surveillance de l'environnement : Résumé	10
	<i>Tâches, résultats, évaluation</i>	12
2	Doses de rayonnements reçues par la population	30
	<i>Radon, doses médicales et naturelles, exposition professionnelles</i>	33
3	Rayonnement externe	37
	<i>Mesures In situ</i>	38
	<i>Réseau NADAM</i>	44
	<i>Mesures d'aéroradiométrie</i>	51
4	Environnement	57
	<i>Radioactivité dans l'air et les précipitations</i>	58
	<i>URAnet aero</i>	62
	<i>Surveillance de l'air avec des avions militaires</i>	68
	<i>Systèmes aquatiques / URAnet aqua / Tritium dans l'Aar</i>	71/77/80
	<i>Sol et herbe</i>	86
5	Denrées alimentaires	93
	<i>Lait, céréales, légumes, viandes, chasse, etc.</i>	94
6	Radioactivité dans le corps humain	101
	<i>Mesures du corps entier</i>	102
	<i>Vertèbres et dents de lait</i>	104
7	Mesures de nucléides spéciaux	109
	<i>Carbone 14, Krypton 85, Argon 37</i>	110
	<i>Plutonium et Américium</i>	120
8	Surveillance des installations nucléaires	127
	<i>Emissions et Immissions</i>	128
	<i>Orssdosis und Ortsdosisleistung / MADUK</i>	138 / 140
	<i>ZWILAG</i>	145
	<i>Installations nucléaires et l'environnement</i>	148
	<i>CERN - rejets et environnement (mesures CERN)</i>	155
	<i>CERN- mesures OFSP</i>	162
9	Industries et hôpitaux	169
	<i>Emissions des industries</i>	170
	<i>Emissions des hôpitaux</i>	173
	<i>Surveillance au voisinage des industries</i>	177
	<i>Plan d'action radium</i>	183
10	Plan d'action radon 2012-2020	189
	Annexes	195

Inhaltverzeichnis

1	Umweltüberwachung : Zusammenfassung	19
	<i>Auftrag, Ergebnisse, Beurteilung</i>	21
2	Strahlenexposition der Bevölkerung	30
	<i>Radon, medizinische und natürliche Dosen, berufliche Exposition</i>	34
3	Externe Strahlung	37
	<i>In situ Messungen</i>	38
	<i>Netzwerk NADAM</i>	44
	<i>Aeroradiometrische Messungen</i>	51
4	Umwelt	57
	<i>Radioaktivität in der Luft und im Niederschlag</i>	58
	<i>URAnet aero</i>	62
	<i>Überwachung der Luft mit Militärflugzeugen</i>	68
	<i>Aquatische Systeme / URAnet aqua / Tritium in der Aare</i>	71/77/80
	<i>Boden und Gras</i>	86
5	Lebensmittel	93
	<i>Milch, Getreide, Gemüse, Fleisch, Wildfleisch, usw.</i>	94
6	Radioaktivität im Menschen	101
	<i>Ergebnisse der Ganzkörpermessungen</i>	102
	<i>Wirbelknochen und Milchzähne</i>	104
7	Messung von Spezialnukliden	109
	<i>Kohlenstoff-14, Krypton-85, Argon-37</i>	110
	<i>Plutonium und Americium</i>	120
8	Überwachung der Kernanlagen	127
	<i>Emissionen und Immissionen</i>	128
	<i>Ortsdosis und Ortsdosisleistung / MADUK</i>	138 / 140
	<i>ZWILAG</i>	145
	<i>Nukleare Anlagen und Umwelt</i>	148
	<i>CERN - Emissionen und Umwelt (CERN-Messungen)</i>	155
	<i>CERN- BAG-Messungen</i>	162
9	Industrien und Spitäler	169
	<i>Emissionen der Betriebe</i>	170
	<i>Emissionen der Spitäler</i>	173
	<i>Überwachung in der Umgebung von Industrien</i>	177
	<i>Aktionsplan Radium</i>	183
10	Aktionsplan Radon 2012-2020	189
	Anhänge	195

2018



Chapitre / Kapitel 1

Surveillance de l'environnement : résumé
Umweltüberwachung : Zusammenfassung

1.1

Surveillance de l'environnement : Résumé

S. Estier, P. Steinmann

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

Tâches et programme de mesures

Surveillance des rayonnements ionisants et de la radioactivité dans l'environnement

Conformément à l'Art. 191 de l'ordonnance sur la radioprotection (ORaP), l'OFSP est responsable de la surveillance des rayonnements ionisants et de la radioactivité dans l'environnement.

Le programme de surveillance mis en œuvre comporte plusieurs volets. Il a d'une part pour objectif la détection rapide de tout apport supplémentaire de radioactivité d'origine artificielle, pouvant avoir des conséquences graves sur la santé de la population (accident radiologique). Le programme de surveillance vise, d'autre part, à déterminer les niveaux de référence de la radioactivité dans l'environnement en Suisse ainsi que leurs fluctuations, afin de pouvoir évaluer les doses de rayonnements auxquelles la population suisse est exposée. Fait partie de cette surveillance générale le suivi des anciennes contaminations dues aux essais nucléaires atmosphériques américains et soviétiques des années 50 et 60 ainsi que de l'accident de Tchernobyl.

Par ailleurs, la surveillance mise en place doit permettre de déterminer l'impact effectif des centrales nucléaires ainsi que des centres de recherche ou des entreprises utilisant des substances radioactives sur l'environnement et sur la population avoisinante. Cette surveillance spécifique, focalisée autour des installations disposant d'une autorisation stricte de rejet de substances radioactives dans l'environnement, s'effectue en collaboration avec les autorités de surveillance respectives, l'Inspection Fédérale de la Sécurité Nucléaire (IFSN) pour les centrales nucléaires, la SUVA pour les industries. Elle commence par le contrôle des émissions (rejets de substances radioactives) de ces entreprises, afin de s'assurer que les limites sont respectées, et se poursuit par la surveillance de leurs immissions, à savoir des concentrations effectivement mesurées dans l'environnement.

Afin de répondre à l'ensemble de ces objectifs, l'OFSP élabore chaque année un programme de prélèvements d'échantillons et de mesures en collaboration avec l'IFSN, la SUVA et les cantons (Art. 193 ORaP). Il coordonne ce programme de surveillance, auquel participent également d'autres laboratoires de la Confédération et divers instituts universitaires. La liste complète des laboratoires participant au programme de surveillance figure dans les annexes 1 et 2. L'OFSP collecte et interprète l'ensemble des données, et publie annuellement les résultats de la surveillance de la radioactivité ainsi que les doses de rayonnement qui en résultent pour la population (Art. 194 ORaP).

Programme de mesures (voir annexes 3 et 4)

Le programme de surveillance couvre de nombreux compartiments environnementaux, qui vont de l'air aux denrées alimentaires, en passant par les précipitations, le sol, l'herbe, les eaux superficielles et souterraines, les eaux potables et les sédiments. Des mesures sur site (spectrométrie gamma in situ) complètent ces analyses en permettant de mesurer directement la radioactivité déposée sur le sol. Le contrôle en fin de chaîne de contamination est réalisé par des analyses de la radioactivité assimilée dans le corps humain.

A ce programme général s'ajoute l'analyse d'échantillons en phase de rejet provenant des centrales nucléaires, des eaux de stations d'épuration et de décharges ou encore des eaux de lavage des fumées d'usines d'incinération.

Des réseaux automatiques de mesure enregistrent le débit de dose ambiant gamma dans tout le pays (réseau automatique NADAM de mesure et d'alarme pour l'irradiation ambiante) et en particulier au voisinage des centrales nucléaires (réseau automatique de surveillance du débit de dose au voisinage des centrales nucléaires, MADUK). La radioactivité des aérosols et des eaux de rivière (figure 1) est mesurée en continu grâce au réseau automatique de mesure URAnet de l'OFSP (volet «aero» pour la surveillance de l'air et volet «aqua» pour la surveillance de l'eau, voir plus bas). En plus des mesures automatiques, des prélèvements d'échantillons d'aérosols, de précipitations et d'eaux de rivière sont effectués en continu afin de procéder à des analyses très sensibles en laboratoire; la surveillance des sédiments, du sol, de l'herbe, du lait et des denrées alimentaires (y compris les importations) s'effectue dans le cadre de contrôles par sondage. Les données sont enregistrées dans une banque de données nationale administrée par l'OFSP. Les résultats des mesures des réseaux automatiques ainsi que la majorité des résultats des mesures de la radioactivité dans des échantillons environnementaux effectués en laboratoire sont consultables en ligne sur le site www.radenviro.ch. Par contre les résultats de mesures spéciales (par ex. mesure dans les vertèbres, dents de lait, ¹⁴C dans les feuillages, etc.) ne sont, pour l'heure, disponibles que dans le rapport publié annuellement. Les programmes de surveillance sont comparables à ceux en vigueur dans les pays voisins. Les techniques d'échantillonnage et les programmes de mesure correspondent à l'état actuel des connaissances et de la technique. Le contrôle de la qualité s'effectue par la participation régulière des laboratoires à des intercomparaisons nationales et internationales.

Nouveau réseau automatique de mesure URAnet

Le nouveau réseau automatique de surveillance de la radioactivité dans l'air (URAnet aero) est pleinement opérationnel depuis septembre 2018. Il remplace l'ancien réseau RADAIR, mis en service après l'accident de Tchernobyl et devenu obsolète. Ce nouveau réseau permet d'identifier et de quantifier les radionucléides présents dans l'air et génère une alarme en cas de dépassement des seuils fixés. Il est constitué de 15 sondes de mesure, réparties sur l'ensemble du territoire (voir Figure 1). Les différentes régions géographiques de la Suisse sont couvertes, le réseau étant toutefois plus dense dans les régions à la fois fortement peuplées et aussi concernées par d'éventuels rejets de radioactivité dans l'air en provenance d'une centrale nucléaire.

Le nouveau réseau est capable de détecter des niveaux de radioactivité largement plus faibles que son prédécesseur (limite de détection de l'ordre de 1 à 2.5 milli-becquerels par mètre cube (mBq/m³) pour le césium-137 sur une mesure de 12 heures). Une telle sensibilité rend désormais possible la détection automatique de très faibles concentrations de radioactivité dans l'air, même si celles-ci ne présentent pas de danger pour la santé, et permet ainsi une meilleure évaluation des doses reçues par la population.

Le volet du réseau dédié à la surveillance des eaux de l'Aar et du Rhin (URAnet aqua), qui comprend cinq sondes aquatiques, est opérationnel depuis 2015. Avec la mise en service du volet dédié à la surveillance de l'air, la Suisse dispose maintenant d'un réseau de surveillance automatique de la radioactivité dans l'environnement approprié et performant.

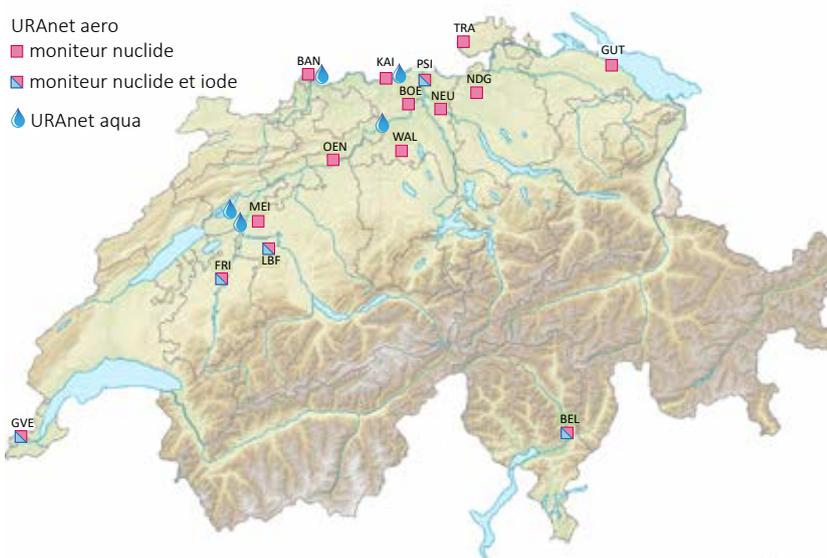


Figure 1: Réseau automatique de surveillance de la radioactivité dans l'air (URAnet aero) et dans les cours d'eau (URAnet aqua).

Résultats de la surveillance 2018

Surveillance générale : air, précipitations, eaux, sols, herbes, lait et autres denrées alimentaires

Les résultats de la surveillance de la radioactivité dans l'air, les précipitations, l'herbe et le sol enregistrés en 2018 sont généralement restés comparables à ceux des années précédentes et montrent que la radioactivité naturelle est prédominante dans ces compartiments environnementaux. Les résultats des mesures des filtres aérosols à haut débit, disponibles sur Internet (www.radenviro.ch), ont ainsi montré que la radioactivité de l'air provient pour l'essentiel des radionucléides naturels tels que le ^7Be cosmogénique ou le ^{210}Pb .

Dans les précipitations, la radioactivité est principalement liée au ^7Be ainsi qu'au tritium, tous deux produits par le rayonnement cosmique. Pour le tritium, un apport artificiel par les rejets des centrales nucléaires et de certaines industries est également mesurable en différents endroits (voir chapitres consacrés à la surveillance de ces entreprises). Dans les rivières, la teneur en tritium est généralement de quelques Bq/l.

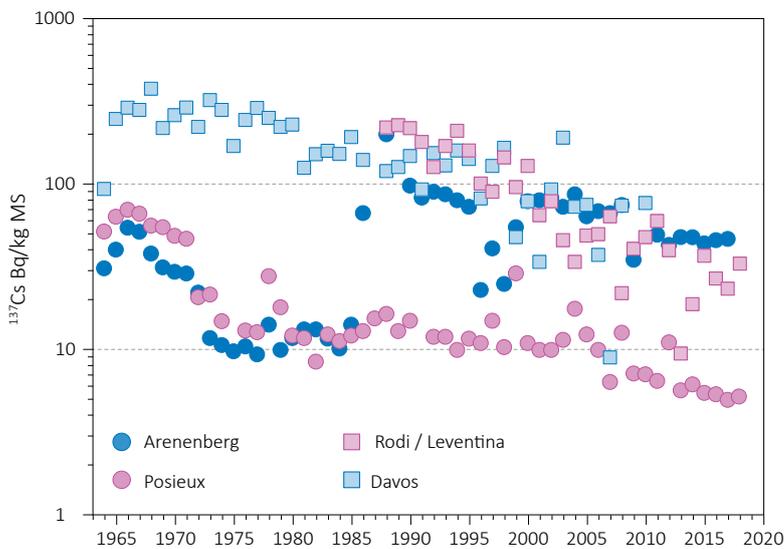


Figure 2:
 ^{137}Cs (en Bq/kg de matière sèche) dans les échantillons de sol de différentes stations de Suisse (1964 - 2018).

Dans le sol, on retrouve essentiellement les isotopes naturels issus des séries de désintégration de l'uranium et du thorium ainsi que le ^{40}K . Les isotopes artificiels proviennent des dépôts atmosphériques et montrent des différences régionales, liées aux particularités des retombées des essais nucléaires atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl. Dans les Alpes et le sud des Alpes, les valeurs relevées pour le ^{137}Cs (voir fig. 2) et le ^{90}Sr sont toujours légèrement supérieures à celles du Plateau. Quant aux émetteurs alpha artificiels, comme le ^{239}Pu et le ^{240}Pu et l' ^{241}Am , il n'en subsiste que d'infimes traces dans le sol.

Dans l'herbe et les denrées alimentaires, c'est aussi le ^{40}K naturel qui domine. Les radionucléides artificiels comme le ^{137}Cs ou le ^{90}Sr (voir figure 4), qui sont absorbés par les plantes à travers leurs racines, ne sont décelables dans

l'herbe que sous forme de traces. Leur répartition régionale est similaire à celle enregistrée pour le sol.

Les échantillons de céréales ainsi que de fruits et légumes prélevés en Suisse n'ont pas présenté d'activité artificielle significative, à l'exception de traces de ^{137}Cs dans un échantillon de céréales (0.4 Bq/kg) en provenance du Tessin ainsi que dans un échantillon de salade (0.1 Bq/kg matière fraîche - m.f.) prélevé dans le Nord de la Suisse. Dans le lait de vache, la teneur en ^{137}Cs est généralement restée inférieure à la limite de détection qui se situe entre 0.02 et 1 Bq/l selon les laboratoires de mesure. Seuls quelques échantillons de lait sur plus de 130 analysés en 2018 ont présenté une activité en ^{137}Cs mesurable: la valeur maximale de 11 Bq/l a été enregistrée dans un échantillon prélevé au Tessin; dans les autres échantillons, provenant des vallées sud des Grisons, le ^{137}Cs n'était présent que sous forme de traces (env. 1 Bq/l). Les activités mesurées étaient donc nettement inférieures à la valeur maximale admise pour le ^{137}Cs , à savoir 600 Bq/l, selon l'Ordonnance Tchernobyl pour les denrées contaminées à la suite de cet accident. Rappelons que le Tessin a été la région la plus touchée de Suisse par les retombées radioactives consécutives à l'accident de Tchernobyl, ce qui explique que le ^{137}Cs y soit toujours mesurable à des niveaux plus élevés dans certains échantillons, 30 ans après l'accident. Les teneurs en ^{90}Sr mesurées dans 66 échantillons de lait par le canton de BS, l'IRA et le laboratoire de Spiez étaient toutes nettement inférieures à 1 Bq/l (ancienne valeur de tolérance selon l'OSEC pour ce radionucléide), avec une valeur maximale enregistrée de 0.2 Bq/l.

Certains champignons sauvages indigènes, notamment les bolets bais et les pholiotes ridées présentent toujours des valeurs accrues de ^{137}Cs . 64 échantillons de champignons sauvages indigènes ont été analysés par les laboratoires cantonaux (TI, ZH et AG) en 2018. Dans deux échantillons de bolets bais prélevés au Tessin, les activités spécifiques de ^{137}Cs étaient supérieures à la valeur maximale de 600 Bq/kg fixée pour ce radio-

nucléide dans l'Ordonnance Tchernobyl. Cette année encore, le canton du Tessin a poursuivi le contrôle systématique des sangliers chassés sur son territoire mis en place en 2013 en collaboration avec l'OFSP. En 2018, 571 sangliers ont ainsi fait l'objet d'une mesure de tri, réalisée sur place à l'aide d'un instrument dosimétrique. Dans 4.4% des cas, un dépassement de la valeur maximale pour le ^{137}Cs , fixée à 600 Bq/kg selon l'Ordonnance Tchernobyl, a été constatée et les sangliers concernés ont été confisqués par le vétérinaire cantonal.

Suite à l'accident de Fukushima-Daichi, la Suisse comme l'Union Européenne, a initié un programme de contrôle des denrées alimentaires en provenance du Japon. Depuis 2017 toutefois, le nombre d'analyses effectuées dans le cadre de ces programmes a significativement diminué et seuls une dizaine d'échantillons en provenance du Japon ont été mesurés par les laboratoires cantonaux (ZH) en 2018, contre plus de 80 en 2016. Ceci s'explique par le fait que le ^{137}Cs n'étaient déjà pratiquement plus mesurables dans les échantillons de denrées alimentaires en provenance du Japon analysés en 2016. Les résultats 2018 confirment ce constat puisqu'aucune trace de ^{137}Cs n'a été décelée dans les échantillons analysés dans le cadre du programme de contrôle des denrées alimentaires en provenance du Japon.

Des analyses de denrées alimentaires importées provenant d'autres pays, notamment d'Europe de l'Est, ont également été effectuées comme chaque année par les laboratoires cantonaux. Ces analyses ont essentiellement porté sur les baies des bois (et produits à base de baies des bois), la viande de gibier et les champignons sauvages, qui sont connus pour accumuler davantage le ^{137}Cs . La plupart des échantillons n'ont présenté que de faibles traces de ^{137}Cs , avec sporadiquement quelques valeurs plus élevées notamment dans les champignons (maximum de 51 Bq/kg m.f.) mais toutes les valeurs mesurées sont restées nettement inférieures à la valeur maximale pour le ^{137}Cs fixée dans l'Ordonnance Tchernobyl.

Ainsi, les quelques dépassements de la valeur maximale (Ordonnance Tchernobyl) constatés en 2018 pour le ^{137}Cs dans les denrées alimentaires indigènes (sangliers, champignons) sont toujours dus, plus de 30 ans après, aux retombées radioactives consécutives à l'accident de Tchernobyl.

Pour les informations détaillées, se référer aux chapitres 4, 5 et 7.2.

Surveillance du voisinage des centrales nucléaires

Les valeurs limites pour les émissions des centrales nucléaires sont fixées par l'autorité compétente de telle sorte qu'aucune personne résidant à proximité ne puisse recevoir une dose efficace supérieure à 0.3 mSv/an (rayonnement direct compris). L'exploitant doit mesurer ses émissions et en communiquer le bilan à l'IFSN. Des analyses effectuées en parallèle par l'exploitant, l'IFSN et l'OFSP sur des filtres à aérosols et à iode ainsi que sur des échantillons d'eau en phase de rejet permettent de vérifier régulièrement les valeurs déclarées aux autorités. Les divers contrôles ont confirmé le respect des limites réglementaires par les exploitants en 2018.

La contribution du rayonnement direct est clairement mesurable en certains points de la clôture des centrales de Leibstadt et de Mühleberg. Ainsi, à Mühleberg et à Leibstadt l'évaluation des dosimètres disposés à la clôture de la centrale a montré une élévation de la dose ambiante annuelle pouvant atteindre 1.1 mSv (après soustraction du bruit de fond naturel). Ces valeurs respectent l'Art.79 de l'ORaP sur la limitation des doses ambiantes en dehors des secteurs contrôlés et surveillés, puisqu'aucune personne ne séjourne de manière durable en ces endroits. Il convient en effet de relever qu'il s'agit ici de dose ambiante et non de dose à la personne. Ces valeurs ne sont donc pas à mettre en relation avec la valeur directrice de dose liée à la source de 0.3 mSv/an puisqu'aucun membre du public ne réside pour de longue période en ces endroits.

Les résultats du programme de surveillance des immissions autour des centrales nucléaires ont montré que l'impact de ces dernières sur l'environnement est resté faible en 2018 (voir Chapitre 8.5 du présent rapport). Les méthodes de mesure, d'une grande sensibilité, ont permis de mettre en évidence les traces des rejets atmosphériques, comme des valeurs accrues de ^{14}C dans les feuillages (augmentation maximale, par rapport à la station de référence, de 94 pour mille aux environs de la centrale de Leibstadt). A titre indicatif, notons qu'une activité supplémentaire de 100 pour mille de ^{14}C dans les denrées alimentaires induit une dose annuelle supplémentaire de l'ordre de 1 micro-Sv. Les concentrations de tritium dans les précipitations sont généralement restées faibles.

Suite à la réduction substantielle des rejets d'effluents radioactifs liquides par la centrale nucléaire de Mühleberg, aucune trace de ^{54}Mn , ^{58}Co ou de ^{60}Co n'a pu être mise en évidence dans les échantillons d'eau de l'Aar ou du Rhin, prélevés en aval des centrales nucléaires en 2018. Par le passé, de faibles traces de ces radionucléides, étaient régulièrement détectées, notamment dans l'Aar à Hagneck, en aval de la centrale de Mühleberg. Le ^{137}Cs présent dans les échantillons d'eau de l'Aar et du Rhin, provient quant à lui essentiellement de la remobilisation des dépôts de Tchernobyl et des essais d'armes atomiques des années 60. Les traces des rejets liquides des centrales nucléaires, et en particulier le ^{54}Mn et le ^{60}Co , ont par contre encore été sporadiquement décelées dans les échantillons mensuels de sédiments prélevés dans l'Aar, alors que seul le ^{60}Co a pu être mis en évidence dans certains sédiments prélevés dans le Rhin à Pratteln.

Les concentrations mensuelles du tritium dans l'Aar et le Rhin sont généralement restées inférieures à la limite de détection de 2 Bq/l à l'exception de la période mai-juin, où, comme chaque année, on constate une légère augmentation (env. 15 Bq/l dans l'Aar à Brugg en mai) en raison de rejets plus importants d'eau contenant du tritium par la centrale nucléaire de Gösgen avant la période de révision.

Les analyses des poissons prélevés dans l'Aar et le Rhin en aval de KKM, KKB et KKL en 2018 n'ont pas révélé la présence d'émetteurs gamma d'origine artificielle. Le constat est le même pour l'examen des eaux des nappes phréatiques. Les résultats des mesures de la radioactivité dans les denrées alimentaires prélevées au voisinage des centrales sont semblables à ceux enregistrés ailleurs sur le Plateau Suisse.

Par ailleurs, aucune valeur élevée de tritium n'a plus été enregistrée dans le système de drainage de l'ancienne centrale nucléaire de Lucens, depuis la mise en place par l'OFSP du programme de surveillance rapprochée au printemps 2012.

Hormis les quelques exemples précités et comme le montre la figure 3, les résultats des mesures environnementales effectuées au voisinage des installations nucléaires ne se distinguent pas de ceux enregistrés dans les endroits situés hors de leur influence. Ils montrent que la radioactivité d'origine naturelle prédomine et que les contaminations détectables proviennent principalement des essais nucléaires des années 60 et de l'accident de Tchernobyl (^{137}Cs).

Cependant, même si l'exposition de la population attribuable aux rejets des centrales nucléaires conduit à des doses très faibles par rapport à celles d'origine naturelle ou médicale, le principe d'optimisation demande de poursuivre les contrôles et les études avec le plus de précision possible, afin de répondre aux différents objectifs à la fois d'ordre scientifique, réglementaire et d'information du public.

Pour les informations détaillées, se référer aux chapitres 3.1, 4.4, 7.1, 7.2 et 8.1 à 8.5.

Surveillance des centres de recherche

Le contrôle par le CERN des émissions de ses installations a indiqué des rejets effectifs nettement inférieurs aux limites réglementaires en 2018. Ce constat est confirmé par le programme de surveillance indépendant mis en œuvre par l'OFSP autour du centre de recherche. Les résultats des mesures effectuées ont révélé la présence dans l'air de traces sporadiques de certains radionucléides produits par les accélérateurs du CERN, comme le ^{24}Na , l' ^{41}Ar et l' ^{131}I . L'impact radiologique du fonctionnement du CERN sur l'environnement et la population avoisinante est toutefois resté très faible puisque les activités maximales des radioéléments attribuables au centre de recherche relevées dans l'environnement n'ont représenté que d'infimes fractions des valeurs limites fixées par la législation suisse sur la radioprotection.

La dose d'irradiation reçue par la population vivant au voisinage du PSI/ZWILAG ne doit pas excéder, au total 0.15 mSv/an pour les deux installations. Selon l'évaluation de l'IFSN, les rejets effectifs du PSI/ZWILAG ont entraîné en 2018 une dose supplémentaire de 0.007 mSv pour la population avoisinante, soit environ 5% de cette valeur. La quasi-totalité de cette dose provient des rejets de gaz rares de courte période produits dans les accélérateurs de particules de la zone West de l'institut. La surveillance de l'environnement est assurée par le PSI ainsi que par l'OFSP qui effectue des mesures supplémentaires de manière indépendante. Hormis quelques valeurs sporadiquement plus élevées de tritium dans les précipitations, les résultats de la surveillance au voisinage du PSI n'ont pas mis en évidence de marquage de l'environnement dû au fonctionnement des installations du centre de recherche.

Pour les informations détaillées, se référer au chapitre 8.

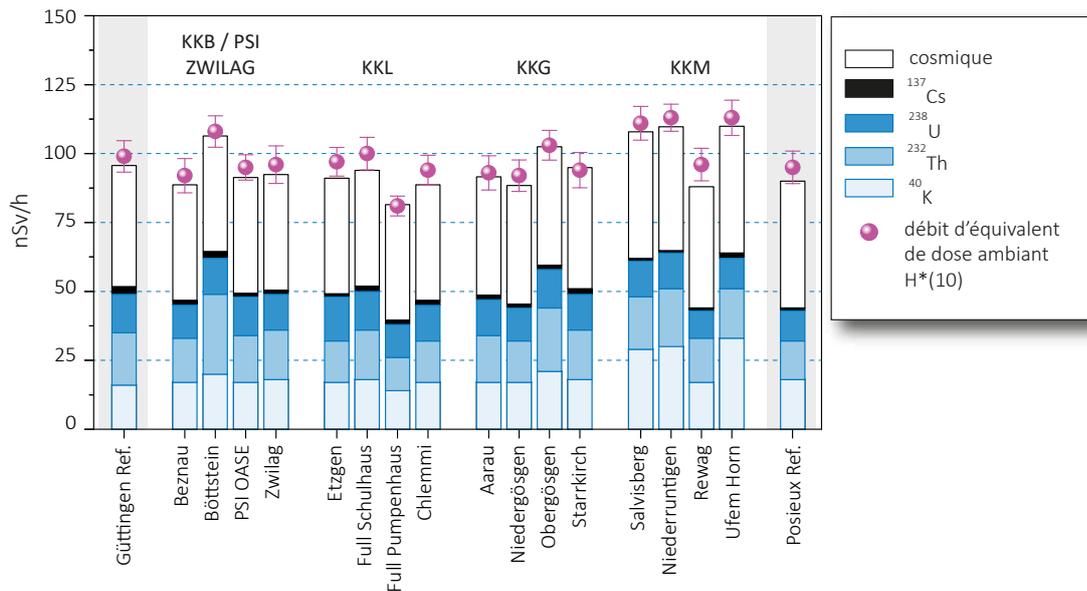


Figure 3:

Contributions individuelles à l'exposition ambiante ($H^*(10)$) attribuables aux différents radionucléides présents sur les sites examinés par l'OFSP en 2018 au voisinage des centrales nucléaires suisses ainsi qu'aux sites de référence de Göttingen et Posieux (grisé). Ces contributions ont été calculées à partir des mesures de spectrométrie gamma in situ; le résultat de la mesure directe de l'exposition globale à l'aide d'une chambre d'ionisation est également représenté afin d'apprécier la fiabilité de la méthode.

Tritium dans l'industrie

Certaines entreprises industrielles utilisent également des substances radioactives. Le tritium est le radionucléide le plus utilisé dans ce domaine en Suisse, par exemple pour la fabrication de sources lumineuses au gaz de tritium ou pour la production de marqueurs radioactifs au tritium pour la recherche. Ces entreprises sont tenues de communiquer à l'autorité de surveillance le bilan de leurs émissions. En 2018, toutes les entreprises concernées ont respecté les valeurs limites pour les rejets fixées dans leur autorisation. L'OFSP met en œuvre un programme de surveillance spécifique pour contrôler les immissions autour de ces entreprises. Le tritium est ainsi analysé dans les précipitations, l'humidité de l'air, les eaux superficielles et dans certains cas, les denrées alimentaires.

En 2018, comme au cours des années précédentes, les résultats de cette surveillance ont montré un marquage significatif de l'environnement (précipitations, denrées alimentaires) par le tritium, à proximité immédiate de ces entreprises, notamment à Niederwangen. Les concentrations de tritium enregistrées dans les précipitations à la station Firma, située au voisinage de l'entreprise mb microtec, se sont ainsi élevées en moyenne à 652 Bq/l en 2018, avec une valeur maximale de 1'534 Bq/l en mars. Cette valeur représente 7.7% de la nouvelle limite d'immissions pour le tritium dans les eaux accessibles au public. Des valeurs plus élevées de tritium ont également été mesurées dans les distillats de fruits et légumes (pommes, poires, pruneaux, rhubarbes, légumes divers) récoltés fin août au voisinage de l'entreprise, atteignant 331 Bq/l dans le distillat d'un échantillon de pruneaux et 234 Bq/l dans celui d'un échantillon de pomme. Dans les distillats des échantillons de lait, les concentrations en tritium étaient plus faibles (valeur maximale de 23 Bq/l). Bien que ces valeurs soient significativement plus élevées que la normale, la consommation régulière (50 kg /an) de produits avec une concentration de tritium égale à la valeur maximale enregistrée en 2018 conduirait à une dose supplémentaire de l'ordre de 1 à 2 micro-Sv en fonction de l'âge du consommateur et de la forme chimique du tritium; par conséquent ces denrées ne représentent pas de risque pour la santé du consommateur. La SUVA, en tant qu'autorité de surveillance responsable, avait déjà pris contact avec l'entreprise suite aux concentrations élevées enregistrées dans les denrées alimentaires en 2017. L'entreprise s'était alors engagée à prendre des mesures afin de réduire les rejets sur le long terme, en rénovant son système de ventilation. Ce projet se terminera courant 2019 et les émissions devraient diminuer dès fin 2019, début 2020.

Les concentrations de tritium mesurées dans les échantillons hebdomadaires de précipitations de Teufen/AR, au voisinage de l'entreprise RC Tritec, sont quant à elles nettement plus faibles. Avec une valeur maximale de 160 Bq/l et une médiane de 25 Bq/l, les concentrations de tritium mesurées dans les précipitations de Teufen en 2018 sont parmi les plus basses enregistrées depuis le début de la surveillance.

Pour les informations détaillées, se référer aux chapitres 5, 9.1 et 9.3.

Héritages radiologiques

Le plan d'action radium 2015-2019, approuvé par le Conseil fédéral en mai 2015, vise à régler le problème des héritages radiologiques liés à l'application de peinture luminescente au radium dans l'industrie horlogère jusque dans les années 1960.

Depuis 2014 et jusqu'à fin 2018, près de 540 bâtiments regroupant plus de 3'000 appartements (ou objets commerciaux) ont fait l'objet d'un diagnostic du radium principalement dans les cantons de Neuchâtel, Berne et Soleure, mais aussi dans d'autres cantons tels que Bâle-Campagne, Genève, Jura, Tessin, Vaud et Zurich.

En présence de traces de radium dans des locaux intérieurs, l'OFSP évalue la dose annuelle supplémentaire pouvant être reçue par les occupants sur la base des résultats de mesure et de scénarios d'exposition. Ces scénarios ont pour objectif d'exclure, pour tout occupant actuel ou futur, une exposition supérieure à la limite de dose de 1 mSv/an tolérée pour la population suisse. Si le résultat de cette estimation montre que cette valeur peut être dépassée pour l'occupant potentiellement le plus exposé à la présence de radium, alors la décision est prise d'assainir les locaux. Pour les jardins, un assainissement est requis en cas de dépassement de la valeur seuil de 1'000 becquerels par kilogramme (Bq/kg) pour la concentration en radium dans la terre sèche.

Parmi les biens-fonds contrôlés, 100 nécessitent un assainissement lié au ^{226}Ra , ce qui représente 70 appartements (ou objets commerciaux) et 64 jardins. En ce qui concerne les locaux intérieurs, les doses estimées pour l'occupant actuel ou futur potentiellement le plus exposé se situent dans la majorité des cas (57) entre 1 et 5 mSv/an. Dans 8 appartements, la dose potentiellement reçue par la personne la plus exposée se situe entre 5 et 10 mSv/an, dans 4 appartements entre 10 et 15 mSv/an et dans un appartement entre 15 et 20 mSv/an. Les valeurs maximales de radium mesurées dans des échantillons de terre prélevés dans les 64 jardins à assainir s'élèvent en moyenne à 29'000 Bq/kg. Dans un cas, elles avoisinent ponctuellement les 668'200 Bq/kg.

Par ailleurs, l'OFSP a déjà identifié neuf anciens sites industriels figurant au cadastre des sites pollués qui nécessitent un assainissement lié au ^{226}Ra . Une approche commune doit être développée entre l'OFSP et l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), afin de gérer ces situations de pollutions mixtes.

La surveillance des décharges susceptibles de contenir des déchets contaminés au radium constitue un second volet du plan d'action, mené en étroite collaboration avec l'OFEV ainsi que les communes et cantons concernés. L'exemple de l'ancienne décharge du Lischenweg à Bienne a montré qu'il est possible encore aujourd'hui de découvrir des déchets contaminés au radium avec des niveaux de radioactivité parfois élevés dans les anciennes décharges même s'il s'agit de contaminations très localisées. Durant l'année 2018, l'OFSP a élaboré une stratégie permettant de sélectionner les anciennes décharges figurant au cadastre des sites pollués qui pourraient potentiellement contenir des déchets contaminés au ^{226}Ra . Les décharges ainsi sélectionnées feront l'objet d'une classification selon le risque potentiel pour les travailleurs et l'environnement en cas de travaux d'excavation. Le risque sanitaire pour la population est en effet minime tant qu'une telle ancienne décharge reste fermée. Des mesures de protection correspondantes au niveau de risque, comme par exemple le tri systématique des matériaux excavés, ont été définies. La stratégie sera présentée aux cantons concernés courant 2019; s'en suivra la publication d'un rapport final. La surveillance radiologique des anciennes décharges s'inscrit sur le long terme et sera intégrée aux prestations de base de l'OFSP.

Pour les informations détaillées, se référer aux chapitres 9.4.

Emissions de radionucléides provenant des hôpitaux

Les hôpitaux utilisent depuis de nombreuses années de ^{131}I pour le diagnostic et le traitement de maladies de la thyroïde. Les patients suivant une thérapie à l'iode et ayant reçu moins de 200 MBq (1 méga Bq = 10^6 Bq) en ambulatoire peuvent quitter l'hôpital après la thérapie. Les patients ayant reçu plus de 200 MBq doivent être isolés dans des chambres spéciales pendant les premières 48 heures au moins suivant le traitement. Les excréments de ces patients sont collectés dans des cuves de décroissance dédiées au contrôle des eaux usées et ne sont rejetées dans l'environnement qu'après diminution de leur activité en dessous des valeurs limites d'immissions. Dans le cadre de la surveillance de l'environnement, des échantillons d'eaux usées sont prélevés chaque semaine dans les stations d'épuration des grandes agglomérations et analysés afin de déterminer leur concentration en ^{131}I . Les résultats des mesures ont montré que même si des traces d' ^{131}I (1-2 Bq/l) sont parfois détectées dans les eaux de lavage des fumées des usines d'incinération ou dans les STEP des grandes villes, les valeurs se situent nettement en dessous des valeurs limites d'immissions définies dans l'ordonnance sur la radioprotection. Notons toutefois que des traces d' ^{131}I (10 à 20 mBq/l) ont été décelées dans les échantillons mensuels d'eaux du Ticino à Riazzino en juillet-août, ainsi qu'en novembre 2018. Ces faibles contaminations sont très probablement dues à des patients traités en ambulatoire à ^{131}I . En effet, après avoir quitté l'hôpital les excréments de ces patients, qui contiennent encore de ^{131}I , peuvent atteindre les rivières via les eaux usées.

D'autres radionucléides comme ^{90}Y , le ^{177}Lu et depuis 2013 le ^{223}Ra sont également utilisés par des applications diagnostiques et thérapeutiques. Si l'utilisation du premier est en diminution constante depuis 2010, l'activité annuelle totale de ^{177}Lu appliquée en Suisse a plus que triplé entre 2007 et 2018 et dépasse depuis 2015 celle du ^{131}I . L'utilisation du ^{223}Ra est encore faible et en diminution en 2018 par rapport à 2017. En 2014, l'OFSP avait réalisé un programme spécifique de mesure du ^{223}Ra afin de suivre la dispersion de ce radionucléide depuis son émission et de s'assurer que la majeure partie de l'activité émise se retrouvait bien dans les boues d'épuration et non dans les rivières, puis dans l'environnement (voir rapport « Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse 2014 » de l'OFSP).

Pour davantage d'informations, consulter les chapitres 9.2 et 9.3

Radioactivité assimilée par le corps humain

L'assimilation de radionucléides par l'intermédiaire de la nourriture peut être recensée par des mesures au corps entier (pour les émetteurs gamma) ainsi que par des analyses de la teneur en ^{90}Sr dans les dents de lait et les vertèbres humaines. Les mesures au corps entier réalisées aux hôpitaux universitaires genevois depuis près de 40 ans n'ont pu avoir lieu en 2018, mais reprendront en 2019. Sur la base des résultats des années précédentes, il est possible de déterminer les activités du ^{40}K présent naturellement dans le corps humain : celles-ci s'élèvent en moyenne à environ 56 Bq/kg chez les femmes et à 71 Bq/kg chez les hommes. La teneur en ^{90}Sr dans les vertèbres et les dents de lait n'est plus aujourd'hui que de l'ordre de la dizaine de mBq/g de calcium (figure 4). Le strontium est assimilé par le corps humain comme le calcium dans les os et les dents.

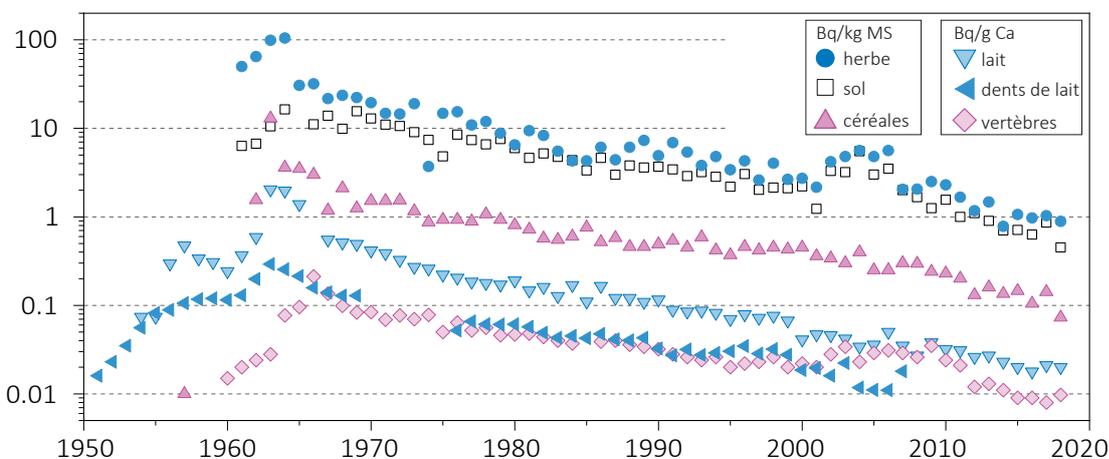


Figure 4:
 ^{90}Sr dans divers échantillons prélevés entre 1950 et 2018.

Les vertèbres sont choisies comme indicateur de la contamination du squelette car ce sont des os particulièrement spongieux, échangeant rapidement le calcium avec le plasma sanguin. Le prélèvement de vertèbres sur des personnes décédées dans l'année en cours permet de déterminer le niveau de contamination de la chaîne alimentaire en ^{90}Sr . Quant à la formation des dents de lait, elle débute, dans les mois précédant la naissance et se poursuit durant la période d'allaitement. La mesure du strontium s'effectue lorsque la dent de lait tombe d'elle-même. Elle donne une indication rétroactive de la contamination de la chaîne alimentaire de la mère à l'époque de la naissance de l'enfant. Les valeurs de strontium mesurées dans les dents de lait (figure 4) sont donc répertoriées en fonction de l'année de naissance de l'enfant. Ceci explique que les courbes relatives aux dents de lait et au lait montrent une évolution pratiquement parallèle.

Pour les informations détaillées, se référer aux chapitres 6.1 et 6.2

Evaluation

En Suisse, les concentrations de radionucléides dans l'environnement et les doses d'irradiation de la population dues aux sources de rayonnements artificielles sont restées en 2018, comme les années précédentes, nettement inférieures aux limites légales; le risque sanitaire correspondant peut donc être considéré comme très faible.

Il existe des différences régionales de répartition de la radioactivité naturelle et artificielle dans l'environnement. Si la radioactivité naturelle est essentiellement influencée par la géologie, la part de radioactivité artificielle, comme conséquence des essais nucléaires et de l'accident de Tchernobyl, est, elle aussi, distribuée de manière inhomogène sur le territoire suisse. Le ^{137}Cs radioactif de Tchernobyl a par exemple principalement été déposé au Tessin où il est encore présent dans de nombreux échantillons, ainsi que, dans une moindre mesure, sur les reliefs jurassiens et dans certaines parties du nord-est de la Suisse. Les concentrations mesurées diminuent régulièrement depuis 1986, mais des dépassements de la valeur maximale pour le ^{137}Cs fixée dans l'Ordonnance Tchernobyl sont toujours observés en 2018 dans certaines denrées sensibles comme les champignons ou la viande de certains sangliers du Tessin.

Les résultats des mesures effectuées dans le cadre de la surveillance des centrales nucléaires et des centres de recherche sont semblables à ceux enregistrés au cours des années précédentes. Même si des traces de radionucléides émis par ces installations sont décelables dans l'environnement, (par exemple le ^{14}C dans les feuillages ou les isotopes du cobalt dans les sédiments au voisinage des centrales nucléaires ou encore l' ^{41}Ar ou l' ^{131}I dans l'air au voisinage des centres de recherche), les rejets qui en sont à l'origine sont nettement inférieurs aux limites autorisées et n'ont conduit à aucun dépassement des valeurs limites d'immissions. La surveillance mise en œuvre au voisinage des entreprises utilisatrices de tritium a montré un marquage nettement mesurable de l'environnement (précipitations, denrées alimentaires) par ce radionucléide à proximité immédiate de ces entreprises. A Niederwangen, les concentrations enregistrées dans les précipitations ont ainsi atteint au maximum 7.7% de la valeur limite d'immissions pour le tritium dans les eaux accessibles au public. Si des valeurs plus élevées de ^3H ont également été mesurées dans les échantillons de denrées alimentaires prélevées dans cette localité, elles n'ont pas présenté de risque pour la santé des consommateurs. Quant aux rejets d'effluents radioactifs liquides par les hôpitaux, ils ne sont décelables que sporadiquement dans les eaux des stations d'épuration des grandes villes, à l'exception d' ^{131}I mesuré à plusieurs reprises en 2018 dans les eaux du Ticino à Riazzino, et provenant de patients traités en ambulatoire à l' ^{131}I .

En conclusion, les conséquences radiologiques liées au fonctionnement des centrales nucléaires, centres de recherche et industries sont restées très faibles pour les populations avoisinantes. Les traces de radioactivité artificielle décelées reflètent un fonctionnement normal de ces installations et témoignent de l'efficacité des programmes de surveillance mis en œuvre.

1.2

Umweltüberwachung : Zusammenfassung

S. Estier, P. Steinmann

Sektion Umweltradioaktivität (URA), BAG, 3003 Bern

Auftrag und Messprogramm

Überwachung der Umweltradioaktivität

Die Strahlenschutzverordnung (StSV) überträgt in Artikel 191 dem BAG die Verantwortung für die Überwachung der ionisierenden Strahlung und der Radioaktivität in der Umwelt.

Das Überwachungsprogramm besteht aus mehreren Teilen. Ziel ist einerseits der schnelle Nachweis jeder zusätzlichen radioaktiven Belastung künstlichen Ursprungs, die schwerwiegende Auswirkungen auf die Gesundheit der Bevölkerung haben kann (Strahlenunfall). Mit dem Überwachungsprogramm sollen andererseits auch die Referenzwerte für die Umweltradioaktivität in der Schweiz und deren Schwankungen bestimmt werden, damit die Strahlendosen für die Schweizer Bevölkerung ermittelt werden können. Diese allgemeine Überwachung umfasst zudem die Messung der Kontaminationen als Folge der oberirdischen Kernwaffenversuche der USA und der Sowjetunion in den 50er und 60er Jahren sowie des Reaktorunfalls von Tschernobyl.

Mit der Überwachung müssen sich ausserdem die effektiven Auswirkungen von Kernanlagen, Forschungszentren und Unternehmen, die radioaktive Substanzen einsetzen, auf die Umwelt und die Bevölkerung in der Umgebung feststellen lassen. Diese spezifische Überwachung der Betriebe, welche über eine streng beschränkte Bewilligung zur Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umwelt verfügen, erfolgt in Zusammenarbeit mit den betreffenden Aufsichtsbehörden, das heisst mit dem eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) für die Kernkraftwerke und der Suva für die Industriebetriebe. Sie beginnt mit der Überprüfung der Einhaltung der Abgabelimiten bei den Emissionen (Freisetzung von radioaktiven Stoffen) und setzt sich mit der Überwachung der Immissionen – der effektiv in der Umwelt gemessenen Konzentrationen – fort.

Um allen diesen Zielen nachzukommen, erstellt das BAG jährlich ein Probenahme- und Messprogramm in Zusammenarbeit mit dem ENSI, der Suva und den Kantonen (Art. 193 StSV). Es koordiniert dieses Überwachungsprogramm, an dem auch andere Laboratorien des Bundes und verschiedene Hochschulinstitute beteiligt sind. Die Liste der am Überwachungsprogramm beteiligten Laboratorien findet sich in den Anhängen 1 und 2. Das BAG sammelt und wertet die Daten aus und veröffentlicht jährlich die Ergebnisse der Radioaktivitätsüberwachung zusammen mit den für die Bevölkerung daraus resultierenden Strahlendosen (Art. 194 StSV).

Messprogramm (siehe Anhänge 3 und 4)

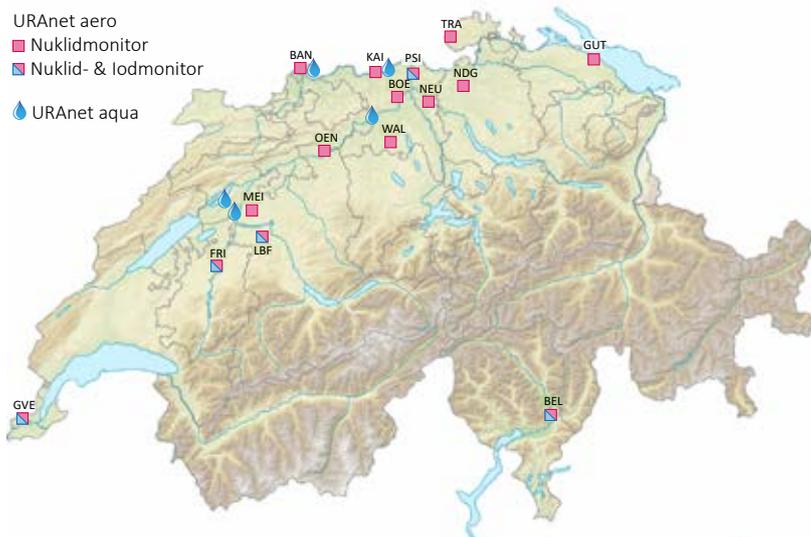
Das Überwachungsprogramm umfasst zahlreiche Umweltbereiche von der Luft über Niederschläge, Boden, Gras, Grundwasser und Oberflächengewässer, Trinkwasser und Sedimente bis zu Nahrungsmitteln. Seit 2010 werden auch Milchzentralen und Grossverteiler von Milch in der ganzen Schweiz beprobt. Messungen vor Ort (In-situ-Gammaspektrometrie), welche die auf dem Boden abgelagerte Radioaktivität direkt erfassen, vervollständigen diese Analysen. Mit Untersuchungen der Radioaktivität im menschlichen Körper werden auch Kontrollen am Ende der Kontaminationskette durchgeführt.

Ergänzt wird dieses allgemeine Programm durch Analysen von Stichproben in den Kernanlagen während kontrollierten Abgaben sowie in Abwässern aus Kläranlagen, Deponien und Kehrrechtverbrennungsanlagen.

Automatische Messnetze erfassen die Gamma-Dosisleistung über das ganze Land (NADAM = Alarm- und Messnetz zur Bestimmung der Dosisleistung) sowie speziell in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK = Messnetz in der Umgebung der Kernanlagen zur Bestimmung der Dosisleistung). Die kontinuierliche Überwachung der Radioaktivität der Aerosole und des Flusswassers (Figur 1) wird durch die automatischen Messnetze URAnet des BAG sichergestellt: URAnet «aero» für die Überwachung der Luft und URAnet «aqua» für die Überwachung des Flusswassers. Zusätzlich zu den automatischen Messungen werden von Aerosolen, Niederschlägen und Flusswasser kontinuierlich Proben für empfindliche Messungen im Labor entnommen. Die Überwachung von Sedimenten, Erdproben, Gras, Milch und Lebensmitteln (inklusive Importe) erfolgt stichprobenweise. Die Daten werden in einer nationalen Datenbank beim BAG erfasst. Die Messresultate der automatischen Messnetze sowie ein Grossteil der Ergebnisse der Labormessungen sind auf www.radenviro.ch abrufbar. Hingegen werden die Ergebnisse von speziellen Messprogrammen (z.B. Messungen von Wirbelknochen oder Milchzähnen; ^{14}C -Messungen in Baumblättern) zurzeit noch ausschliesslich im hier vorliegenden Jahresbericht publiziert. Die Messprogramme sind vergleichbar mit denjenigen unserer Nachbarländer. Die Methoden für die Probenentnahme und die Messprogramme entsprechen dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik. Die Qualitätskontrolle erfolgt durch eine regelmässige Teilnahme der Laboratorien an nationalen und internationalen Vergleichsmessungen.

Das neue automatische Messnetz URAnet

Das neue automatische Messnetz zur Überwachung der Radioaktivität in der Luft (URAnet aero) ist seit September 2018 vollständig in Betrieb. Es ersetzt das veraltete RADAIR Messnetz, das nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl aufgebaut wurde. Das neue Messnetz ermöglicht die Identifikation und Quantifizierung der einzelnen im Aerosol vorhandenen Radionuklide (Gammaemitter) und alarmiert, wenn vordefinierte Warnschwellen überschritten sind. Es umfasst, über das ganze Land verteilt, 15 Messsonden (siehe Figur 1). Das Messnetz deckt alle geographischen Regionen ab, ist aber im Einflussbereich der Kernkraftwerke und dort insbesondere in stark besiedeltem Gebiet verdichtet.



Figur 1: Automatische Messnetze zur Überwachung der Radioaktivität in der Luft (URAnet aero) und im Flusswasser (URAnet aqua).

Das neue Messnetz ist auch bezüglich Empfindlichkeit deutlich besser als sein Vorgänger: Für eine 12-Stunden Messung erreicht es eine Nachweisgrenze von 1 bis 2.5 mBq/m³ für ^{137}Cs . Diese hohe Empfindlichkeit erlaubt es künftig auch sehr geringe Konzentrationen von Radioaktivität in der Luft rasch zu erkennen, auch wenn diese noch keine Gefahr für die Gesundheit darstellen, und ermöglicht so, die Abschätzung der Strahlendosis für die Bevölkerung zu verbessern.

Der Teil «Flusswasser» von URAnet (URAnet aqua) ist mit fünf Sonden in der Aare und im Rhein seit November 2015 in Betrieb. Mit der vollständigen Inbetriebnahme des Teiles «Luft» verfügt die Schweiz jetzt über ein zweckmässiges und leistungsfähiges automatisches Messnetz zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt.

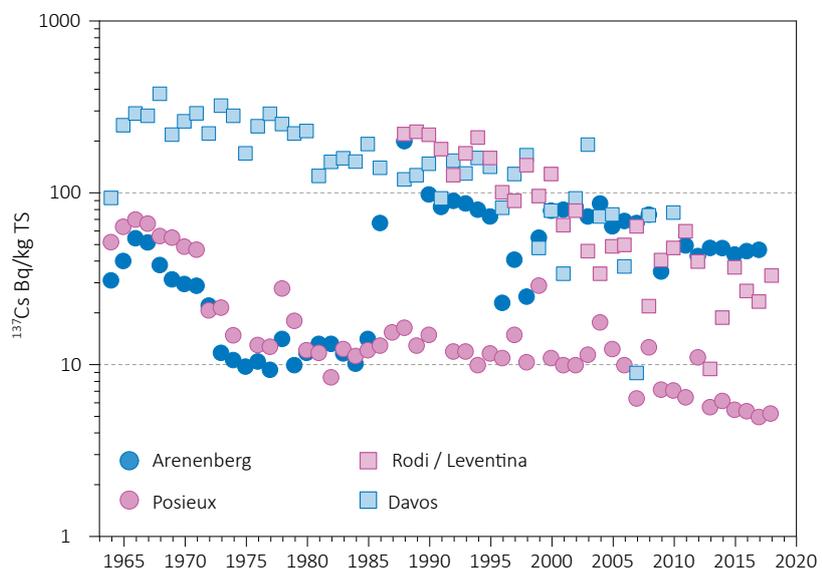
Ergebnisse der Umweltüberwachung 2018

Allgemeine Überwachung von Luft, Niederschlag, Gewässer, Boden, Gras sowie Milch und anderen Lebensmitteln

Die Resultate 2018 der Überwachung der Radioaktivität in Luft, Niederschlag, Gras und Boden sind vergleichbar mit jenen aus den Vorjahren und bestätigen, dass in diesen Umweltkompartimenten der überwiegende Teil der Radioaktivität natürlichen Ursprungs ist. Die Luftmessungen mit Hochvolumen-Aerosolfiltern (für online-Resultate siehe www.radenviro.ch) zeigen im Wesentlichen natürliche Radionuklide wie das kosmogene ^7Be oder ^{210}Pb .

Bei den Niederschlägen ist die Radioaktivität vorwiegend auf ^7Be und Tritium – beides Produkte der kosmischen Strahlung – zurückzuführen. Für das Tritium stellen auch Abgaben aus Kernkraftwerken und gewissen Industriebetrieben weitere Quellen dar (siehe entsprechende Abschnitte zu diesen Betrieben). In den Flüssen beträgt der natürlich bedingte Tritiumgehalt in der Regel nur wenige Bq/l.

Im Erdboden dominieren die natürlichen Radionuklide der Uran- und Thorium-Zerfallsreihen sowie das ^{40}K . Künstliche Radioisotope im Boden stammen aus den Ablagerungen aus der Luft und zeigen regionale Unterschiede, die mit dem unterschiedlichen «Fallout» von Radioaktivität aus den oberirdischen Kernwaffenversuchen und dem Tschernobyl-Reaktorunfall zusammenhängen. In den Alpen und Südalpen sind die Werte von ^{137}Cs (siehe Figur 2) und ^{90}Sr immer noch etwas höher als im Mittelland. Künstliche Alphastrahler wie ^{239}Pu und ^{240}Pu sowie ^{241}Am treten im Erdboden nur in sehr geringen Spuren auf.



Figur 2: ^{137}Cs (in Bq/kg Trockenmasse) in Bodenproben verschiedener Stationen der Schweiz (1964 - 2018).

In Gras- und Lebensmittelproben dominiert das natürliche ^{40}K . Künstliche Radionuklide wie ^{137}Cs oder ^{90}Sr (siehe Figur 4), die von den Pflanzen über die Wurzeln aufgenommen werden, sind im Gras nur noch in Spuren vorhanden. Die regionale Verteilung ist dabei ähnlich wie für den Boden.

Getreide-, Gemüse- und Fruchteproben aus der Schweiz zeigten keine nennenswerten Aktivitäten von künstlichen Radioisotopen, mit der Ausnahme von ^{137}Cs -Spuren in einer Getreideprobe (0.4 Bq/kg) aus dem Tessin und einem Salat (0.1 Bq/kg Frischgewicht) aus der Nordschweiz. Bei der Kuhmilch lag der ^{137}Cs Gehalt meist unter der Nachweisgrenze von ca. 0.02 bis 1 Bq/l, je nach Messlabor. Nur wenige der über 130 im Berichtsjahr gemessenen Milchproben zeigten messbare Konzentrationen von ^{137}Cs . Die Probe mit dem höchsten Wert stammt aus dem Tessin (11 Bq/l); die anderen Proben (aus den Bündner Südtälern) zeigten nur Spuren (<1 Bq/l). Damit lagen die gemessenen Konzentrationen weit unter dem Höchstwert der Tschernobyl-Verordnung von 600 Bq/l, der für als Folge dieses Unfalls kontaminierte Lebensmittel gilt. Das Tessin war ja die vom Tschernobyl-Unfall am stärksten betroffene Region der Schweiz, was erklärt, warum das ^{137}Cs auch mehr als 30 Jahre nach dem Unfall in gewissen Proben noch messbar ist. Die vom Kantonalen Laboratorium BS, dem IRA in Lausanne und dem Labor Spiez gemessenen ^{90}Sr -Konzentrationen in 66 Milchproben waren alle deutlich unterhalb von 1 Bq/l (ehemaliger FIV-Toleranzwert). Der maximale Messwert betrug 0.2 Bq/l.

Gewisse einheimische Wildpilze, zum Beispiel Maronenröhrling oder Zigeuner (Reifpilz), können immer noch erhöhte Gehalte von ^{137}Cs aufweisen. 2018 analysierten die Kantonalen Laboratorien (TI, ZH und AG) 64 Proben einheimischer Pilze. Zwei im Kanton Tessin gesammelte Maronenröhrlingproben überschritten den

in der Tschernobyl-Verordnung festgelegten Höchstwert von 600 kg/Bq für ^{137}Cs . Auch 2018 hat der Kanton Tessin die systematischen Kontrollen von auf der Jagd erlegten Wildschweinen weitergeführt. Die dabei angewandten Triagemessungen mit einem Dosisleistungsmessgerät wurden im Jahr 2013 durch den Kanton in Zusammenarbeit mit dem BAG eingeführt. Von den 571 kontrollierten Tiere überschritten 4.4% den Höchstwert von 600 Bq/kg aus der Tschernobyl-Verordnung und wurden vom Kantonstierarzt konfisziert.

Nach dem Reaktorunfall in Fukushima-Daiichi hat die Schweiz gleich wie die Europäische Union ein Programm für die Kontrolle von Lebensmittelimporten aus Japan aufgestellt. Seit 2017 ist die Zahl der Proben jedoch stark zurückgegangen: nur 10 Proben aus Japan wurden 2018 von den Kantonalen Laboratorien (ZH) gemessen, gegenüber von mehr als 80 Proben im Jahr 2016. Der Rückgang erklärt sich aus der Tatsache, dass bereits 2016 praktisch kein ^{137}Cs in Lebensmittelproben aus Japan mehr nachgewiesen werden konnte. Die Messungen von 2018 bestätigen diesen Befund, da in keiner Probe radioaktive Verunreinigungen festgestellt wurden.

Lebensmittelimporte aus anderen Ländern und speziell aus Osteuropa wurden, wie jedes Jahr, von den Kantonalen Laboratorien ebenfalls analysiert. Meist handelte es sich dabei um Proben von Wildbeeren (und Produkte aus Wildbeeren), Wildfleisch und Wildpilze – alles Lebensmittel, die bekannt dafür sind ^{137}Cs anzureichern. Die meisten Proben zeigten nur geringe Spuren von ^{137}Cs . Sporadisch tauchten etwas höhere Werte auf, vor allem in Wildpilzen (Maximum 51 Bq/kg Frischmasse), aber sämtliche Werte blieben deutlich unterhalb des Höchstwertes für ^{137}Cs der Tschernobyl-Verordnung.

Insgesamt sind also die wenigen 2018 in der Schweiz festgestellten Überschreitungen des Höchstwertes der Tschernobyl-Verordnung in einheimischen Lebensmitteln noch immer eine Folge des Reaktorunfalles in Tschernobyl – auch mehr als 30 Jahre danach.

[Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 4, 5 und 7.2.](#)

Überwachung in der Umgebung von Kernanlagen

Bei den Kernkraftwerken werden die Grenzwerte für die Emissionen radioaktiver Stoffe durch die Bewilligungsbehörde so festgelegt, dass niemand der in der Umgebung wohnt eine Dosis von mehr als 0.3 mSv pro Jahr erhalten kann (einschliesslich direkte Strahlung). Der Betreiber muss seine Emissionen erfassen und dem ENSI mitteilen. Die den Behörden gemeldeten Abgaben werden regelmässig durch parallele Messungen von Betreibern, ENSI und BAG an Aerosol- und Iodfiltern sowie Abwasserproben überprüft. Die verschiedenen Kontrollen haben bestätigt, dass die schweizerischen Kernkraftwerke die Abgabengrenzwerte 2018 eingehalten haben.

An einigen Stellen der Arealzäune der Kernkraftwerke Leibstadt und Mühleberg ist Direktstrahlung aus dem Werk gut messbar. Bei diesen Kraftwerken zeigt die Auswertung der am Zaun angebrachten Dosimeter eine Erhöhung der Ortsdosis, die nach Abzug des natürlichen Untergrundes 1.1 mSv erreichen kann. Diese Werte erfüllen die Anforderungen von Art. 79 der StSV zur Begrenzung der Ortsdosis ausserhalb von Kontroll- und Überwachungsbereichen, da sich keine Person dauerhaft an diesen Orten aufhält. Hier ist zu beachten, dass die Immissionsgrenzwerte für Direktstrahlung für die Ortsdosis gelten und sich nicht auf Personendosen beziehen. Diese Werte können daher nicht mit dem quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0.3 mSv/Jahr für die Bevölkerung verglichen werden, da sich keine Person aus der Bevölkerung für lange Zeit am Zaun aufhält.

Die Ergebnisse des Immissionsüberwachungsprogrammes für die Umgebung der Kernkraftwerke zeigen für 2018 für diese nur einen geringen Einfluss auf die Umwelt (siehe Kapitel 8.5 des vorliegenden Berichtes). Mit hochempfindlichen Messmethoden konnten Spuren der Abgaben an die Atmosphäre festgestellt werden, etwa erhöhte Werte für ^{14}C im Laub (maximale Erhöhung gegenüber der Referenzstation von 94 Promille in der Umgebung des Kernkraftwerks Leibstadt). Zur Orientierung: Eine zusätzliche ^{14}C -Aktivität von 100 Promille in den Lebensmitteln würde zu einer zusätzlichen jährlichen Dosis von einem Mikrosievert führen. Die Tritiumkonzentrationen im Niederschlag in der Umgebung der Kernkraftwerke sind tief geblieben.

Bedingt durch den deutlichen Rückgang der Abgabe flüssiger radioaktiver Stoffe durch das Kernkraftwerk Mühleberg enthielten die Wasserproben aus Aare und Rhein flussabwärts der Kernkraftwerke 2018 keine messbaren Spuren von ^{54}Mn , ^{58}Co oder ^{60}Co . In früheren Jahren konnten Spuren dieser Radionuklide regelmässig detektiert werden, besonders unterhalb des Kernkraftwerks Mühleberg. Das ^{137}Cs , welches in Wasserproben aus Aare und Rhein vorhanden ist, stammt im Wesentlichen aus der Remobilisierung von alten Ablagerungen (Tschernobyl und Atombombenversuche der 60er Jahre). Sichtbar sind die Abgaben der Kernkraftwerke über das Abwasser dagegen in den monatlichen Sedimentproben aus Aare und Rhein, wo sporadisch ^{54}Mn und ^{60}Co (in Aaresedimenten) beziehungsweise nur ^{60}Co (in einigen Sedimentproben aus dem Rhein bei Pratteln) nachgewiesen werden.

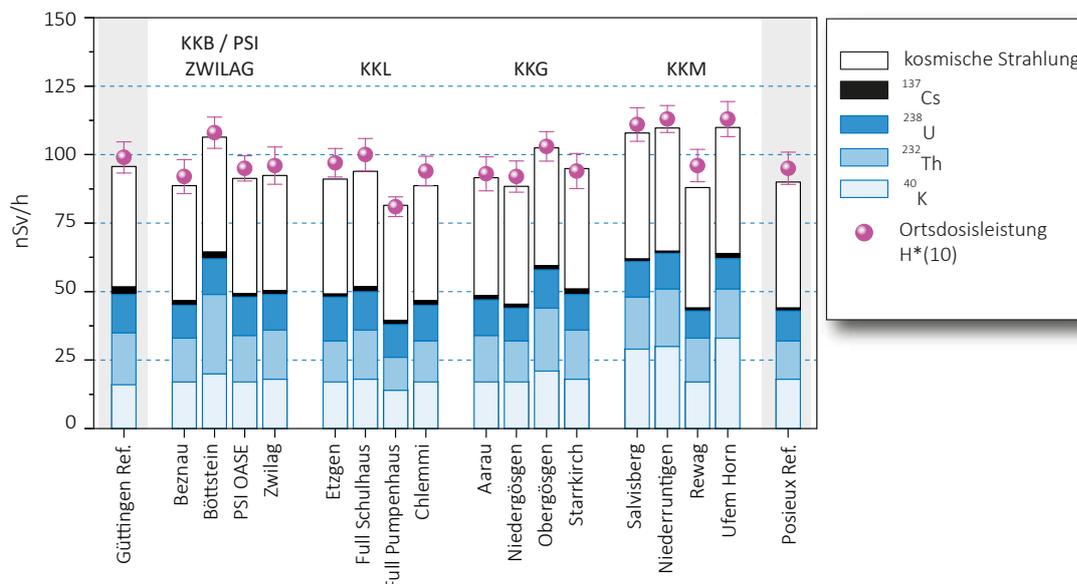
Die Monatsmittelwerte für Tritium in der Aare und im Rhein blieben meist unter der Nachweisgrenze von 2 Bq/l mit Ausnahme der Monate Mai bis Juni, wo wie jedes Jahr in der Aare bei Brugg eine leichte Erhöhung der Werte festgestellt wurde (15 Bq/l in der Aare bei Brugg im Mai). Die Ursache ist die Abgabe von Tritiumhaltigem Abwasser durch das KKW Gösgen vor der Revision.

Die Radioaktivitätsmessungen an Fischen, gefangen in der Aare und im Rhein unterhalb KKM, KKB und KKL, haben 2018 keine künstlichen Gammaemitter gezeigt. Gleiches gilt für die gemessenen Grundwasserproben. Die Resultate der Radioaktivitätsmessungen in Lebensmitteln aus der Umgebung der Kernkraftwerke sind ähnlich wie jene von Proben aus entfernten Gebieten im Mittelland.

Im Drainagewasser des Standortes des ehemaligen Kernreaktors in Lucens wurden seit den verdichteten Kontrollmessungen im Frühling 2012 keine erhöhten Tritiumwerte mehr festgestellt.

Wie die Figur 3 zeigt ergaben die Umweltmessungen in der Umgebung der Kernkraftwerke mit Ausnahme der erwähnten Beispiele keine Unterschiede gegenüber Orten ausserhalb des Einflussbereichs der Kernkraftwerke. Die natürliche Radioaktivität dominiert demnach, und die messbaren Kontaminationen sind vorwiegend eine Folge der Kernwaffenversuche in den 60er-Jahren und des Reaktorunfalls in Tschernobyl (^{137}Cs).

Im Vergleich zur Belastung durch natürliche Quellen oder medizinische Anwendungen führen die Emissionen der Kernkraftwerke für die Bevölkerung also nur zu sehr geringen Strahlendosen. Trotzdem gebietet



Figur 3: Beiträge zur Ortsdosis ($H^*(10)$) durch die verschiedenen Radionuklide, die vom BAG 2018 an verschiedenen Stellen in der Umgebung der Schweizer Kernkraftwerke sowie an den Referenzstandorten Güttingen und Posieux (grau unterlegt) gemessen wurden. Diese Beiträge wurden ausgehend von Messungen durch In-situ-Gammaspektrometrie berechnet. Ausserdem ist das Ergebnis der direkten Messung der Gesamtdosis mit Hilfe einer Ionisationskammer dargestellt. Damit lässt sich die Zuverlässigkeit der Methode abschätzen (siehe auch Kapitel 3.1).

der Grundsatz der Optimierung, dass die Kontrollen und Studien sorgfältig weitergeführt werden, um den verschiedenen wissenschaftlichen und gesetzlichen Zielsetzungen Rechnung zu tragen und die Öffentlichkeit detailliert informieren zu können.

Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 3.1, 4.4, 7.1, 7.2 und 8.1 bis 8.5.

Überwachung der Forschungszentren

Beim CERN hat die interne Emissionskontrolle der Anlagen gezeigt, dass die tatsächlichen Abgaben 2018 deutlich unter den gesetzlichen Grenzwerten lagen. Dies bestätigt auch das unabhängige Überwachungsprogramm des BAG, das in der Umgebung des Forschungszentrums durchgeführt wurde. Die Messergebnisse zeigten vereinzelt Spuren der Radionuklide, die in den Beschleunigern des CERN erzeugt werden, namentlich ^{24}Na , ^{41}Ar und ^{131}I in der Luft. Die Strahlenbelastung durch das CERN für die Umwelt und die Bevölkerung in der Umgebung bleibt sehr gering; die maximalen Aktivitäten der Radionuklide, die auf die Tätigkeit des CERN zurückzuführen sind, erreichen nur einen kleinen Bruchteil der in der Schweiz gesetzlich festgelegten Immissionsgrenzwerte.

Die zusätzliche Dosis für die Bevölkerung in der Umgebung von PSI/ZWILAG darf für beide Anlagen zusammen maximal 0.15 mSv/Jahr betragen. Die Auswertungen des ENSI zeigen, dass die tatsächlichen Abgaben des PSI/ZWILAG zu einer Dosis von 0.007 mSv/Jahr führen, d.h. 5% des Grenzwertes. Die Abgabe von kurzlebigen Edelgasen aus den Teilchenbeschleuniger am PSI-West ist für praktisch die ganze Dosis verantwortlich. Die Umweltüberwachung wird vom PSI selber sowie mit unabhängigen Messungen durch das BAG durchgeführt. Ausser einigen sporadisch auftretenden erhöhten Tritiumkonzentrationen im Regenwasser zeigten die Überwachungsmessungen in der Umgebung des PSI keinen Einfluss der Forschungseinrichtungen auf die Umwelt.

Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 8.

Tritium aus der Industrie

Auch gewisse Industriebetriebe setzen radioaktive Stoffe ein. Tritium ist das in der Schweiz am häufigsten industriell verwendete Radionuklid und wird zum Beispiel zur Herstellung von Tritiumgas-Leuchtquellen oder von radioaktiven Markern für die Forschung verwendet. Die Betriebe führen Buch über ihre Emissionen von radioaktiven Stoffen und melden diese der Aufsichtsbehörde. Im Jahr 2018 haben alle betroffenen Betriebe die in ihren jeweiligen Bewilligungen festgehaltenen Abgabelimiten respektiert. Zur Kontrolle der Immissionen in der Umgebung dieser Betriebe führt das BAG ein spezifisches Überwachungsprogramm durch. Auf Tritium untersucht werden Niederschläge, Luftfeuchtigkeit, Gewässer und in einigen Fällen auch Lebensmittel.

Wie in den vorangegangenen Jahren zeigten die Resultate der Überwachung 2018 einen signifikanten Einfluss der Tritium-Emissionen auf Umweltproben (Niederschlag und Nahrungsmittel) aus der unmittelbaren Umgebung dieser Industriebetriebe, besonders bei Niederwangen. Dort betrug die Tritiumkonzentration im Niederschlag bei der Station «Firma» (in der Nachbarschaft der Firma mb-microtec) im Mittel 652 Bq/l mit einem Maximum von 1'534 Bq/l im März. Dieser Wert entspricht 7.7% des in der neuen Strahlenschutzverordnung festgelegten Immissionsgrenzwertes für öffentlich zugängliche Gewässer. Erhöhte Tritiumwerte wurden auch in den Destillaten von Ende August in der Umgebung des Betriebes geernteten Früchten und Gemüse (Äpfel, Birnen, Zwetschgen, Rhabarber, verschiedene Gemüse) gefunden, mit einem Höchstwert von 331 Bq/l im Destillat einer Zwetschgenprobe und 234 Bq/l im Destillat einer Apfelprobe. In Milchproben waren die Tritiumkonzentrationen tiefer, mit einem Maximum von 23 Bq/l.

Diese Tritiumgehalte sind zwar signifikant höher als normal, stellen aber trotzdem kein Risiko für die Gesundheit für Konsumenten dar: Der regelmässige Verzehr (50 kg/Jahr) des Produktes mit der höchsten 2018 gemessenen Tritiumkonzentration führte zu einer zusätzlichen Strahlendosis von 1 bis 2 Mikro-Sv je nach Alter der betroffenen Person und der chemischen Form des Tritiums. Die Suva, als zuständige Aufsichtsbehörde, hat mit der Firma bereits nach den 2017 festgestellten erhöhten Tritiumkonzentrationen in Lebensmitteln mögliche Massnahmen besprochen, um die Emissionen langfristig zu senken. Die Firma wird noch dieses Jahr die Arbeiten zur Renovation des Lüftungssystemes abschliessen, sodass für das nächste Jahr mit geringeren Tritiumabgaben gerechnet werden kann.

Die Tritiumkonzentrationen in den wöchentlichen Regenproben von Teufen/AR in der Umgebung der Firma RC Tritec sind deutlich tiefer. Mit einem Maximum von 160 Bq/l und einem Medianwert von 25 Bq/l gehören die dort im Jahr 2018 gemessenen Tritiumkonzentrationen zu den tiefsten seit Beginn der Überwachung.

Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 5, 9.1 und 9.3.

Radium-Altlasten

Der vom Bundesrat im Mai 2015 verabschiedete Aktionsplan Radium 2015-2019 hat das Ziel, die durch die Verwendung von radiumhaltiger Leuchtfarbe bis in die 1960er Jahre entstandenen Altlasten zu bewältigen.

Seit 2014 bis Ende 2018 wurden in nahezu 540 Gebäuden mit über 3'000 Wohnungen (oder Gewerbelokalitäten) eine Radiumdiagnose durchgeführt, im Wesentlichen in den Kantonen Neuenburg, Bern und Solothurn, aber auch in einigen weiteren Kantonen wie Basel-Land, Genf, Jura, Tessin, Waadt und Zürich.

Werden in Innenräumen Spuren von Radium festgestellt, so evaluiert das BAG anhand der Messergebnisse und mit Expositionsszenarien die zusätzliche Jahresdosis, der sich die Gebäudenutzenden aussetzen könnten. Diese Szenarien sollen ausschliessen, dass jemand, der diese Räumlichkeiten derzeit oder künftig nutzt, einer Strahlung oberhalb des Grenzwertes von 1 Millisievert (mSv) pro Jahr ausgesetzt wird. Zeigt die Abschätzung, dass der Grenzwert für die dem Radium potenziell am meisten ausgesetzte Person überschritten werden kann, so wird entschieden, die Räumlichkeiten zu sanieren. Gärten sind sanierungsbedürftig, wenn die Radiumkonzentration in der Erde den Grenzwert von 1'000 Becquerel pro Kilogramm Trockengewicht (Bq/kg) übersteigt.

Bei 100 der kontrollierten Liegenschaften wurde ein Sanierungsbedarf bezüglich ^{226}Ra festgestellt, wobei 70 Wohnungen (oder Gewerbelokale) und 64 Gärten betroffen sind. In den zu sanierenden Wohnungen lag die Dosisabschätzung für den meistbetroffenen Bewohner in der Mehrheit der Fälle (57) zwischen 1 und 5 mSv/Jahr. In 8 Wohnungen lag sie in einem höheren Bereich von 5-10 mSv/Jahr, in 4 Wohnungen im Bereich 10-15 mSv/Jahr und in einer Wohnung zwischen 15 und 20 mSv/Jahr. In den Bodenproben der zu sanierenden Gärten betrug der Durchschnitt der gemessenen maximalen Radiumkonzentrationen 29'000 Bq/kg. In einem Fall wurde lokal eine Konzentration von 668'200 Bq/kg gemessen.

Unter den bezüglich ^{226}Ra sanierungsbedürftigen Liegenschaften finden sich auch neun ehemalige Industriestandorte, die gleichzeitig im Altlastenverzeichnis aufgenommen sind. Hier muss ein gemeinsames Vorgehen von BAG und BAFU entwickelt werden, wie mit der Problematik dieser gemischten Kontaminationen («pollutions mixtes») umzugehen ist.

Die Überwachung von Deponien mit Verdacht auf radiumhaltige Abfälle bildet einen zweiten Schwerpunkt des Aktionsplans. Hier arbeitet das BAG eng mit dem BAFU sowie den betroffenen Gemeinden und Kantonen zusammen. Das Beispiel der ehemaligen Deponie Lischenweg in Biel hat gezeigt, dass es auch heute noch möglich ist auf Deponien stark mit Radium kontaminierte Abfälle zu finden, wenn auch lokal eng begrenzt. Im Verlauf des Jahres 2018 hat das BAG eine Strategie entwickelt, um aus dem Altlastenkataster jene Objekte zu identifizieren, die Radium-226-haltige Abfälle enthalten könnten. Diese Altlasten sollen nun entsprechend dem möglichen Risiko für Arbeiter und Umwelt klassifiziert werden, für den Fall, dass dort Aushubarbeiten durchgeführt würden. Die Schutzmassnahmen, wie zum Beispiel systematisches Aussortieren von Aushubmaterial, wurden für die verschiedenen Risikostufen festgelegt. Die Strategie wird 2019 den betroffenen Kantonen vorgestellt und danach in einem Schlussbericht veröffentlicht. Die radiologische Überwachung der erfassten Deponien wird langfristig ein Teil der Routineüberwachung des BAG sein. Für die Bevölkerung besteht durch Radium-226 kein Gesundheitsrisiko, solange eine Deponie geschlossen bleibt.

Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 9.4.

Emissionen von Radionukliden aus den Spitälern

In Spitälern wird bei der Diagnostik und Behandlung von Schilddrüsenerkrankungen ^{131}I verwendet. Iodtherapie-Patienten, die mit weniger als 200 MBq (1 MegaBq = 10^6 Bq) behandelt wurden, dürfen das Spital nach der Therapie verlassen. Bei über 200 MBq müssen die Patienten mindestens während den ersten

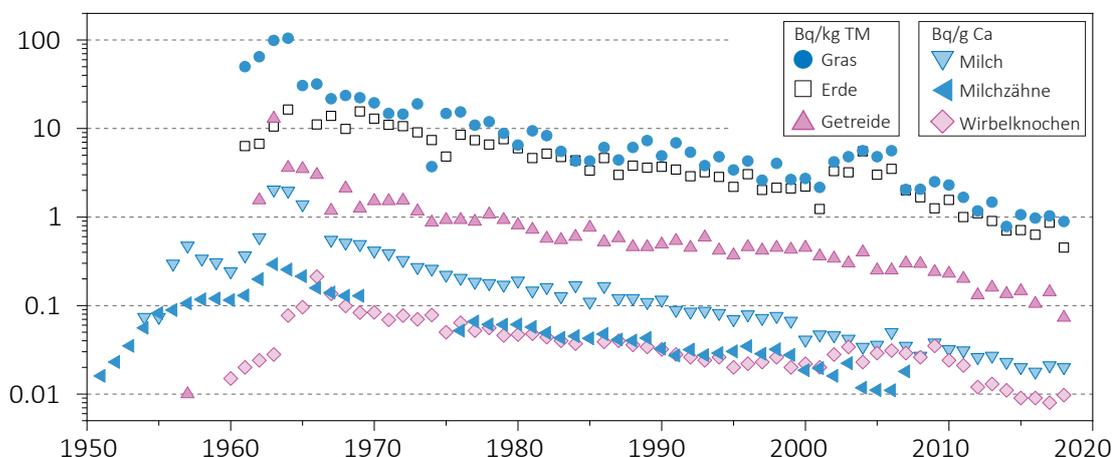
48 Stunden in speziellen Zimmern isoliert werden. Die Ausscheidungen dieser Patienten werden in speziellen Abwasserkontrollanlagen gesammelt und erst nach Abklingen unter die bewilligten Immissionsgrenzwerte an die Umwelt abgegeben. Im Rahmen der Umgebungsüberwachung werden wöchentliche Sammelp Proben von Abwasser aus den Kläranlagen der grösseren Agglomerationen auf ^{131}I untersucht. Die Messungen haben gezeigt, dass in den Abwasserproben manchmal Spuren von ^{131}I (1-2 Bq/l) nachweisbar sind, diese jedoch deutlich unter den Immissionsgrenzwerten gemäss Strahlenschutzverordnung liegen. Bemerkenswert ist, dass bei der Messung der monatlichen Wasserproben aus dem Ticino bei Riazzino von Juli, August und November 2018 Spuren von ^{131}I (10-20 mBq/l) nachgewiesen werden konnten. Diese geringen Kontaminationen stehen mit grösster Wahrscheinlichkeit in Zusammenhang mit Patienten, die ambulant mit ^{131}I behandelt wurden. Nach Verlassen des Spitals können ^{131}I -Ausscheidungen dieser Patienten via das Abwasser in den Fluss gelangen.

Zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken kommen auch andere Radionuklide wie ^{90}Y , ^{177}Lu und seit 2013 auch ^{223}Ra zum Einsatz. Während ersteres seit 2010 immer weniger verwendet wird, hat sich die Gesamtaktivität des eingesetzten ^{177}Lu über die letzten 10 Jahre mehr als verdreifacht und übertrifft seit 2015 diejenige von ^{131}I . Die Anwendung von ^{223}Ra ist weniger häufig und ging 2018 verglichen mit 2017 leicht zurück. Das BAG hat 2014 auch Messungen von ^{223}Ra durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war es, den Durchgang von ^{223}Ra via die Kanalisation in die Abwasserreinigungsanlagen besser zu verstehen und zu bestätigen, dass sich ein wesentlicher Teil im Klärschlamm ablagert und zu keiner Kontamination der Flüsse führt (siehe Jahresbericht «Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 2014»).

Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 9.2 und 9.3.

Messungen am menschlichen Körper

Die Aufnahme von Radionukliden über die Nahrung lässt sich durch Ganzkörpermessungen (für Gamma-Emitter) und die Analyse des ^{90}Sr -Gehalts in Milchzähnen und Wirbelknochen von Menschen bestimmen. Die seit rund 40 Jahren durchgeführten Ganzkörpermessungen am Universitätsspital in Genf konnten im Jahr 2018 nicht stattfinden, sie werden aber 2019 weitergeführt. Anhand der Resultate der früheren Jahre ist es möglich das natürlich im menschlichen Körper vorkommende ^{40}K zu quantifizieren: Es findet sich im Mittel in Konzentrationen von rund 56 Bq/kg bei den Frauen und 71 Bq/kg bei den Männern. Die ^{90}Sr -Konzentration in den Wirbelknochen und Milchzähnen liegt heutzutage nur noch bei einigen Zehntel Bq/g Kalzium (Figur 4). Strontium wird vom menschlichen Körper ebenso wie Kalzium in Knochen und Zähnen eingelagert. Die Wirbelknochen werden als Indikator für die Kontamination des Skeletts herangezogen, weil diese Knochen eine besonders ausgeprägte Schwammstruktur aufweisen und rasch Kalzium über das Blutplasma austauschen. An Wirbelknochen von im laufenden Jahr verstorbenen Personen lässt sich das Ausmass der Kontamination



Figur 4:
 ^{90}Sr in verschiedenen, zwischen 1950 und 2018 entnommenen Proben (logarithmische Skala).

der Nahrungskette mit ^{90}Sr eruieren. Die Milchzähne wiederum bilden sich in den Monaten vor der Geburt und während der Stillphase. Der Strontiumgehalt wird gemessen, wenn der Milchzahn von selbst ausfällt. Er gibt im Nachhinein einen Anhaltspunkt darüber, wie stark die Nahrungskette der Mutter zum Zeitpunkt der Geburt des Kindes kontaminiert war. Die in den Milchzähnen gemessenen Strontiumwerte (Figur 4) sind deshalb nach Geburtsjahr der Kinder aufgeführt. Dies erklärt, weshalb die Kurven zu den Milchzähnen und jene zur Milch beinahe parallel verlaufen.

Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 6.1 und 6.2.

Beurteilung

In der Schweiz blieben 2018 die Konzentrationen von Radionukliden in der Umwelt sowie die Strahlendosen der Bevölkerung aufgrund künstlicher Strahlenquellen, wie in den Vorjahren, deutlich unter den gesetzlichen Grenzwerten. Das entsprechende Strahlenrisiko kann daher als sehr klein eingestuft werden.

Bei der natürlichen und der künstlichen Umweltradioaktivität bestehen regionale Unterschiede. Die natürliche Radioaktivität wird im Wesentlichen durch die Geologie beeinflusst, aber auch der Anteil der künstlichen Radioaktivität als Folge der Atomwaffenversuche und des Reaktorunfalls von Tschernobyl ist inhomogen über das Land verteilt. Radioaktives ^{137}Cs aus Tschernobyl wurde beispielsweise vornehmlich im Tessin abgelagert und ist dort heute noch immer in vielen Proben messbar. In geringerem Ausmass gab es auch erhöhten Ablagerungen in höheren Lagen des Jurabogens und in Teilen der Nordostschweiz. Die gemessenen Konzentrationen nehmen zwar seit 1986 kontinuierlich ab, das Radiocäsium aus Tschernobyl ist aber dennoch verantwortlich für die 2018 in bestimmten Lebensmitteln, wie Wildschweinfleisch aus dem Tessin oder Wildpilze, festgestellten Überschreitungen des Höchstwerts für ^{137}Cs gemäss der Tschernobyl-Verordnung.

Die Ergebnisse der Umgebungsüberwachung von Kernkraftwerken und Forschungsanstalten sind vergleichbar mit jenen aus früheren Jahren. Spuren von emittierten Radionukliden können in der Umwelt zwar nachgewiesen werden, zum Beispiel ^{14}C in Baumblättern oder Kobaltisotope in Sedimenten in der Nähe von Kernkraftwerken oder auch ^{41}Ar und ^{131}I in der Luft bei Forschungszentren, die Abgaben, die für diese Spuren in der Umwelt verantwortlich sind, liegen aber deutlich unterhalb der bewilligten Mengen und haben zu keinen Immissionsgrenzwertüberschreitungen geführt. Die Überwachung der Tritium-verarbeitenden Industrien zeigt in der unmittelbaren Nähe einen deutlich messbaren Einfluss von Tritium auf die Umwelt (Regen und Lebensmittel). In Niederwangen erreichten die im Regen festgestellten Tritiumkonzentrationen maximal 7.7% des Immissionsgrenzwertes für Tritium in öffentlich zugängliche Gewässer. In Lebensmitteln aus der Nachbarschaft des Betriebes ist Tritium zwar auch etwas erhöht, ohne aber ein gesundheitliches Risiko beim Konsum dieser Lebensmittel darzustellen. Abgaben von Radionukliden mit dem Abwasser aus Spitälern sind nur sporadisch im Wasser in Kläranlagen grösserer Städte nachweisbar, mit Ausnahme des 2018 in einigen Monatsproben aus dem Ticino bei Riazzino nachgewiesenen ^{131}I , welches aus der ambulanten Behandlung von Patienten mit ^{131}I stammt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die zusätzliche Strahlenbelastung der Bevölkerung in der Nachbarschaft von Kernkraftwerken, Forschungseinrichtungen und Industrien sehr gering geblieben sind. Die tiefen Messwerte für künstliche Radionuklide in der Umwelt zeigen ein ordnungsgemässes Funktionieren dieser Betriebe und können als Bestätigung für die Wirksamkeit der Überwachungsprogramme gedeutet werden.



2018

Chapitre / Kapitel 2

Strahlenexposition der
Bevölkerung

Exposition de la population aux
rayonnements ionisants

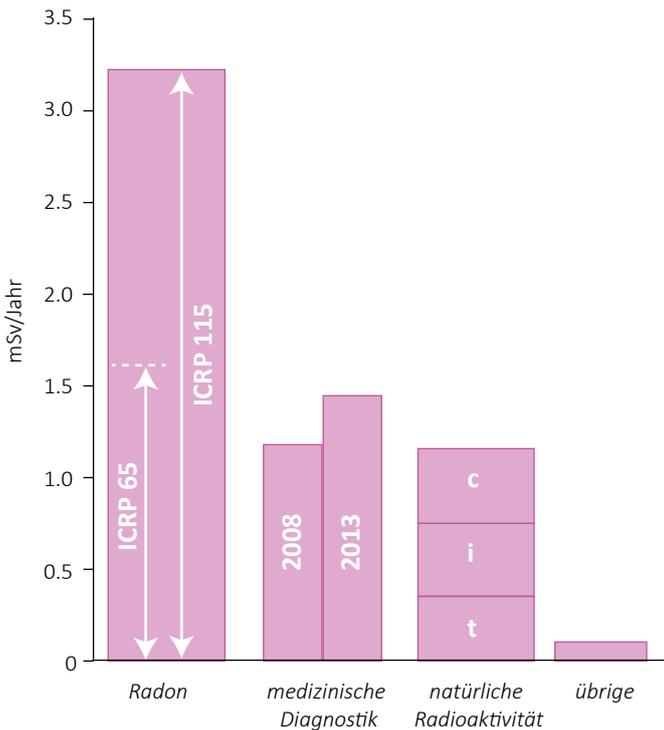
2.1

Strahlenexposition der Bevölkerung

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

Zusammenfassung

Der grösste Anteil an der Strahlenexposition der Bevölkerung stammt vom Radon in Wohn- und Arbeitsräumen sowie von medizinischen Untersuchungen. Die Bevölkerung ist von diesen Strahlungsquellen unterschiedlich stark betroffen. Bei Personen, die in ihrer beruflichen Tätigkeit mit Strahlen umgehen, gab es 2018 zwei Überschreitungen eines Dosisgrenzwertes.



Figur 1: Durchschnittliche Strahlendosen der Schweizer Bevölkerung [mSv pro Jahr pro Person]. Die Belastung durch Radon muss nach der Beurteilung von 2010 (ICRP 115, 2010) deutlich höher eingeschätzt werden als zuvor (ICRP 65). Der Wert für die medizinische Diagnostik beruht auf der Erhebung von 2008 bzw. auf der Zwischenerhebung von 2013. Die natürliche Exposition setzt sich aus terrestrischer Strahlung (t), Inkorporation (i) und kosmischer Strahlung (c) zusammen. Zu «übrige» gehören Kernkraftwerke und Forschungsanstalten sowie künstliche Radioisotope in der Umwelt.

Strahlendosen der Bevölkerung

Die Strahlenexposition der Bevölkerung wird aus den Strahlendosen natürlicher und künstlicher Strahlenquellen ermittelt. Die drei wichtigsten Ursachen sind das Radon in Wohnungen, die medizinische Diagnostik sowie die natürliche Strahlung (Figur 1). Für alle künstlichen Strahlenexpositionen (ohne Medizin) gilt für die allgemeine Bevölkerung ein Dosisgrenzwert von 1 mSv pro Jahr. Die berufliche Strahlenexposition, insbesondere für Junge und Schwangere, ist durch besondere Bestimmungen geregelt.

Strahlenbelastung durch Radon

Radon-222 und seine Folgeprodukte in Wohn- und Arbeitsräumen liefern den grössten Dosisbeitrag für die Bevölkerung. Die internationale Strahlenschutzkommission ICRP schätzt heute das Lungenkrebsrisiko aufgrund von Radon etwa doppelt so hoch ein wie in früheren Einschätzungen (ICRP 115, 2010). Folglich muss die durchschnittliche «Radondosis» für die Schweizer Bevölkerung auch nach oben korrigiert werden. Sie beträgt mit den neuen Risikofaktoren etwa 3.2 mSv pro Jahr statt den 1.6 mSv, die mit den alten Dosisfaktoren aus der Publikation ICRP 65 geschätzt wurden. Die Radonbelastung der Bevölkerung ist nicht einheitlich. Der angegebene Mittelwert leitet sich aus der durchschnittlichen Radonkonzentration von 75 Bq/m³ ab.

Bestrahlung durch medizinische Diagnostik

Die Dosis aufgrund medizinischer Anwendungen (Diagnostik) beträgt auf die gesamte Bevölkerung umgerechnet 1,4 mSv/Jahr pro Person. Dies ist ein Anstieg von 0.2 mSv in 5 Jahren seit der letzten Auswertung (Erhebung 2008; 1,2 mSv/Jahr pro Person). Mehr als zwei Drittel der jährlichen kollektiven Strahlendosis in der Röntgendiagnostik verursachen computertomografische Untersuchungen. Wie beim Radon ist die Belastung durch die medizinische Diagnostik ungleichmässig verteilt. Rund zwei Drittel der Bevölkerung erhalten praktisch keine Dosis durch Diagnostik, bei einigen wenigen Prozenten der Bevölkerung sind es mehr als 10 mSv.

Terrestrische und kosmische Strahlung

Die Dosis aufgrund der terrestrischen Strahlung (d. h. Strahlung aus Boden und Fels) macht im Mittel 0.35 mSv pro Jahr aus und hängt davon ab, wie der Untergrund zusammengesetzt ist. Die Dosis durch kosmische Strahlung beträgt im Mittel etwa 0.4 mSv pro Jahr. Die kosmische Strahlung nimmt mit der Höhe über Meer zu. In 10 km Höhe ist die kosmische Strahlung deshalb rund 100-mal stärker als auf 500 m über Meer. Aus diesem Grund ergibt ein Überseeflug (retour) eine Exposition von typischerweise rund 0.06 mSv. Das Flugpersonal kann eine Dosis von bis zu einigen mSv pro Jahr erhalten.

Radionuklide in der Nahrung und im Tabak

Radionuklide gelangen auch über die Nahrung in den menschlichen Körper und führen zu Dosen von rund 0.35 mSv. Das Kalium-40 im Muskelgewebe liefert mit rund 0.2 mSv den grössten Beitrag. Weitere Radionuklide in der Nahrung stammen aus den natürlichen Zerfallsreihen von Uran und Thorium. Auch künstliche Radionuklide kommen in der Nahrung vor; hauptsächlich die Nuklide Caesium-137 und Strontium-90 von den Kernwaffenversuchen der 1960er-Jahre und vom Reaktorunfall von Tschernobyl im April 1986. Die regelmässigen Ganzkörpermessungen an Schulklassen ergeben heute Dosen durch aufgenommenes Caesium-137 von weniger als einem Tausendstel mSv pro Jahr. Bei Rauchern und Raucherinnen führt das Inhalieren von natürlichen Radioisotopen, welche im Tabak enthalten sind, zu einer zusätzlichen Strahlendosis. Gemäss neueren Studien liegt der Mittelwert für die effektive Dosis beim Rauchen von einem Paket Zigaretten (20 Stück) täglich bei 0.2-0.3 mSv pro Jahr.hr.

Übrige (künstliche) Strahlenquellen

Zu den bisher erwähnten Strahlendosen kommt ein geringer Beitrag von $\leq 0,1$ mSv pro Jahr aus den Strahlenexpositionen durch Kernkraftwerke, Industrie, Forschung, Medizin, Konsumgüter und Gegenstände des täglichen Lebens sowie künstliche Radioisotope in der Umwelt. Der radioaktive Ausfall durch den Reaktorunfall von Tschernobyl im April 1986 und den oberirdischen Kernwaffenversuchen (1960er-Jahre) machen heute nur noch wenige Hundertstel mSv pro Jahr aus. Die Dosis durch die Ausbreitung von radioaktiven Stoffen nach dem Reaktorunfall in Fukushima 2011 ist in der Schweiz vernachlässigbar. Die Emissionen radioaktiver Stoffe über Abluft und Abwasser aus den Schweizer Kernkraftwerken, dem PSI und dem CERN ergeben bei Personen, die in unmittelbarer Nähe wohnen, Dosen von höchstens einem Hundertstel mSv pro Jahr.

Berufliche Strahlenexposition

Im Berichtsjahr waren in der Schweiz ca. 97'000 Personen beruflich strahlenexponiert, was einer grösseren Zunahme gegenüber den Vorjahren entspricht. Zusätzlich kamen rund 7'000 Personen aus der Luftfahrt dazu, da mit der neuen Strahlenschutzverordnung auch die Dosen des Flugpersonals ermittelt werden müssen.

Im Rahmen seiner Aufsichtstätigkeit untersucht das BAG in den Bereichen Medizin und Forschung alle Ganzkörperdosen über 2 mSv im Monat sowie alle Extremitätendosen über 50 mSv. Die meisten erhöhten Dosen gab es in den dosisintensiven Bereichen Nuklearmedizin und interventionelle Radiologie. In der Nuklearmedizin eines Schweizer Spitals überschritten zwei Mitarbeitende den Jahresgrenzwert für die Extremitätendosis von 500 mSv. Als Massnahme wird das Spital einen neuen Injektor anschaffen, um gewisse Arbeitsschritte zu automatisieren und so die Dosen fürs Personal weiter zu reduzieren. Zudem sollen die dosisintensiven Arbeiten auf mehrere Personen verteilt werden.

Der ausführliche Jahresbericht «Dosimetrie der beruflich strahlenexponierten Personen in der Schweiz» wird im Sommer 2019 auf www.bag.admin.ch/dosimetrie-jb publiziert.

2.2

Exposition de la population aux rayonnements ionisants

P. Steinmann, S. Estier

Section Radioactivité de l'environnement URA / OFSP, Berne

Résumé

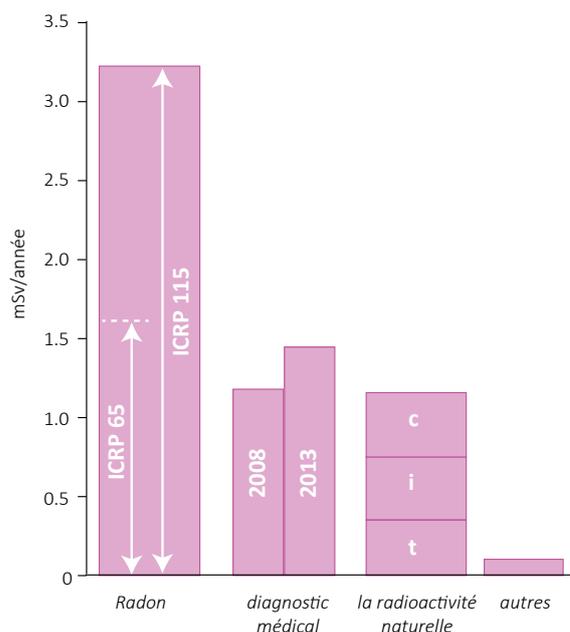
La plus grande partie de l'exposition de la population aux rayonnements est due au radon dans les habitations et sur les lieux de travail, ainsi qu'aux examens médicaux. L'exposition à ces sources varie largement d'un individu à l'autre. Concernant les personnes exposées aux rayonnements dans l'exercice de leur profession, deux dépassements de la valeur limite de dose ont été observés en 2018.

Doses de rayonnement reçues par la population

L'exposition de la population est déterminée à partir des doses de rayonnement provenant de sources naturelles et artificielles. Elle provient principalement du radon dans les habitations, du diagnostic médical et de la radioactivité naturelle (figure 1). La valeur limite de dose due à des expositions artificielles (applications médicales exceptées) est fixée à 1 mSv par an pour la population. L'exposition aux rayonnements dans le cadre professionnel est réglementée par des dispositions spécifiques, en particulier pour les jeunes et les femmes enceintes.

Doses de rayonnement dues au radon

Le radon-222 et ses descendants radioactifs, présents dans les locaux d'habitation et professionnels, constituent la majeure partie de la dose de rayonnement reçue par la population. La Commission internationale de protection radiologique (CIPR) estime que le risque de cancer du poumon dû au radon est environ deux fois plus élevé que lors de son évaluation précédente (CIPR 115, 2010). En conséquence, la dose moyenne de radon à laquelle la population suisse est exposée doit être corrigée vers le haut. Elle s'élève maintenant à 3.2 au lieu de 1.6 mSv par an, valeur qui avait été calculée sur la base des anciens facteurs de dose figurant dans la publication 65 de la CIPR. À noter toutefois que la dose de rayonnement due au radon n'est pas la même partout. La valeur moyenne est calculée à partir de la concentration moyenne de radon, à savoir 75 becquerels par mètre cube (Bq/m³).



Figur 1:

Doses moyennes de rayonnement reçues par la population suisse [en mSv/an/ personne]. La dose inhérente au radon est, selon l'évaluation de la CIPR (115, 2010), sensiblement revue à la hausse par rapport à l'estimation de la CIPR 65. La dose induite par le radiodiagnostic médical a légèrement augmenté depuis l'enquête de 2008 (enquête intermédiaire de 2013). La dose provenant de la radioactivité naturelle résulte du rayonnement terrestre (t), de l'incorporation (i) et du rayonnement cosmique (c). La rubrique «autres» englobe les centrales nucléaires, les instituts de recherche ainsi que les radio-isotopes artificiels présents dans l'environnement.

Doses de rayonnement dues au diagnostic médical

La dose moyenne reçue par la population par le biais d'applications médicales (diagnostic radiologique) est de 1.4 mSv par an et par personne. Ceci correspond à une augmentation de 0.2 mSv par rapport à l'enquête de 2008. Plus des deux tiers de la dose collective annuelle en radiodiagnostic sont dus aux examens de tomodensitométrie. Comme dans le cas du radon, l'exposition par le diagnostic médical est très inégalement répartie entre les personnes. Environ deux tiers de la population ne reçoit pratiquement aucune dose associée au radiodiagnostic, alors que la dose excède 10 mSv pour un faible pourcentage de la population.

Rayonnement terrestre et cosmique

Le rayonnement terrestre, c'est-à-dire le rayonnement provenant du sol et des roches, induit une dose moyenne de 0.35 mSv par an et dépend de la composition du sol. La dose associée au rayonnement cosmique s'élève en moyenne à 0.4 mSv par an. Ce rayonnement augmente avec l'altitude. Il est environ 100 fois plus élevé à 10'000 mètres d'altitude qu'à 500 mètres. Ainsi, un vol transatlantique (aller-retour) représente une dose d'environ 0.06 mSv. Pour le personnel navigant, la dose peut atteindre quelques mSv par an.

Aliments et tabac

Des radionucléides naturels sont également assimilés dans le corps humain via l'alimentation et produisent une dose moyenne d'environ 0.35 mSv par an, la part la plus importante provenant du potassium-40 fixé dans les tissus musculaires (environ 0.2 mSv par an). De plus, les aliments contiennent des radionucléides issus des séries naturelles de l'uranium et du thorium. On y trouve aussi des radionucléides artificiels, principalement du césium-137 et du strontium-90 provenant des retombées des essais nucléaires atmosphériques des années 1960 ainsi que de l'accident de Tchernobyl, survenu en avril 1986. Les mesures au corps entier régulièrement réalisées sur des collégiens ont montré que les doses liées à l'incorporation de césium-137 étaient inférieures à un millième de mSv par an. Chez les fumeurs, l'inhalation de radionucléides naturels qui sont contenus dans le tabac conduit à une dose supplémentaire. D'après les études récentes, fumer un paquet de cigarettes (20) par jour occasionne une dose efficace moyenne de 0.2 à 0.3 mSv par an.

Autres sources de rayonnement (artificielles)

Aux doses de rayonnement mentionnées précédemment vient s'ajouter une faible contribution, ≤ 0.1 mSv par an, qui comprend l'irradiation due aux centrales nucléaires, aux industries, à la recherche et à la médecine, aux biens de consommation et aux objets usuels ainsi qu'aux radioisotopes artificiels présents dans l'environnement. Notons que les doses occasionnées par les retombées de l'accident de Tchernobyl et des essais nucléaires atmosphériques des années 1960, ne représentent plus aujourd'hui que quelques centièmes de mSv par an. Les doses provenant de la dispersion des substances radioactives après l'accident du réacteur nucléaire de Fukushima sont négligeables en Suisse. Les doses reçues par les personnes habitant à proximité immédiate des centrales nucléaires suisses, du PSI ou du CERN, et qui sont attribuables aux substances radioactives émises par ces installations dans l'air et dans les eaux usées, atteignent au maximum un centième de mSv par an.

Exposition aux rayonnements dans le cadre professionnel

En Suisse, environ 97'000 personnes ont été exposées à des rayonnements dans le cadre de leur activité professionnelle en 2018. A cela s'ajoute environ 7'000 personnes issues du secteur de l'aviation, la nouvelle ordonnance sur la radioprotection (ORaP) entrée en vigueur en 2018 exigeant désormais que les doses reçues par le personnel navigant soient également déterminées. Dans les secteurs de la médecine et de la recherche, l'OFSP effectue une analyse en cas de dépassement de 2 mSv pour la dose mensuelle au corps entier ainsi que pour les doses aux extrémités dépassant 50 mSv. C'est dans les domaines de la médecine nucléaire et de la radiologie interventionnelle que les doses élevées ont été les plus nombreuses. Dans le service de médecine nucléaire d'un hôpital suisse, deux employés ont dépassé la limite annuelle de 500 mSv pour la dose aux extrémités. En guise de mesure, l'hôpital fera acquisition d'un nouvel injecteur afin d'automatiser certaines étapes des procédures et de réduire ainsi davantage les doses reçues par le personnel. De plus, le travail impliquant des doses élevées doit être réparti entre plusieurs personnes.

Une statistique détaillée figure dans le rapport annuel «Dosimétrie des personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession en Suisse», qui sera publié en été 2019 sous:

www.bag.admin.ch/dosimetrie-rapports.

2018



Chapitre / Kapitel 3

Externe Strahlung

Rayonnement externe

3.1

Mesures in situ & exposition externe

S. Estier, A. Gurtner

Section Radioactivité de l'environnement, URA, Office fédéral de la santé publique OFSP, Berne

Résumé

En 2018, les mesures de spectrométrie in situ ont essentiellement porté sur le voisinage des centrales nucléaires et des centres de recherche (PSI et CERN) ainsi que sur le suivi de la contamination rémanente en ^{137}Cs issue des essais nucléaires atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl. Même si cette contamination reste plus importante au Tessin et localement dans les régions montagneuses (Alpes, Jura) par rapport au Plateau suisse, les résultats de spectrométrie in situ 2018 n'ont signalé aucune valeur susceptible de représenter un risque pour la santé du public.

Introduction

Le réseau NADAM à l'échelle nationale et le réseau MADUK au voisinage des installations nucléaires assurent 24h sur 24 le suivi permanent de l'exposition ambiante en Suisse et signalent des augmentations anormales de celle-ci. Afin de déterminer les compositions individuelles à l'exposition ambiante globale que ces réseaux ainsi que les mesures effectuées avec des dosimètres à thermoluminescence ne permettent pas, les laboratoires mobiles de l'OFSP (Section URA, Berne), de l'IFSN (Brugg), du Laboratoire de Spiez et de l'IRA (Lausanne) utilisent la spectrométrie gamma directe sur site (in situ) souvent liée à des mesures de spectrométrie gamma effectuées en laboratoire sur des échantillons (sol, herbe) qui visent, quant à elles, la détection de traces de radionucléides.

La spectrométrie gamma in situ a l'avantage de permettre l'identification des radionucléides (émetteurs gamma) présents sur le site examiné, de déterminer leurs activités et de calculer leur contribution individuelle à l'exposition du public. La spectrométrie gamma in situ informe ainsi de manière sensible et réaliste sur les concentrations moyennes des radionucléides gamma ainsi que sur l'exposition ambiante qui en résulte.

Méthodologie in situ

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

Lors d'une mesure sur le terrain, un spectre gamma est enregistré et l'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ global est mesuré simultanément sur le site à l'aide d'une chambre d'ionisation. L'analyse du spectre gamma in situ permet tout d'abord d'identifier les différents radionucléides naturels et artificiels présents sur le site puis, en se référant à la publication ICRU 53, de calculer leur concentration radioactive respective dans le sol en [Bq/kg] ou [Bq/m²], si leur distribution dans le profil de sol est connue (déposition en surface, distribution homogène des radionucléides dans le sol, décroissance exponentielle, etc.).

L'étape suivante consiste à évaluer les contributions individuelles au débit de dose ambiant des divers radionucléides identifiés sur le spectre in situ à partir de leur concentration radioactive calculée précédemment. Les facteurs de conversion de l'activité spécifique au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ utilisés par notre laboratoire pour les séries naturelles de ²³⁸U et du ²³²Th ainsi que pour le ⁴⁰K et le ¹³⁷Cs, dans le cas d'une distribution homogène de ces radionucléides dans le sol, sont résumés dans le tableau 1^{2,3}.

La contribution d'origine naturelle au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ s'obtient par sommation des composantes locales du rayonnement terrestre (⁴⁰K, séries ²³⁸U et ²³²Th), évaluées pour une distribution homogène de ces radionucléides dans le sol, avec la contribution du rayonnement cosmique calculée à l'altitude du site. Notons que la formule permettant de calculer la contribution du rayonnement cosmique au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ a également du être adaptée par rapport à celle anciennement utilisée pour le débit de kerma dans l'air⁴, et s'écrit :

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

où Z est l'altitude en km.

Pour connaître la contribution des radionucléides artificiels au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$, deux approches sont possibles. La première consiste à soustraire la contribution d'origine naturelle, calculée précédemment, à la valeur globale de $H^*(10)$ mesurée avec une chambre d'ionisation. Cette démarche ne fournira que la contribution artificielle globale au débit d'équivalent de dose ambiant, mais possède l'avantage de ne nécessiter ni échantillonnage, ni hypothèse sur la distribution des radionucléides artificiels dans le sol.

Si par contre, la distribution dans le sol de chacun des radionucléides artificiels présents sur le site est connue, on choisira plutôt de calculer leur contribution respective à l'exposition à partir de leur concentration radioactive dans le sol. La somme des contributions naturelles et artificielles calculées à partir des spectres in situ est alors comparée à la valeur globale mesurée avec la chambre d'ionisation, afin d'évaluer la fiabilité de la méthode de reconstitution.

Tableau 1:

Facteurs de conversion de l'activité spécifique en débit d'équivalent de dose ambiant $H^(10)$ utilisés par l'OFSP pour les séries naturelles de ²³⁸U et du ²³²Th ainsi que pour le ⁴⁰K et le ¹³⁷Cs, dans le cas d'une distribution homogène de ces radionucléides dans le sol^{2,3}.*

Nucléide	[nSv·h ⁻¹ /Bq·kg ⁻¹]
Série ²³⁸ U (total)	0.564
Série ²³² Th (total)	0.749
⁴⁰ K	0.0512
¹³⁷ Cs	0.192

1 ICRU-Report 53 «Gamma-Ray Spectrometry in the Environment» 1994, ISBN 0-913394-52-1.

2 Lemerrier et al., «Specific Activity to $H^*(10)$ conversion coefficients for in situ gamma spectrometry», Radiation Protection Dosimetry (2008), Vol 128, No. 1, pp.83-89. Advance Access publication 17 October 2007.

3 <https://www.bag.admin.ch/dam/bag/fr/dokumente/str/kommission-strahlenschutz/stellungnahmen-dosimetrie/2010-empfehlung-umrechnungsfaktoren-gammaspectrometrie.pdf.download.pdf/2010-empfehlung-umrechnungsfaktoren-gammaspectrometrie.pdf>

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

Résultats in situ 2018

En 2018, les mesures de spectrométrie gamma in situ ont été réalisées au voisinage des centrales nucléaires de Beznau (KKB), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) et Mühleberg (KKM) et des centres de recherche (PSI, ZWILAG, CERN) ainsi qu'au Tessin, région de Suisse la plus touchée par les retombées de l'accident de Tchernobyl, conformément au programme de surveillance habituel. Depuis 2017, des mesures complémentaires sont effectuées au voisinage de la centrale nucléaire de Mühleberg en vue d'évaluer plus précisément la situation radiologique avant le début des travaux de désaffectation (programme de mesures «Point zéro»), prévus dès le début 2020. Des mesures par spectrométrie gamma in situ ont également été effectuées sur les trois sites de référence pour la surveillance de la radioactivité dans l'environnement en Suisse, à savoir Grangeneuve-Posieux/FR, Güttingen/TG et Cadenazzo/TI. Quelques points particuliers ont également été examinés en 2018, soit la nouvelle station NADAM de Koppingen/BE (dans la mesure du possible une spectrométrie gamma in situ est effectuée pour toute nouvelle station NADAM) et trois sites dans la région de Biaufond/JU côté français et suisse. Cette méthode a également été utilisée lors de l'exercice «Gabbiano» organisé par la CENAL. Les résultats, en termes d'exposition du public, de ces mesures supplémentaires n'ont mis en évidence aucune valeur susceptible de représenter un risque pour la santé de la population.

Les contributions respectives au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ des différents radionucléides identifiés par spectrométrie gamma in situ (descendants compris pour les séries naturelles) sont représentées sur les figures 1 et 4 à 6 pour les principaux sites suisses examinés en 2018. Ces contributions ont été calculées à partir des spectres gamma in situ, en supposant une distribution homogène de tous les radionucléides dans le sol, y compris pour le ^{137}Cs artificiel. Afin d'apprécier la fiabilité de la reconstitution, la valeur de la mesure globale avec chambre d'ionisation avec son incertitude est également représentée.

La figure 1 montre que les radionucléides détectés au voisinage des centrales nucléaires et du PSI ainsi que leur contribution au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ se distinguent généralement peu de ceux enregistrés sur les sites de référence, situés hors influence de ces installations, comme Güttingen ou Posieux. Le seul émetteur gamma d'origine artificielle mis en évidence sur l'ensemble de ces sites en 2018 est le ^{137}Cs .

Les valeurs plus élevées de débit de dose enregistrées au voisinage de la centrale de Mühleberg en particulier à Salvisberg, Niederruntigen, Fuchsenried et Ufem Horn (fig. 1 et 4) sont d'origine naturelle. Elles sont en effet essentiellement dues aux concentrations plus importantes de ^{40}K dans le sol, ainsi que, dans une moindre mesure, au rayonnement cosmique légèrement plus élevé en raison de l'altitude supérieure de ces sites.

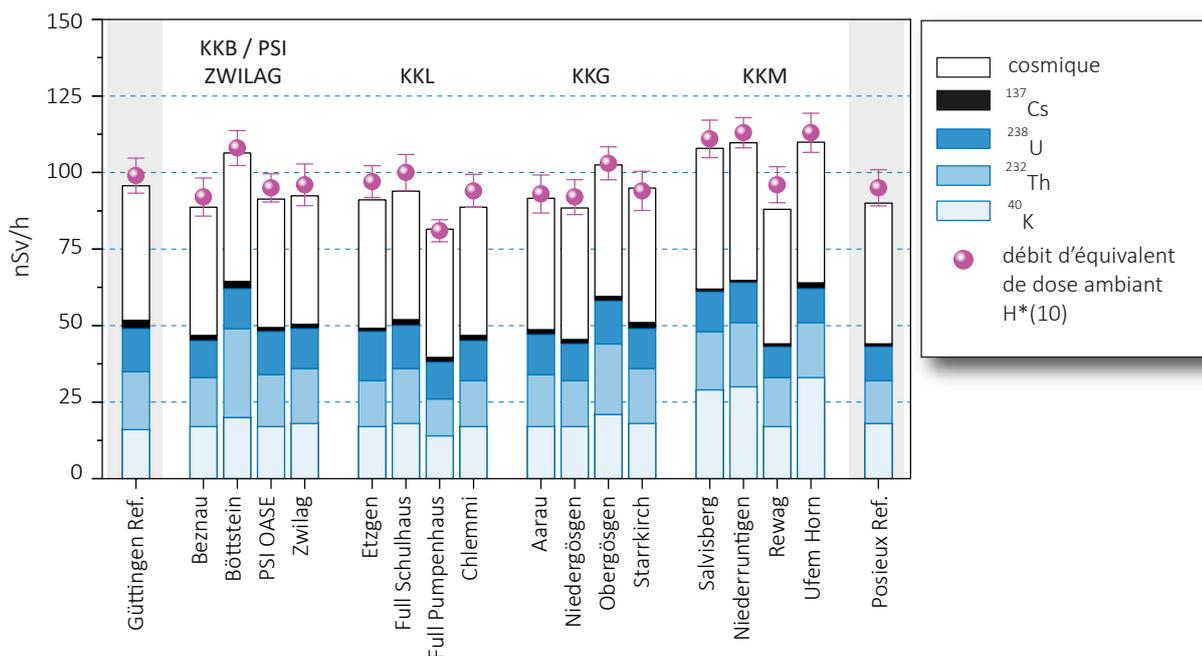


Figure 1 :

Contributions individuelles au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ calculées à partir des spectres in situ (distribution supposée homogène des radionucléides dans le sol) mesurés au voisinage des centrales nucléaires suisses en 2018 ainsi qu'aux points de référence de Güttingen/TG et Posieux/FR (en grisé). La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ avec chambre d'ionisation est également représentée.

A noter également que les résultats des mesures effectuées à Rewag (fig. 1,2,4) diffèrent de ceux enregistrés par le passé. Les travaux de construction de la citerne d'eau potable (terminés en 2017) ont rendu l'accès à l'ancien point de mesure impossible. Ce point a donc été déplacé d'environ 300 mètres. La composition du remblai déposé sur le site suite aux aménagements diffère de celle du sol originellement présent qui était essentiellement composé de sable. Ceci explique l'augmentation des valeurs de ^{40}K , ^{228}Ac et ^{214}Bi (séries Th/U) par rapport aux résultats des mesures des années précédentes. Comme le montre la figure 2, la connaissance de l'historique des remaniements et de l'utilisation du sol des sites examinés permet souvent d'expliquer des différences de concentrations d'une année sur l'autre.

La situation radiologique au voisinage de la centrale nucléaire de Mühleberg, qui sera mise à l'arrêt fin 2019, est généralement bien connue car le site fait l'objet d'une surveillance régulière depuis le début de la période d'exploitation de la centrale. Toutefois, afin de pouvoir évaluer l'impact radiologique éventuel des travaux de désaffectation, un programme de surveillance renforcé a été initié en 2017 pour une durée de 3 ans avant le début des travaux de démantèlement. Ce programme comprend l'analyse de radionucléides spéciaux, mais également des mesures in situ supplémentaires, sur des sites situés à proximité immédiate de la centrale (fig. 3). En effet, contrairement à un rejet éventuel par voie atmosphérique tel qu'il pourrait se produire en période d'exploitation, l'éventuel impact des travaux de désaffectation devrait être localisé dans un périmètre plus restreint.

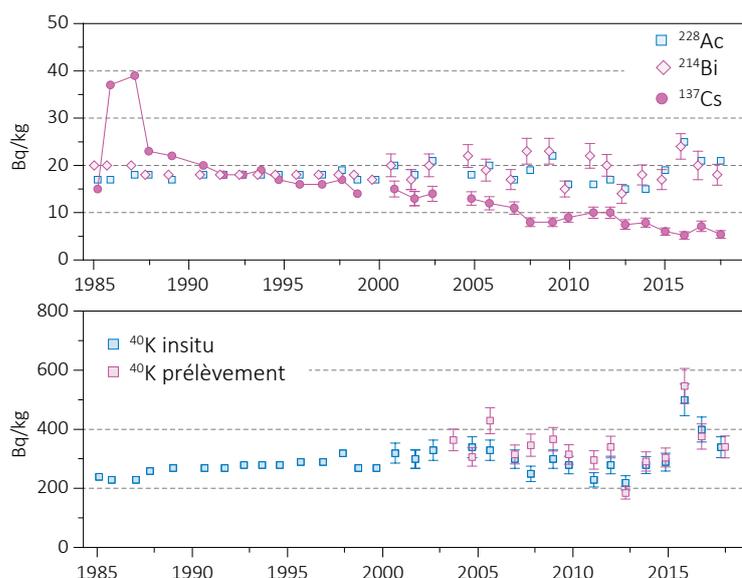


Figure 2: Suivi (1985-2018) des concentrations en ^{228}Ac , ^{214}Bi , ^{40}K et ^{137}Cs déterminées par spectrométrie gamma in situ et concentration en ^{40}K déterminée en laboratoire des prélèvements de sol au point Rewag de la centrale nucléaire de Mühleberg.



Figure 3: Emplacement des 7 sites de mesure de spectrométrie gamma in situ et de prélèvement de sol et de végétation dans la région de la centrale nucléaire de Mühleberg en 2018.

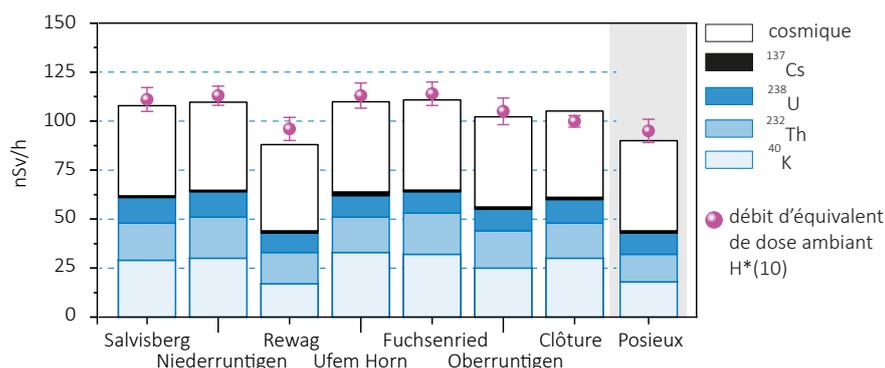


Figure 4: Contributions individuelles au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ calculées à partir des spectres *in situ* (distribution supposée homogène des radionucléides dans le sol) mesurés au voisinage de la centrale nucléaire de Mühleberg (KKM) en 2018 ainsi qu'au point de référence de Posieux/FR (en grisé).

La figure 3 indique l'emplacement des sept sites examinés en 2018 au voisinage de Mühleberg. En plus de Salvisberg, Rewag, Niederruntigen, Ufem Horn qui font l'objet d'un suivi depuis de nombreuses années, Fuchsenried, Oberruntigen et Clôture KKM sont les trois points supplémentaires mesurés dans le cadre de cette surveillance accrue.

Comme en 2017 aucune différence notable n'a pu être remarquée entre les sites de la surveillance habituelle et les valeurs mesurées aux 3 points supplémentaires (fig. 4). A noter que

pour chacun de ces points, un prélèvement annuel de sol et deux prélèvements (printemps et automne) de végétation ont été réalisés (résultat chap 8.5 les installations nucléaires et leur environnement).

La figure 5 montre les résultats des mesures *in situ* réalisées au voisinage du CERN en 2018. Comme par le passé, ces résultats ne se distinguent pas significativement de ceux enregistrés sur le site de référence de Posieux, si ce n'est par la détection de faibles traces d'⁴¹Ar dans l'air dans l'enceinte du centre de recherche (BAT 588). Ce gaz rare de courte période (demi-vie de 109.6 minutes) est produit dans les accélérateurs du centre de recherche. En 2018, des traces de ²²Na étaient également clairement visibles sur le spectre *in situ* enregistré sur le même site. Comme le ⁷Be, le ²²Na est produit dans la stratosphère par rayonnement cosmique, mais peut également être produit par les installations du CERN. Il n'est pas possible de déterminer avec certitude la part mesurée provenant des activités du CERN, mais ce radionucléide n'a pas été mis en évidence aux points de mesure situés à l'extérieur de la clôture du centre de recherche. La somme des contributions de ces deux radionucléides au débit d'équivalent de dose ambiant est toutefois restée inférieure à celle du ¹³⁷Cs issu de l'accident de Tchernobyl.

Au Tessin, la contamination rémanente en ¹³⁷Cs, issue des retombées des essais nucléaires des années 50 et 60 et surtout de celles de l'accident de Tchernobyl (1986), est toujours clairement visible. Comme le montre la figure 6, les concentrations de ce radionucléide dans le sol varient de façon importante d'un site à l'autre au sein du canton, il s'avère donc difficile de définir une valeur de référence unique pour la contamination du sol en ¹³⁷Cs au Tessin. Ces variations s'expliquent d'une part par les différences de dépositions initiales, directement proportionnelles aux précipitations lors du passage du nuage radioactif post-Tchernobyl, et en fonction de l'altitude pour les contributions des essais atomiques des années 50 et 60, et d'autre part par les différences de nature et de traitement des sols depuis 1986 (travaux, sols retournés ou non, etc.).

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

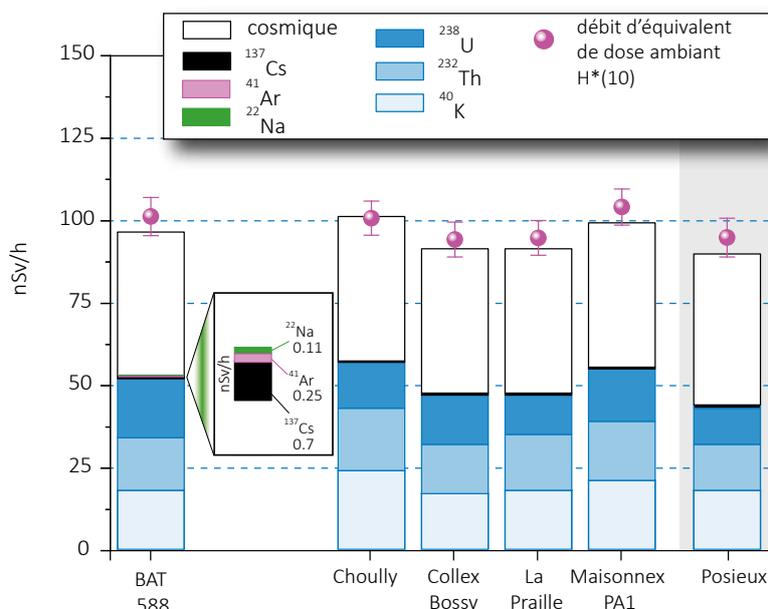


Figure 5: Contributions individuelles au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ calculées à partir des spectres *in situ* (distribution supposée homogène des radionucléides dans le sol) mesurés en 2018 au voisinage du CERN ainsi qu'au point de référence de Posieux (en grisé). La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ avec chambre d'ionisation est également représentée.

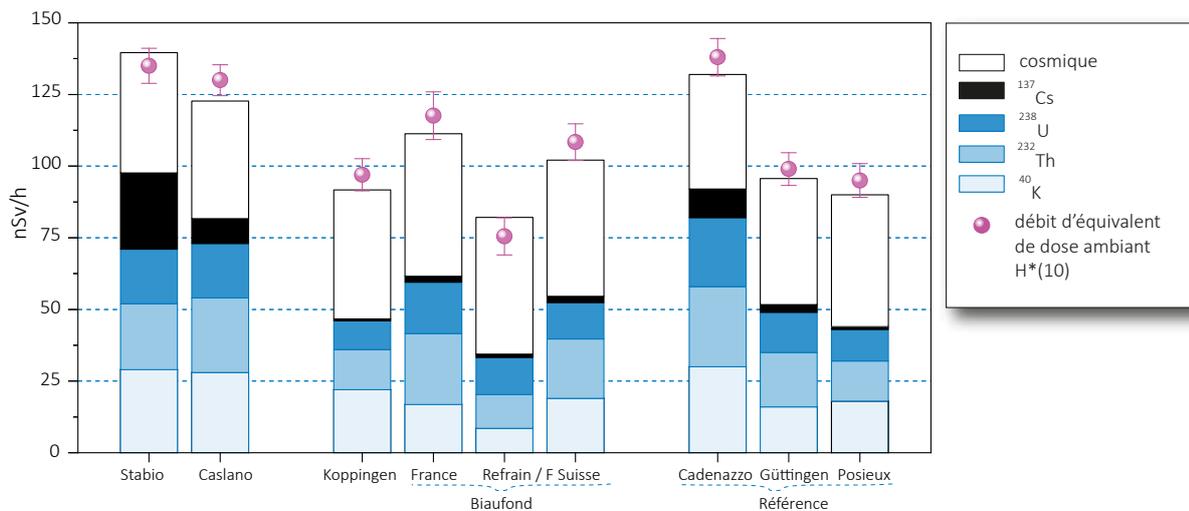


Figure 6:

Contributions individuelles au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ calculées à partir des spectres in situ (distribution supposée homogène des radionucléides dans le sol) mesurés en 2018 au Tessin, à Koppingen, dans la région jurasienne de Biaufond côté France et Suisse ainsi que sur les 3 sites de référence. La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ avec chambre d'ionisation est également représentée.

Conclusions

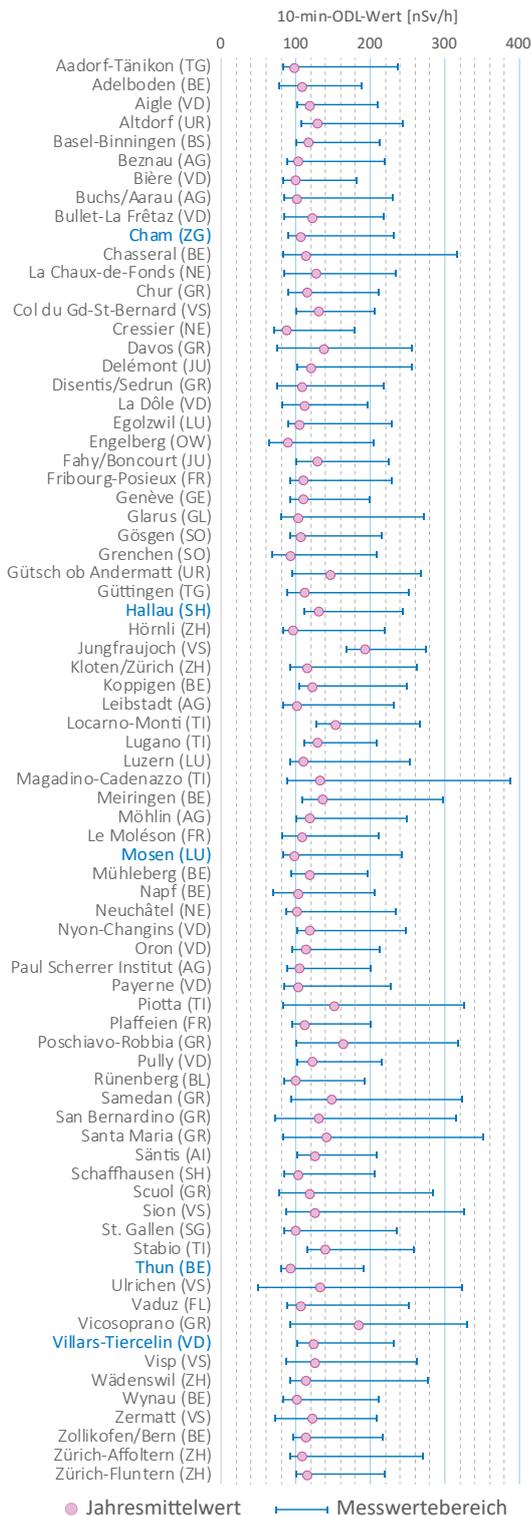
Les mesures de spectrométrie gamma in situ réalisées par l'OFSP en 2018 ont permis de caractériser les sites d'intérêt du point de vue de leur composition en radionucléides gamma et des contributions individuelles au débit d'exposition qui en résultent pour le public. Le champ d'application de ces mesures a visé à répondre à des objectifs d'ordre réglementaire (voisinage des installations nucléaires suisses) et d'ordre radioécologique (suivi des contaminations ^{137}Cs des retombées des essais nucléaires et de Tchernobyl).

De manière générale, elle a permis de distinguer les composantes naturelles et artificielles de la radioactivité gamma et de s'assurer de la pertinence de l'information acquise par comparaison du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ calculé à partir de l'analyse spectrométrique à celui mesuré avec une chambre d'ionisation.

Au niveau national, même si les concentrations plus élevées de ^{137}Cs dues aux retombées de Tchernobyl sont toujours plus importantes au Tessin et localement dans les régions montagneuses par rapport au plateau Suisse, les résultats, en termes d'exposition du public, n'ont mis en évidence aucune valeur susceptible de représenter un danger pour la santé de la population.

3.2

Die automatische Überwachung der Ortsdosisleistung mit NADAM



Adrian Hess, Franziskus Stoffel

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

Zusammenfassung

Das Netz für die automatische Dosisleistungsalarmierung und -messung (NADAM) dient der grossräumigen und permanenten Überwachung der externen Strahlung in der Schweiz. Es besteht aus 76 über die ganze Schweiz verteilten Stationen, welche in 10-Minuten-Intervallen die γ -Ortsdosisleistung (ODL, $H^*(10)$) messen.

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

Im Jahr 2018 wurden keine Werte gemessen, die auf eine erhöhte Strahlenbelastung der Bevölkerung schliessen lassen.

Einleitung

Die permanente Überwachung der externen Strahlung in der Schweiz wird von den 76 über die ganze Schweiz verteilten NADAM-Stationen garantiert. Diese befinden sich bei den Wetterstationen von MeteoSchweiz und liefern alle zehn Minuten Daten zur Ortsdosisleistung (ODL, $H^*(10)$). In Ergänzung zu den ODL-Daten sind damit auch Wetterdaten verfügbar, die wichtige Zusatzinformationen für die Interpretation der Messwerte liefern.

Figur 1:

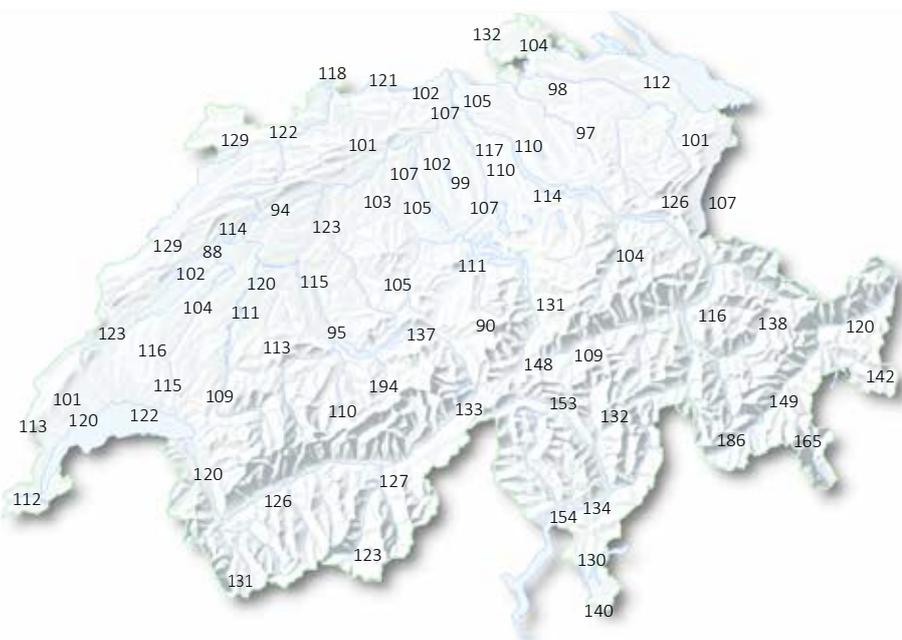
Jahresmittelwerte und Messwertebereiche der NADAM-Sonden. Der dargestellte Messwertebereich entspricht dem Bereich zwischen dem minimalen und dem maximalen 10 min-Wert der Sonden im Jahr 2018. Die Stationen Cham, Hallau, Mosen, Thun und Villars-Tiercelin sind markiert, da sie erst seit Anfang 2018 in Betrieb sind.

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

Das NADAM-Netz wird von der Nationalen Alarmzentrale (NAZ) betrieben, der Fachstelle des Bundes für ausserordentliche Ereignisse. Im Bereich «erhöhte Radioaktivität» hat sie besonders umfangreiche Aufgaben: Warnung der Behörden, Information der Bundesstellen, der Kantone und der internationalen Kontaktstellen (IAEA, EU). Sie kann bei unmittelbarer Gefährdung zudem die Alarmierung und Sofortmassnahmen zum Schutz der Bevölkerung anordnen. Das NADAM-Netz dient als Frühwarnsystem. Eine Überschreitung der Alarmschwelle (1 mikroSv/h) löst in der NAZ eine Alarmmeldung aus. Dort wird der Wert verifiziert (Ausschluss von technischen Problemen, Überprüfung der meteorologischen Daten und Vergleich mit Nachbarstationen), und bei Bedarf werden weitere Messmittel für Abklärungen vor Ort angeboten. Bei einem ernsthaften Verdacht auf eine mögliche radiologische Gefährdung rückt die ganze NAZ ein und die Behörden des betroffenen Kantons werden orientiert. Damit kann die NAZ bei einem radiologischen Ereignis rasch das gefährdete Gebiet bestimmen und notwendige Massnahmen zum Schutz der Bevölkerung definieren und anordnen.

Die ODL-Werte der NADAM-Sonden werden täglich zweimal auf der Internetseite der NAZ (www.naz.ch) publiziert. Im Ereignisfall oder nach Bedarf kann der Publikationsrhythmus erhöht werden. Unter der Rubrik «Aktuell» können die Stundenmittelwerte der letzten drei Tage sowie die Tagesmittelwerte vom Vortag abgerufen werden. Im Jahr 2018 wurden keine Werte gemessen, die auf eine erhöhte Strahlenbelastung der Bevölkerung schliessen lassen. Es wurden nur einzelne technische Störungen bei der Messung oder der Datenübertragung registriert.

2018 konnten ODL-Sonden auf den MeteoSchweiz-Standorten Cham (ZG), Hallau (SH), Mosen (LU), Thun (BE) und Villars-Tiercelin (VD) in Betrieb genommen und damit die geplante Erweiterung des NADAM-Messnetzes abgeschlossen werden. Im Normalbetrieb werden die Daten terrestrisch über Mobilfunk- oder Kabelverbindungen übertragen. Seit 2017 sind 15 Stationen mit der zusätzlichen Möglichkeit ausgerüstet, Messdaten via Satellitenverbindung an die Datenbank zu übermitteln. Mit dieser Redundanz ist die Ausfallsicherheit der Datenübertragung erhöht, insbesondere da im Fall einer Katastrophe die terrestrischen Kommunikationsnetze beeinträchtigt sein könnten.



Figur 2:

Karte mit den Jahresmittelwerten 2018 aller NADAM-Sonden in Nanosievert pro Stunde, basierend auf den 10 min-Werten. Der Jahresmittelwert der Ortsdosisleistung variiert je nach Standort zwischen 88 nSv/h in Cressier und 194 nSv/h auf dem Jungfrauoch.

Jahresmittelwerte und Erfahrungsbereiche 2018

Die ODL-Jahresmittelwerte und die Maxima und Minima der 10-Minuten-Werte aller Stationen sind in Figur 1 dargestellt. Im Vergleich mit den Messresultaten der letzten Jahre fällt auf, dass einige Maximalwerte höher ausfallen. Im Jahr 2017 waren an fünf Standorten (Jungfrauoch, Poschiavo Robbia, Samedan, San Bernardino, Stabio und Vicosoprano) Maximalwerte über 300 nSv/h festgestellt worden, im Jahr 2018 wurde dieser Wert nun auf 10 Messstationen (Chasseral, Magadino-Cadenazzo, Piotta, Poschiavo Robbia, Samedan, San Bernardino, Sion, Santa Maria, Ulrichen und Vicosoprano) überschritten. Diese Maximalwerte wurden alle in der aussergewöhnlich trockenen Periode von Juli bis September gemessen. Wenn in diesem Zeitraum dennoch Regen einsetzte, wurden verstärkt radioaktive Partikel aus der Luft ausgewaschen und am Boden, d.h. in Sondennähe, deponiert und generierten so die Spitzenwerte.

Als Erfahrungsbereich einer Station gilt bei der NAZ der Wertebereich, der die Minima und Maxima der Untergrundwerte (vgl. Figur 1) aus den letzten Jahren sicher einschliesst. Der Erfahrungsbereich hilft bei der automatischen Plausibilisierung der Messwerte und erleichtert somit das rasche Erkennen erhöhter Messwerte, auch wenn diese noch deutlich unter der Alarmschwelle von 1 mikroSv/h liegen.

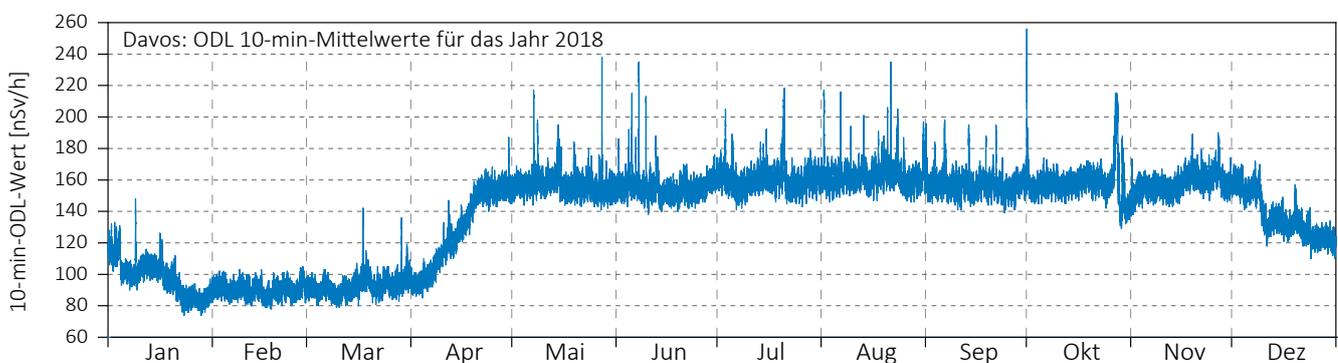
In Figur 2 sind die numerischen Jahresmittelwerte in eine Schweizer Übersichtskarte eingetragen. Die natürlich bedingte Ortsdosisleistung (ODL) wird vom Standort (geologischer Untergrund, Höhe über Meer) und von den meteorologischen Verhältnissen (Regen, Schneedecke) beeinflusst. Die Beiträge der terrestrischen und der kosmischen Strahlung führen zu den regional beobachteten Unterschieden bei den Jahresmittelwerten.

Der geologische Untergrund bestimmt den Beitrag der terrestrischen Strahlung zur Ortsdosisleistung. In alpinen Gebieten mit uran- und thoriumhaltigem Gestein ist der Anteil der natürlichen Radioaktivität im Boden höher als z.B. im Mittelland. Dies führt zu einer höheren terrestrischen Strahlung. Ein Beispiel für eine Station mit hohem terrestrischen Beitrag ist Vicosoprano auf 1089 m.ü.M. am Talgrund im Bergell, wo mit 186 nSv/h der zweithöchste ODL-Jahresmittelwert aller NADAM-Stationen gemessen wurde.

Die Höhe des Sondenstandortes über Meer bestimmt den kosmischen Anteil der ODL. Je höher der Messstandort, desto weniger wird die kosmische Strahlung durch die Atmosphäre abgeschwächt, d.h. umso grösser wird die Intensität der kosmischen Strahlung. Die Messstation Jungfrauoch liegt auf 3580 m.ü.M. Die kosmische Strahlung in dieser Höhe führte im Jahr 2018 mit 194 nSv/h zum einzigen Jahresmittelwert über demjenigen von Vicosoprano.

Eine detailliertere Analyse der Station Davos

Die meteorologischen Verhältnisse bestimmen grösstenteils die Schwankungen des ODL-Verlaufs innerhalb eines Jahres an einem Standort. Figur 3 zeigt als Beispiel den Verlauf der 10 min-ODL-Messwerte der Station Davos. Der Jahresmittelwert liegt bei 138 nSv/h. Peaks bis zu 256 nSv/h ergeben sich durch Niederschläge,



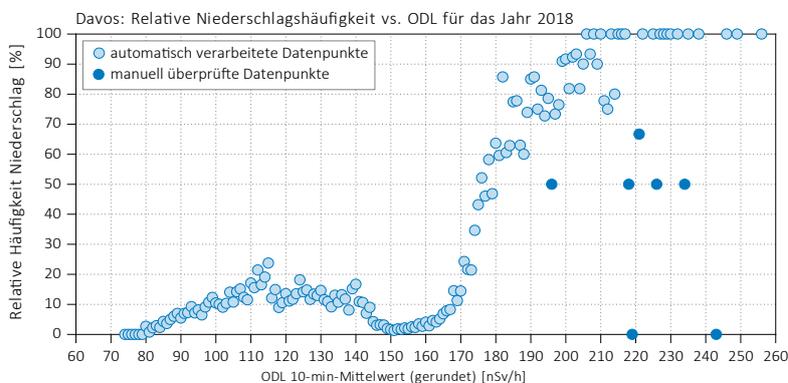
Figur 3:

Zeitverlauf der 10 min-ODL-Werte für die Station Davos im Jahr 2018. Deutlich sichtbar sind die bis zu 46% unter dem Jahresmittelwert liegenden ODL-Werte im Winter aufgrund der Abschirmung der terrestrischen Strahlung durch die Schneedecke.

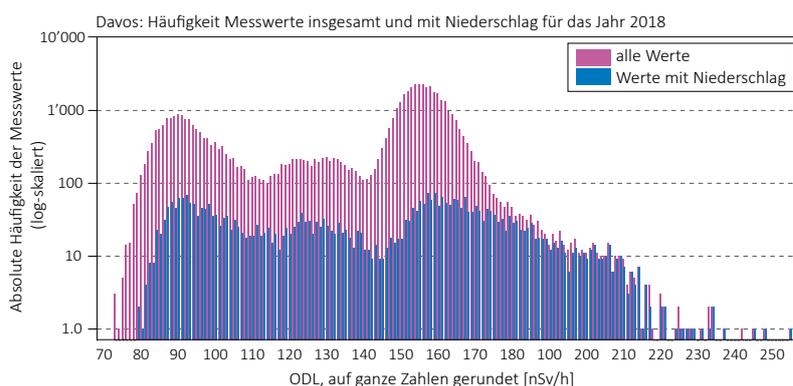
welche zur Deposition von Partikeln mit natürlich vorkommenden Radionukliden (v.a. Zerfallsprodukte von Radon ^{222}Rn) am Boden führen. Umgekehrt erkennt man an tiefen Messwerten bis 74 nSv/h, dass in den Wintermonaten eine unterschiedlich dicke Schneedecke die terrestrische Strahlung abgeschirmt hat.

In Figur 4 ist die Korrelation der auf ganze Zahlen gerundeten ODL-Werte mit dem Niederschlag dargestellt. ODL-Werte über 190 nSv/h gehen in den meisten Fällen einher mit Niederschlag. Einige Datenpunkte zeigen relative Niederschlagshäufigkeiten unter 70% für ODL-Werte über 190 nSv/h. Diese sind in Figur 4 mit ausgefüllten Kreisen markiert. Eine manuelle Überprüfung dieser Datenpunkte ergab, dass diese insgesamt 25 Messwerte repräsentieren, wovon 13 erhoben wurden, während kein Niederschlag stattfand. In allen Fällen hatte es jedoch unmittelbar davor geregnet und die ODL war deshalb immer noch erhöht. Die ODL-Spitzen aus Figur 3 lassen sich damit sehr gut mit den Niederschlägen erklären. Der Niederschlagseffekt zeigt sich in den maximalen 10 Minuten-Werten vieler Stationen und entsprechend in den in Figur 1 gezeigten Wertebereichen. Besonders ausgeprägt zu erkennen war er 2018 an den Standorten Sion (158% über dem Jahresmittelwert), Glarus (162%), Chasseral (178%) und Magadino-Cadenazzo (189%).

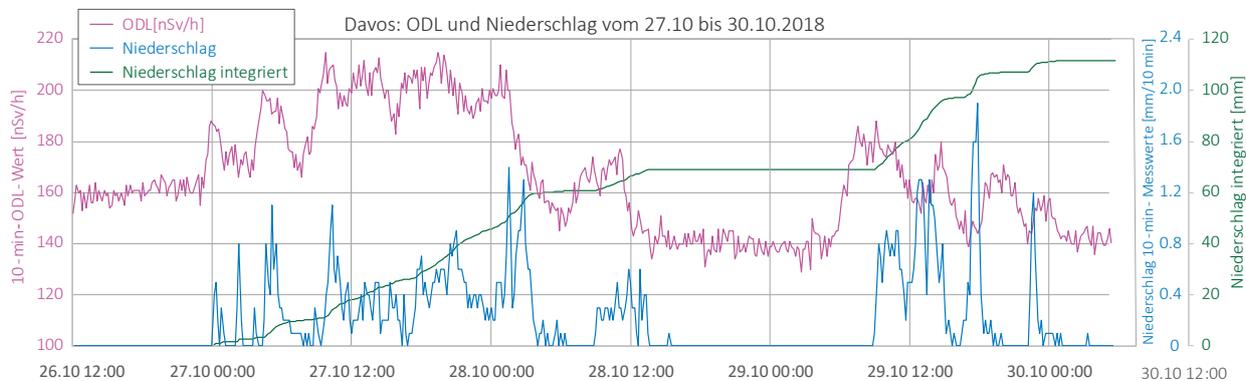
Figur 5 zeigt die absolute Häufigkeitsverteilung der 10 Minuten ODL-Daten in Davos, wobei die vertikale Diagrammchse logarithmisch skaliert ist. Rot eingezeichnet ist die Verteilung aller ODL-Daten, blau diejenige



Figur 4: Korrelation zwischen den 10 min-Werten und den Niederschlägen für die Station Davos im Jahr 2018. Die ODL-Werte über 190 nSv/h korrelieren gut mit Niederschlägen, d.h. in den meisten Fällen traten hohe ODL-Werte gleichzeitig mit Niederschlag auf. Die Datenpunkte über 190 nSv/h mit geringer relativer Häufigkeit stammen daher, dass kurz nach Niederschlägen die ODL noch nicht vollständig auf das Hintergrundniveau zurückgegangen war.



Figur 5: Verteilung der 10 min-Werte für die Station Davos im Jahr 2018; rot: alle Messwerte; blau: Messwerte während Niederschlag. Werte über 190 nSv/h gehen fast immer einher mit Niederschlag.



Figur 6: Zeitverlauf der ODL 10 min-Mittelwerte, der 10 min Niederschlagssummen und der integrierten Niederschlagsmenge für den Zeitraum vom 27.10. bis 30.10.2018 für die Station Davos.

der Messwerte, die aufgezeichnet wurden, während Niederschlag (Schnee oder Regen) stattgefunden hat. Der häufigste gemessene Wert liegt bei 157 nSv/h, lokale Maxima ergeben sich aus Perioden mit Messwerten, die über längere Zeiträume ähnlich blieben, wie bei etwa 92 nSv/h aufgrund der Schneedecke von Ende Januar bis Ende März. An den blau eingezeichneten Werten erkennt man die Korrelation von Niederschlag mit erhöhten ODL-Werten, im Speziellen über 190 nSv/h.

Ein Ausschnitt der in Figur 3 gezeigten Messreihe ist in Figur 6 dargestellt und wird mit der gleichzeitig aufgezeichneten Niederschlagskurve verglichen. Rot eingezeichnet und auf der linken y-Achse skaliert ist der 10-min-ODL-Mittelwert in Nanosievert pro Stunde [nSv/h] über den Zeitraum von drei Tagen Ende Oktober. An diesen Tagen ging in der ganzen Schweiz starker Regen nieder, in Davos waren dies über 110 mm Regen innerhalb von 72 Stunden. Die 10-min-Niederschlagswerte sind blau, deren integrierte Summe grün aufgetragen und auf der Innen- bzw. Aussenseite der rechten y-Achse skaliert.

Deutlich sichtbar sind ODL-Peaks, die jeweils bei Niederschlägen auftreten. Die klare Korrelation rührt daher, dass sich radioaktive Elemente bei trockenem Wetter als Feinstaubpartikel in der Atmosphäre verteilen, die dann bei einsetzendem Niederschlag aus der Luft ausgewaschen und am Boden deponiert werden und dort zunächst zu erhöhten Werten führen, bevor sie schliesslich versickern oder abfliessen. Die Intensität des ODL-Anstiegs ist dabei weniger von der Niederschlagsmenge abhängig, sondern eher davon, welche Stoffe bei Niederschlagsbeginn in der Atmosphäre vorhanden waren. Nach längeren Trockenperioden werden bei einsetzendem Regen somit höhere ODL Peaks gemessen, als wenn kurz zuvor schon Niederschlag stattgefunden hat. Daher wurde ein starker ODL-Anstieg verzeichnet, als es am 29.10.2018 zu regnen begann, jedoch keine höheren ODL Werte beim stärkeren Regen einige Stunden später, und nur ein geringer Anstieg beim heftigsten Regenpeak im betrachteten Zeitraum, am 30.10.2018 kurz vor 18:00 Uhr. Zudem ist in dieser Darstellung klar zu erkennen, dass nach den knapp 70 mm Niederschlag vom 27. und 28.10.2018 die Untergrund-ODL von ungefähr 160 nSv/h auf rund 140 nSv/h zurückging, weil radioaktives Material versickert oder weggespült war und das nasse Erdreich die Strahlung aus dem Boden stärker abschirmte.

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

Wenn über kurze Zeiträume höhere oder tiefere Werte gemessen werden, beeinflusst dies den Jahresmittelwert, jedoch bleibt der häufigste Messwert ähnlich, sofern noch genügend Messungen aus Perioden ohne diese Einflüsse vorhanden sind. Dies kann aufgrund der Schneedecke der Fall sein, welche den terrestrischen Anteil der Strahlung über eine gewisse Dauer teilweise abschirmt. Daher liegt etwa in Davos der Jahresmittelwert rund 12% tiefer als der häufigste Messwert, auf den Stationen San Bernardino und Gütsch ob Andermatt beträgt dieser Unterschied gar 13% respektive 20% (Tabelle 1). Hält die Schneedecke besonders lange an, kann sie auch den umgekehrten Effekt zur Folge haben, nämlich, dass der häufigste Wert unter dem Jahresmittelwert zu liegen kommt. Dies war im Jahr 2018 auf dem Grossen Sankt Bernhard der Fall (häufigster Wert 7% tiefer als Jahresmittelwert), ebenso in Ulrichen, wo die reduzierten ODL-Werte besonders stabil waren, was dazu führt, dass der häufigste Wert 56% unter dem Jahresmittelwert liegt. In überwiegend schneefreien Gebieten sind der häufigste Messwert und der Jahresmittelwert sehr ähnlich.

Qualitätssicherung

Die Sonden sind vom Hersteller typengeprüft und werden durch die anerkannte Eichstelle des «Institut Universitaire de Radiophysique Appliquée» (IRA) geeicht. Die Gültigkeit des Eichzertifikats wurde in Absprache mit der METAS für den Gerätetyp IGS 421 B1-H des Herstellers Envinet (Zulassungszertifikat CH-I-13182-01) auf fünf Jahre festgelegt.

Nach der Eichung erfolgt bei MeteoSchweiz in Payerne noch eine Analyse der Eichungsergebnisse. Falls die Abweichung bei Dosisleistungen ≤ 50 mikroSv/h grösser als 7% oder bei Dosisleistungen > 50 mikroSv/h grösser als 15% ist, wird ein Korrektorkoeffizient angewandt. Damit wird sichergestellt, dass die Sonde in 95% der Fälle im Toleranzbereich liegt.

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

- Überprüfen, dass die Sonden im definierten Wertebereich korrekt messen: Bei einer Abweichung von mehr als 7% des gemessenen Wertes vom Sollwert wird die Sonde ausgewechselt. Somit können sich die Dosisleistungswerte von zwei verschiedenen Sonden (verschiedene Seriennummern) am gleichen Standort bei einem Messwert von 100 nSv/h um höchstens 15 nSv/h unterscheiden. Bei technischen Defekten werden die Sonden ausgewechselt, bei MeteoSchweiz in Payerne im Labor getestet und falls nötig dem Hersteller zur Reparatur geschickt.
- Testen der Meldewege, insbesondere auch die korrekte Auslösung und Übermittlung eines Sondenalarms.

Die NAZ verfügt insgesamt über 116 Sonden für den ortsfesten Betrieb an den 76 NADAM-Standorten. Der grösste Teil davon ist auf den Stationen im Einsatz, einige müssen repariert werden oder befinden sich in der Eichung. Daneben stehen einsatzbereite Ersatzsonden an vier Wartungsstandorten von MeteoSchweiz bereit.

Jede Sonde wird mindestens alle 12 Monate geprüft. An den Standorten Piotta und San Bernardino war jeweils nach einem Austausch ein zweiter Sondentest nötig, somit wurden im Jahr 2018 insgesamt 78 Sondentests durchgeführt. Die NADAM-Sonden sind stabil und zuverlässig.

Zudem besitzt die NAZ 30 zusätzliche, mobile NADAM-Sonden, mit denen das NADAM-Netz bei Bedarf punktuell verdichtet werden kann. Die mobilen verfügen über die gleiche Sensorik wie die ortsfesten Sonden, sind aber für einen autarken Betrieb mit Solarpanel und Batterie ausgerüstet und übermitteln die Messdaten über das Mobilfunknetz.

Eine wesentliche Änderung des NADAM-Netzes steht für die Jahre 2019 und 2020 bevor. Weil der Hersteller angekündigt hat, die technische Unterstützung der bisherigen Sonden einzustellen und weil die mobilen Sonden nicht mit neuen Mobilfunkstandards kompatibel sind, müssen alle NADAM-Sonden bis Ende 2020 ersetzt werden. Es wurde eine WTO-Ausschreibung durchgeführt, zusammen mit dem ENSI, das im MADUK-Netz mit dem gleichen Sondentyp die Ortsdosisleistung in der Umgebung der Schweizer Kernanlagen überwacht. Den Zuschlag für die Lieferung der neuen Sonden hat die Bertin GmbH erhalten. Der Zeitplan sieht vor, dass im Laufe des Jahres 2019 Prototypen der neuen Sonden getestet und bis Ende 2020 alle Sonden der NADAM- und MADUK-Netze ersetzt werden.

Station	Kanton	Datum der Inbetriebnahme	Höhe [m.ü.M.]	Jahresmittelwert [nSv/h]	Häufigster Wert [nSv/h]	Minimum [nSv/h]	Maximum [nSv/h]
Aadorf-Tänikon (TAE)	TG	03.12.09	539	98	96	82	238
Adelboden (ABO)	BE	04.11.09	1322	110	118	77	190
Aigle (AIG)	VD	09.09.09	382	120	119	101	210
Altdorf (ALT)	UR	28.10.09	439	131	128	106	245
Basel-Binningen (BAS)	BS	19.11.09	317	118	116	99	213
Beznau (BEZ)	AG	19.11.09	327	105	104	87	221
Bière (BIE)	VD	12.01.17	684	101	100	83	183
Buchs/Aarau (BUS)	AG	20.11.09	388	102	100	84	231
Bullet-La Frétaz (FRE)	VD	24.09.09	1206	123	131	85	219
Cham (CHZ)	ZG	29.01.18	442	107	105	89	233
Chasseral (CHA)	BE	17.09.09	1594	114	117	83	317
La Chaux de Fonds (CDF)	NE	17.09.09	1018	129	129	84	235
Chur (CHU)	GR	09.10.09	557	116	114	89	212
Col du Grand St Bernard (GSB)	VS	09.09.09	2491	131	122	99	207
Cressier (CRM)	NE	03.11.16	431	88	86	71	180
Davos (DAV)	GR	08.10.09	1589	138	157	74	256
Delémont (DEM)	JU	03.11.16	439	122	118	102	257
Disentis/Sedrun (DIS)	GR	28.10.09	1197	109	112	74	219
La Dôle (DOL)	VD	23.09.09	1670	113	117	80	197
Egolzwil (EGO)	LU	22.09.10	523	105	103	89	229
Engelberg (ENG)	OW	30.10.09	1035	90	90	64	205
Fahy/Boncourt (FAH)	JU	14.10.09	597	129	125	100	225
Fribourg-Posieux (GRA)	FR	13.01.17	646	111	109	92	229
Génève (GVE)	GE	24.09.09	412	112	111	92	200
Glarus (GLA)	GL	02.12.09	518	104	102	79	273
Gösgen (GOE)	SO	20.11.09	381	107	106	91	216
Grenchen (GRE)	SO	06.12.10	431	94	92	67	208
Gütsch ob Andermatt (GUE)	UR	01.09.05	2296	148	189	94	268
Güttingen (GUT)	TG	03.12.09	441	112	111	88	251
Hallau (HLL)	SH	29.01.18	419	132	131	110	244
Hörnli (HOE)	ZH	12.11.09	1133	97	96	82	220
Jungfrau-Joch (JUN)	VS	29.09.09	3581	194	188	167	275
Kloten/Zürich (KLO)	ZH	24.11.09	427	117	115	91	264
Koppigen (KOP)	BE	13.01.17	484	123	121	103	250
Leibstadt (LEI)	AG	19.11.09	342	102	99	83	232
Locarno-Monti (OTL)	TI	22.10.09	368	154	149	127	267
Lugano (LUG)	TI	21.10.09	273	130	129	111	209
Luzern (LUZ)	LU	05.11.09	455	111	108	92	253
Magadino-Cadenazzo (MAG)	TI	22.10.09	204	134	132	87	387
Meiringen (MER)	BE	06.10.11	590	137	136	109	299
Möhlín (MOE)	AG	09.20.10	341	121	117	100	250
Le Moléson (MLS)	FR	19.08.09	1975	109	113	81	212
Mosen (MOA)	LU	29.01.18	452	99	98	83	243
Mühleberg (MUB)	BE	15.10.09	481	120	117	93	196
Napf (NAP)	BE	05.11.09	1405	105	111	69	206
Neuchâtel (NEU)	NE	10.12.09	485	102	101	86	234
Nyon-Changins (CGI)	VD	23.09.09	459	120	117	101	248
Oron (ORO)	VD	29.02.12	828	115	113	95	213
Paul Scherrer Institut (PSI)	AG	27.07.11	335	107	104	87	201
Payerne (PAY)	VD	13.08.09	490	104	104	85	227
Piotta (PIO)	TI	29.10.09	990	153	165	83	325
Plaffeien (PLF)	FR	14.08.09	1043	113	112	94	202
Poschiamo-Robbio (ROB)	GR	07.10.09	1079	165	169	100	319
Pully (PUY)	VD	23.09.09	456	122	122	101	216
Rünenberg (RUE)	BL	20.11.09	612	101	99	85	193
Samedan (SAM)	GR	25.08.09	1710	149	162	93	324
San Bernardino (SBE)	GR	29.10.09	1640	132	152	72	316
Santa Maria (SMM)	GR	15.12.11	1385	142	157	83	352
Säntis (SAE)	AI	11.11.09	2503	126	125	101	209
Schaffhausen (SHA)	SH	04.12.09	439	104	99	85	206
Scuol (SCU)	GR	27.08.09	1305	120	125	78	284
Sion (SIO)	VS	10.09.09	482	126	124	86	326
St. Gallen (STG)	SG	12.11.09	777	101	99	84	236
Stabio (SBO)	TI	21.10.09	352	140	139	115	259
Thun (THU)	BE	29.01.18	570	95	93	79	191
Ulrichen (ULR)	VS	04.11.09	1347	133	59	48	324
Vaduz (VAD)	FL	03.12.09	458	107	106	88	252
Vicosoprano (VIO)	GR	06.02.13	1089	186	205	91	331
Villars-Tiercelin (VIT)	VD	29.01.18	859	125	124	102	233
Visp (VIS)	VS	11.09.09	640	127	126	86	263
Wädenswil (WAE)	ZH	02.12.09	487	114	112	92	277
Wynau (WYN)	BE	15.10.09	423	103	100	83	212
Zermatt (ZER)	VS	11.09.09	1640	123	137	72	209
Zollikofen/Bern (BER)	BE	30.09.09	554	115	115	97	217
Zürich-Affoltern (REH)	ZH	13.11.09	444	110	107	91	271
Zürich-Fluntern (SMA)	ZH	24.11.09	557	116	115	99	220

Tabelle 1:
Jahresmittelwert, häufigster Wert, Minimum und Maximum der NADAM-Stationen
 In der folgenden Tabelle sind die Jahresmittelwerte, die häufigsten Werte, die Minima und Maxima, basierend auf den 10-Min-Werten, für alle NADAM-Stationen im Jahr 2018 aufgeführt.

3.3

Aeroradiometrische Messungen

B. Bucher

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Industriestrasse 19, Brugg

G. Butterweck

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Paul Scherrer Institut, Villigen PSI

L. Rybach

Institut für Geophysik, ETH Zürich, Zürich

Zusammenfassung

Bei den Messflügen Ende Mai anfangs Juni 2018 wurde turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) sowie der Forschungseinrichtungen des PSI und der Zwischenlager AG (ZWILAG) abgedeckt.

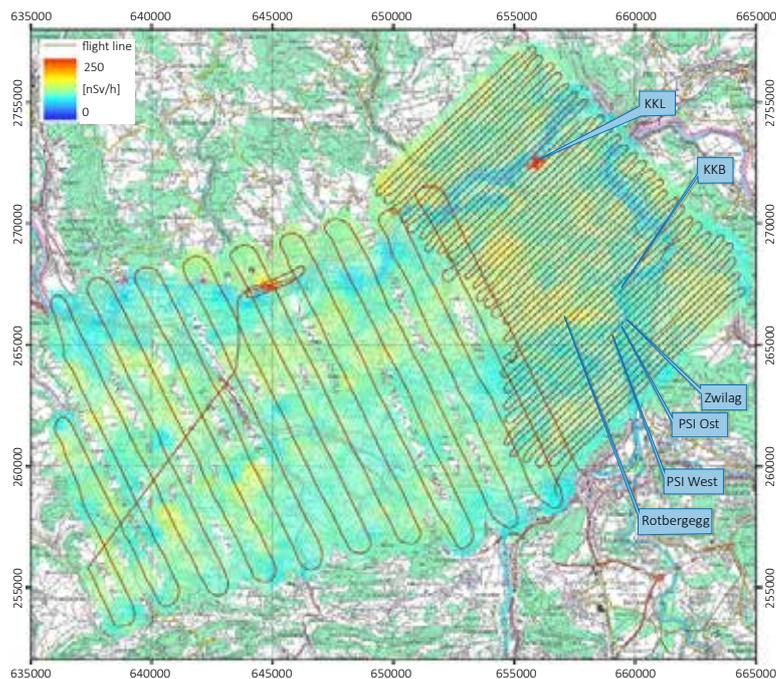
Die Messresultate in den Messgebieten KKB und KKL zeigten ein ähnliches Bild wie in früheren Jahren. Das KKB konnte nicht detektiert werden. Beim KKL konnte wie in früheren Jahren die gestreute, hochenergetische Photonenstrahlung des Radionuklids ^{16}N detektiert werden. Beim PSI-West befand sich die Beschleunigeranlage im Shutdown und die Abschirmungen waren deshalb geöffnet. Entsprechend konnte ein Signal von ^{60}Co detektiert werden. Das ZWILAG sowie PSI-Ost konnten radiometrisch nicht detektiert werden. Ausserhalb der Betriebsareale wurde keine Radioaktivität identifiziert, die auf den Betrieb der Kernanlagen zurückzuführen wäre.

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

Einleitung

Aeroradiometrische Messungen wurden in der Schweiz im Jahr 1986 mit einem geophysikalischen Projekt am Institut für Geophysik der ETH Zürich aufgenommen. Die grundlegende Methodik für Datenerfassung, Datenverarbeitung, Kalibrierung und Kartendarstellung wurden innerhalb dieses Projektes entwickelt (Schwarz 1991). Seit 1989 wird die Umgebung der schweizerischen Kernanlagen mindestens im Zweijahresrhythmus vermessen.

Im Jahre 1994 wurde die Aeroradiometrie in die Einsatzorganisation Radioaktivität des Bundes integriert. Als mögliche Einsatzfälle stehen Transport- und Industrieunfälle mit radioaktivem Material, KKW-Störfälle, Abstürze von Satelliten mit Nuklearreaktoren und «Dirty Bombs» im Vordergrund. Die jährlichen Messprogramme werden durch die Fachgruppe Aeroradiometrie zusammengestellt, die sich aus Mitgliedern der beteiligten Stellen zusammensetzt. Der Einsatz erfolgt unter der Regie der Nationalen Alarmzentrale (NAZ).



Figur 1:
Ortsdosisleistung 2018 im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG.
Kartendaten PK100 © Bundesamt für Landestopografie.

Mit den Messflügen 2018 erfolgte die Ablösung der alten Messsysteme durch ein Messsystem der Firma Mirion, welches durch die RUAG im Super Puma Helikopter der Schweizer Luftwaffe integriert wurde. Das neue Messsystem wurde in den vorangehenden Messübungen eingehend getestet und die Ergebnisse mit denen des alten Systems verifiziert. Es stehen nun vier Messsysteme für die Aufgaben der NAZ sowie des Kompetenzzentrums ABC KAMIR der Armee zur Verfügung. Wartung und Unterhalt erfolgt durch die Lieferanten.

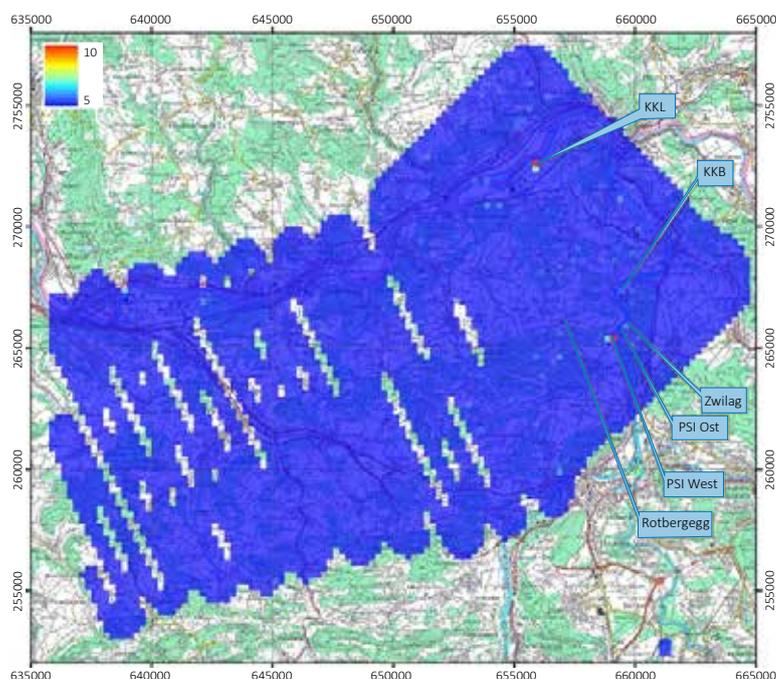
Im Jahre 2010 (Bucher et. al, 2010) wurde mithilfe der Auswertung der Langzeitdaten die Nachweisgrenze der Messmethode ermittelt: $0.02 \mu\text{Sv/h}$ werden in 95 von 100 Fällen erkannt (Vertrauensbereich 95%). Dies entspricht ungefähr 20% der natürlichen externen Strahlung.

Messungen und Messresultate 2018

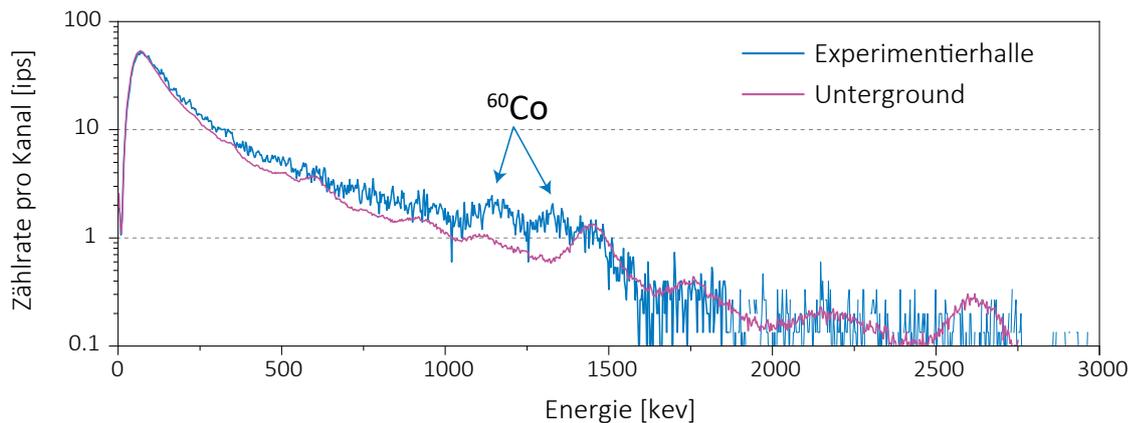
Vom 28. Mai bis 1. Juni 2018 wurde turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL), der Forschungseinrichtung Paul Scherrer Institut (PSI) sowie der Zwischenlager AG (ZWILAG) gemessen. Das Messareal wurde 2018 um die Messungen über den Sektoren 4 und 5 der Zone 2 von KKL und KKB und auf Wunsch der deutschen Behörden um einen Streifen nördlich des Rheins erweitert.

Die Messresultate im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegangenen Messkampagnen. Im Bereich des KKB sind keine besonderen Werte bei der Ortsdosisleistung (Figur 1) zu erkennen. KKB mit seinem Druckwasserreaktor konnte aeroradiometrisch weder aufgrund der Ortsdosisleistung (Figur 1) noch aufgrund des MMGC-Verhältnisses (Figur 2) erkannt werden. Das MMGC-Verhältnis steht für den Quotienten der Zählraten im Energiebereich von $400 - 1'400 \text{ keV}$ und $1'400 - 3'000 \text{ keV}$. Da die meisten Spaltprodukte Gammalinien im Energiebereich unterhalb von $1'400 \text{ keV}$ aufweisen, stellt das MMGC-Verhältnis ein empfindliches Instrument zur Lokalisierung künstlicher Radionuklide dar.

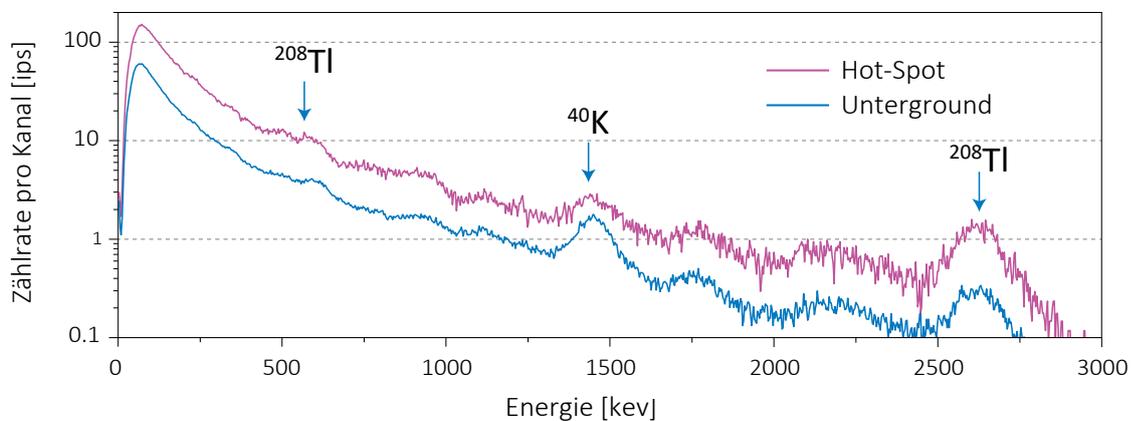
Im Gegensatz zu KKB können am Standort von KKL in der Figur 1 erhöhte Messwerte erkannt werden. Das KKL mit seinem Siedewasserreak-



Figur 2:
MMGC-Verhältnis 2018 im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG.
Kartendaten PK100 © Bundesamt für Landestopografie.



Figur 3:
Gemitteltetes Spektrum über der Experimentierhalle PSI West im Vergleich zum Untergrund.



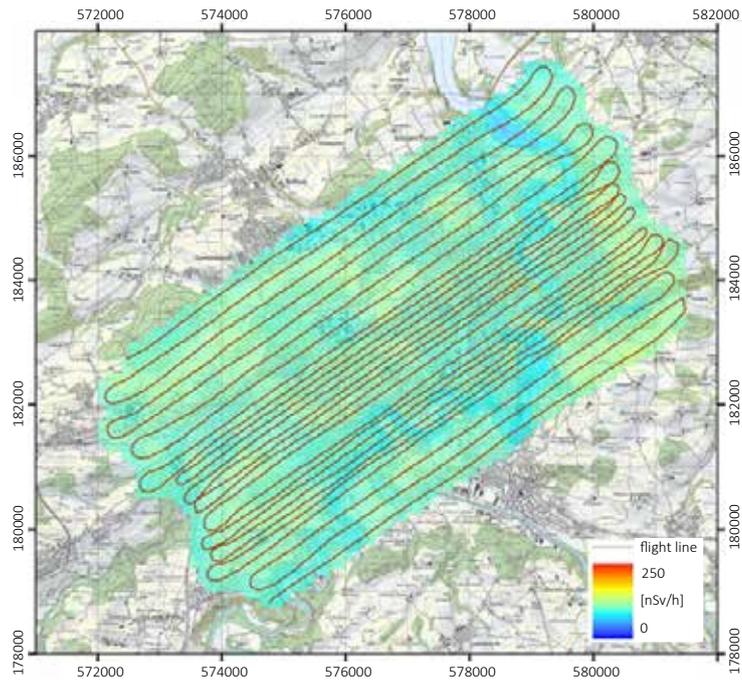
Figur 4:
Gemitteltetes Spektrum über dem Hot-Spot auf deutschem Gebiet im Vergleich zum Untergrund.

tor konnte anhand gestreuter, hochenergetischer Photonenstrahlung wie in früheren Jahren erkannt werden. Diese Strahlung wird durch das Aktivierungsprodukt ^{16}N erzeugt, welches bei Siedewasserreaktoren durch die Frischdampfleitung in die Turbinen im Maschinenhaus gelangt. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise gering abgeschirmt ist, kann die hochenergetische Gammastrahlung des ^{16}N aus der Luft gut gemessen werden. Die hochenergetische Gammastrahlung führt über Paarbildung und die damit verbundene Annihilationsstrahlung auch zu einem Peak bei 511 keV im Spektrum. Die Strahlung macht sich auch im MMGC-Verhältnis bemerkbar (Figur 2).

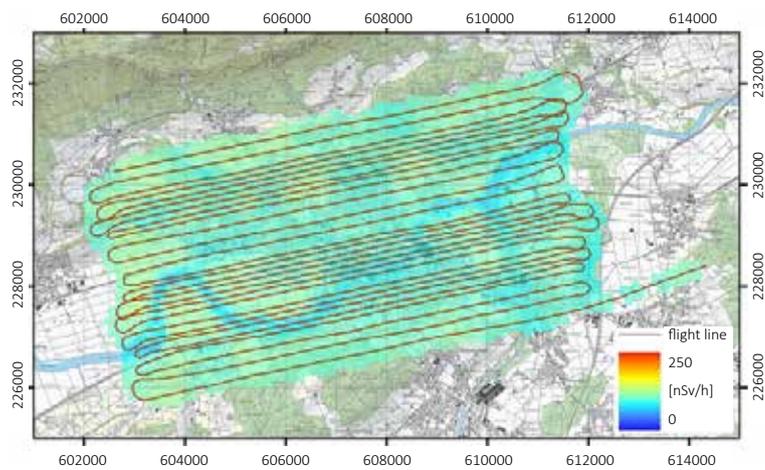
Im MMGC-Verhältnis (Figur 2) ist auch beim PSI West eine Erhöhung zu erkennen. Zum Zeitpunkt der Messflüge befand sich der Protonen-Beschleuniger aufgrund von Wartungsarbeiten im Stillstand. Für diese Wartungsarbeiten wurden die Abschirmungen geöffnet. Deshalb konnte ^{60}Co im Spektrum (Figur 3) identifiziert werden, das durch Aktivierung von Stahl entsteht.

Ausserhalb der Betriebsareale der Kernanlagen sind im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG keine erhöhten Werte erkennbar. Unterschiede sind auf Einflüsse der Topografie wie Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen.

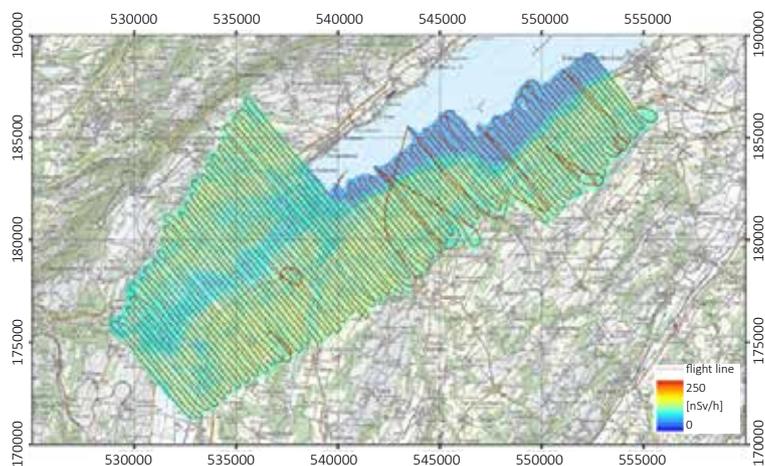
Im Messgebiet der Sektoren 4 und 5 der Zone 2 von KKL und KKB wurde auf deutscher Seite des Rheins ein Hot-Spot der Ortsdosisleistung (Figur 1, Koordinaten 644'887, 267'409) detektiert. Das MMGC-Verhältnis am Ort der erhöhten Dosisleistung (Figur 2) weist nicht auf künstliche Radionuklide als Ursache der Erhöhung hin. Das über dem Hot-Spot (Figur 4) gemessene Spektrum zeigt eindeutig Photonen-Emissionen des Radionuklids ^{208}Tl bei 583 keV und 2'615 keV. Dieses Radionuklid stammt aus der natürlichen Thorium-Zerfallsreihe. Am Ort des Hot-Spots ist eine Firma registriert, die Zirkon-Mineralen industriell verarbeitet. In Verbindung mit Zirkon-Mineralen treten häufig auch natürlich vorkommende Radionuklide (NORM) insbesondere aus der Thorium-Reihe auf.



Figur 5:
Ortsdosisleistung 2018 im Messgebiet um Fribourg. Kartendaten PK100 © Bundesamt für Landestopografie.



Figur 6:
Ortsdosisleistung 2018 im Messgebiet um Solothurn. Kartendaten PK100 © Bundesamt für Landestopografie.



Figur 7:
Ortsdosisleistung 2018 im Messgebiet um Yverdon-les-Bains. Kartendaten PK100 © Bundesamt für Landestopografie.

Die Messflüge zur Erfassung des Untergrunds über Schweizer Städten wurden in 2018 mit Fribourg (Figur 5), Solothurn (Figur 6) und Yverdon-les-Bains (Figur 7) fortgesetzt. Dabei wurden bei Yverdon-les-Bains erstmals auch Messflüge des KompZen ABC-Kamir der Schweizer Armee eingebunden, welche mit einem identischen Messsystem durchgeführt werden. Die Abschwächung der terrestrischen Strahlung durch das Wasser der Seen und Flüsse ist in allen Ergebnissen erkennbar.

Im Rahmen der Messflüge 2018 wurden zusätzlich noch ein Gebiet am Mont Vully, ein Profil von Bern nach Kandersteg und ein Steigflug über dem Genfersee gemessen.

Zusammen mit einem Bodenteam des Labors Spiez nahm die Aeroradiometrie an der internationalen RANET-Übung CONTEX 2018 in Dänemark teil. Die detaillierten Ergebnisse sämtlicher Messungen werden in einem PSI-Bericht im Verlauf des Jahres 2019 veröffentlicht.

Literatur

- Schwarz, G. F., 1991: Methodische Entwicklungen zur Aerogammaspektrometrie. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geophysik Nr.23, Schweizerische Geophysikalische Kommission.
- Bucher, B., Rybach, L., 2010: Flächendeckende Langzeitanalyse der Strahlung in der Umgebung der Schweizer Kernanlagen mit Hilfe der Aeroradiometrie, in: Natürliche und künstliche Radionuklide in unserer Umwelt, 42. Jahrestagung des Fachverbands für Strahlenschutz e.V., FS-2010-153-T, ISSN 1013-4506, TÜV Media GmbH, Köln.

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

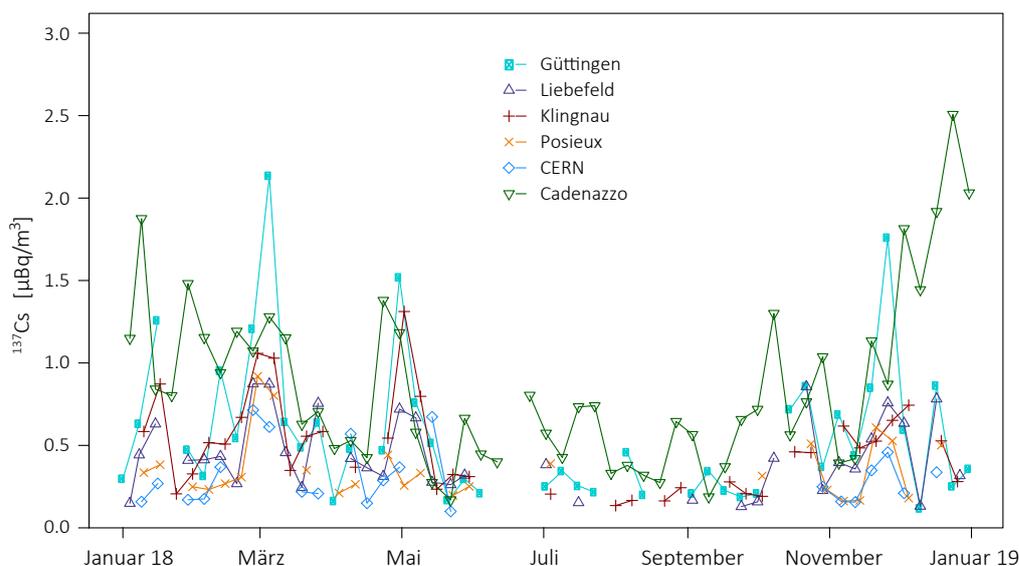
Zusammenfassung

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 kleinste 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 Gösigen, 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 :
¹³⁷Cs 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 (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 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 ¹³⁷Cs von 3.3 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 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. Aufgrund der kurzen Halbwertszeit von ²⁴Na kann die Nachweisgrenze variieren und lag 2018 bei rund einem Siebtel der Messungen bei > 1'000 µBq/m³. Die gemessenen ²⁴Na Werte und die Nachweisgrenzen insgesamt liegen allerdings stets sehr deutlich unterhalb des Immissionsgrenzwertes von 100 Bq/m³. Geringste Spuren von Jod-131 (¹³¹I) tauchten 2018 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

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)

ist die Ursache von Spuren von ^{131}I in dessen medizinischen Anwendungen zu suchen, etwa wenn ^{131}I durch die Verbrennung von Abfällen aus Spitälern in die Luft gelangt. 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

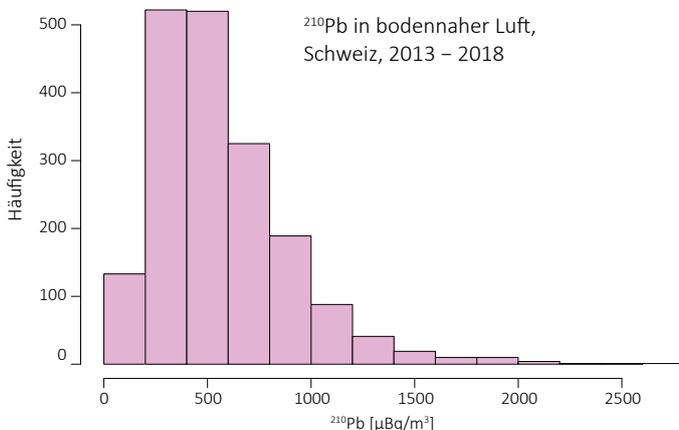
Die 2018 auf den HVS Filtern gemessenen Radioisotope waren fast ausschliesslich natürlicher Herkunft. Vorherrschend waren das Radonfolgeprodukt Blei-210 (^{210}Pb ; Halbwertszeit 21 Jahre) und Beryllium-7 (^7Be ; Halbwertszeit 53 Tage), welches durch die kosmische Strahlung in hohen Schichten der Atmosphäre gebildet 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).

Tabelle 2:

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

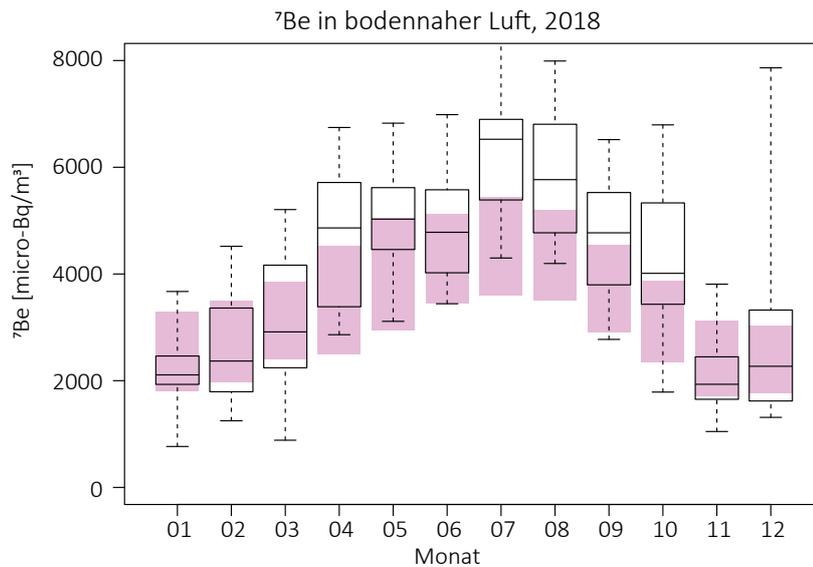
Kenngrösse	^{210}Pb [mBq/m^3]	^7Be [mBq/m^3]
5%- 95%-Perzentil	0.18 - 1.18	1.48 - 6.40
Min - Max	0.07 - 2.76	0.15 - 8.74
Mittelwert / Median	0.57 / 0.49	3.66 / 3.50
Anzahl Messwerte: 1'864		

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 Junfrauoch, 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



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

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 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 Benzau, Umgebung PSI/ZWILAG sowie Posieux FR, Göttingen TG, Cadenazzo TI, Cernier NE und Davos GR. Für die natürlichen Radioisotope ⁷Be und ²¹⁰Pb 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 ¹³⁷Cs knapp über der Erkennungsgrenze (Maximum 0.6 mBq/l ¹³⁷Cs). Als Referenzpunkt kann hier der Immissionsgrenzwert aus der Strahlenschutzverordnung von 36 Bq/l ¹³⁷Cs 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, Göttingen, 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 ²²Na 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/m^3 für ^{137}Cs und damit weit unter den in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Immissionsgrenzwerten. Die Messungen zeigen, dass die natürlich vorkommenden Radontöchter wie ^{214}Pb und ^{214}Bi in Abhängigkeit der Wetterlage 12h-Mittelwerte von bis zu 40 Bq/m^3 erreichen. Die Konzentrationen von gasförmigem ^{131}I blieben ebenfalls unter der Nachweisgrenze von 40 mBq/m^3 .

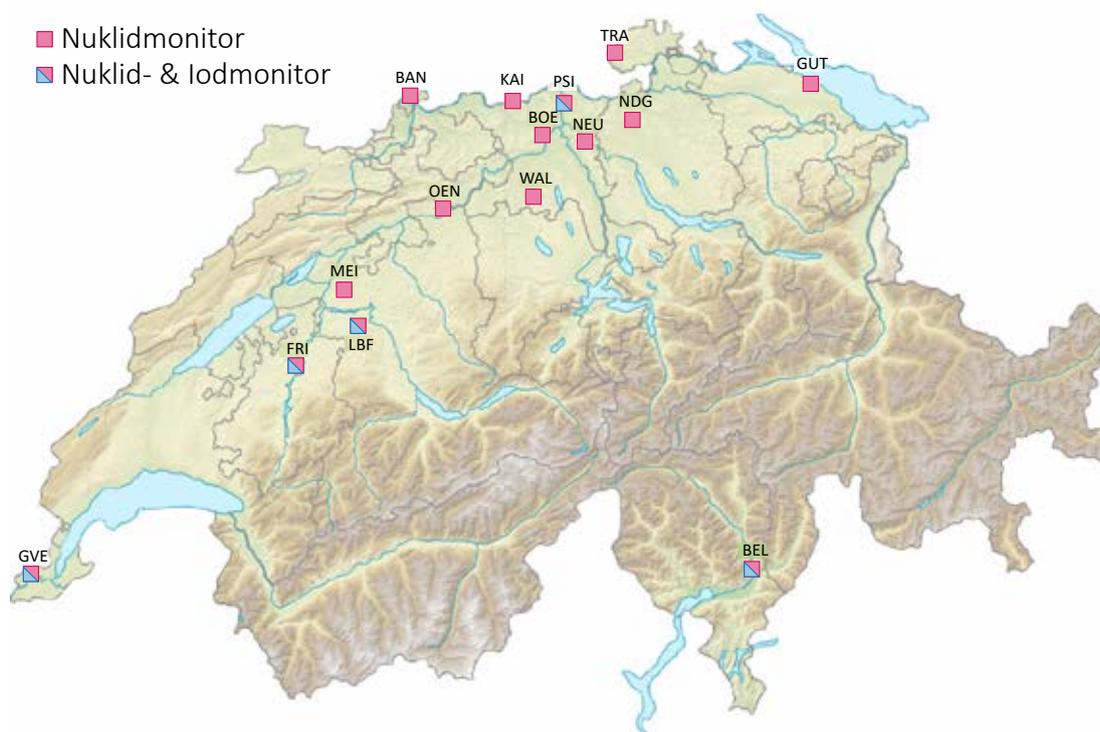
Einführung

Das Vorgängermessnetz RADAIR bestand aus 11 Monitoren zur kontinuierlichen Überwachung der α - und β -Strahlung sowie 5 Monitoren zur Messung der ^{131}I 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 Gammaskopie werden die natürlichen und künstlichen Radionuklide identifiziert und ihre Aktivitätskonzentration in der Luft bestimmt. Dabei werden beispielsweise für ^{137}Cs Nachweisgrenzen von 3 mBq/m^3 für eine 12-stündige Sammelperiode erreicht, was weit unter den von Euratom geforderten 30 mBq/m^3 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 ^{131}I -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 $0.5 \text{ }\mu\text{Bq/m}^3$ für ^{137}Cs , 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 ¹³¹I-Monitore befinden sich bei den Stationen in Genf, Fribourg, Bern, Bellinzona und am PSI jeweils in den selben Räumlichkeiten wie die Aerosolsammler.



Figur 1:

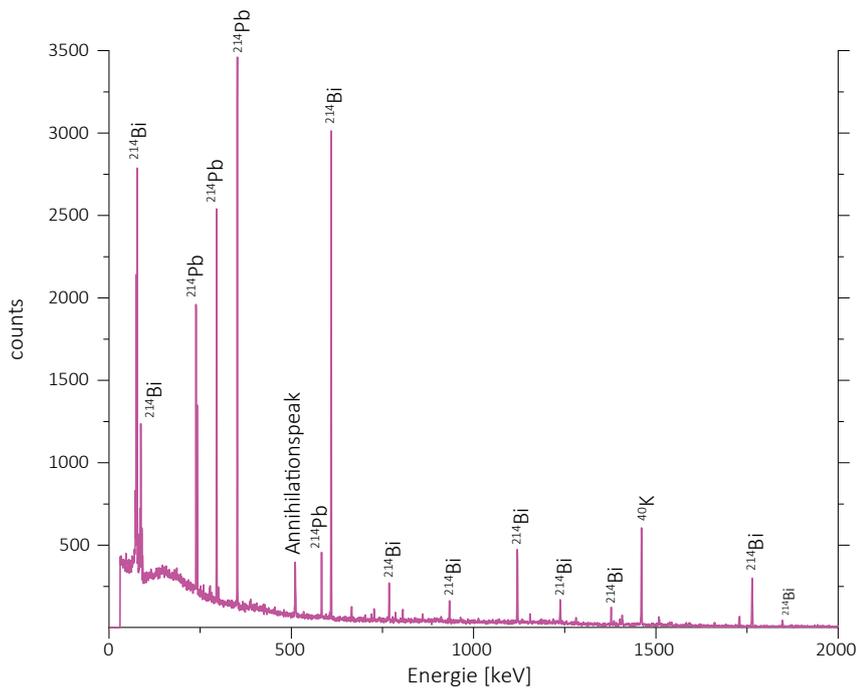
Standorte der Aerosol- und ¹³¹I-Monitore von URAnet aero. Die Stationen sind jeweils mit einem Kürzel für die Gemeinde/Region bezeichnet und bedeuten wie im Text erläutert: BAN: Basel/BS, BEL: Bellinzona/TI, BOE: Bözberg/AG, BUL: Bülach/ZH, FRI: Fribourg/FR, GUT: Güttingen/TG, GVE: Genf/GE, KAI: Kaisten/AG, 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 m³/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



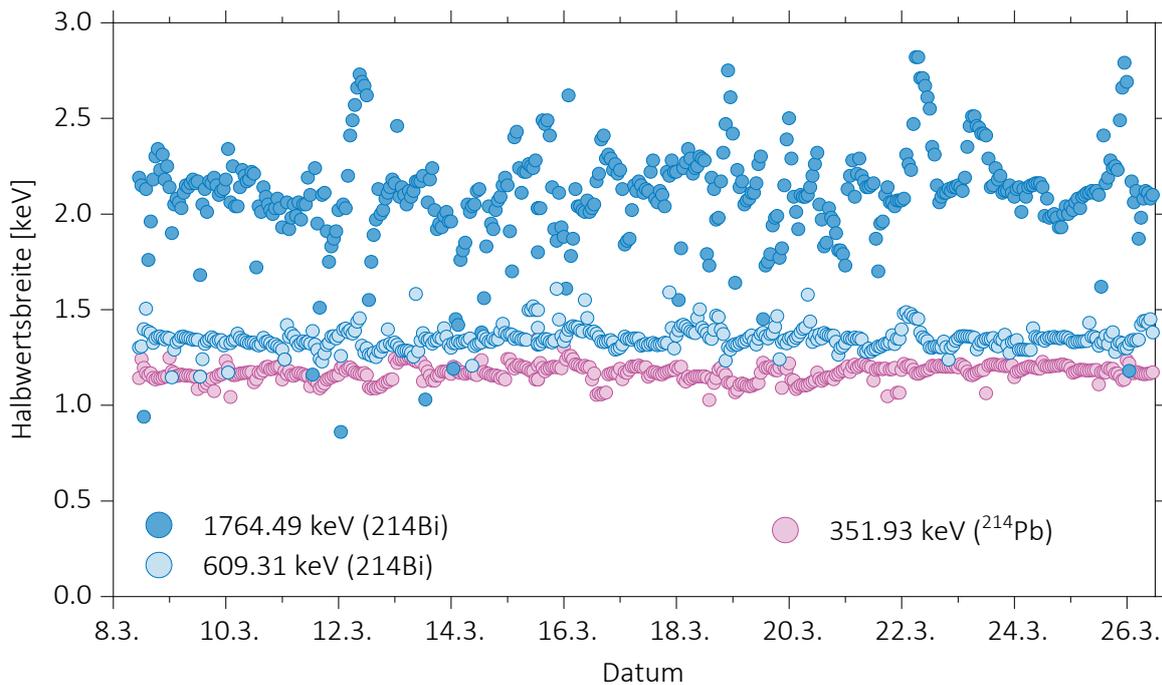
Figur 2:
Gammapektrum nach 12h Sammelzeit. Die Peaks sind entsprechend den Radionukliden markiert. Kleinere Peaks können ebenfalls den Radon-Töchtern zugeordnet werden, sind aber aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht markiert.

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 Reinstgermanium-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 Gammapektrums 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

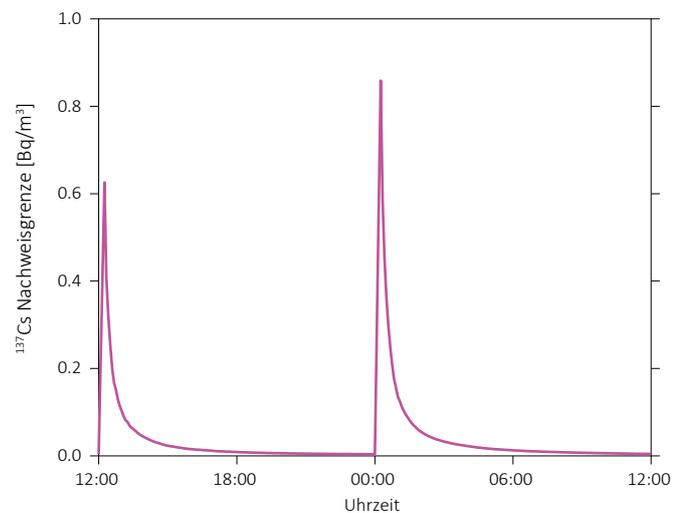


Figur 3:
Halbwertsbreiten der drei Linien bei 351.93 keV, 609.31 keV und 1'764.49 keV der beiden Radon-Töchter ^{214}Bi und ^{214}Pb während einiger Tage Messzeit.

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 spiegelt 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

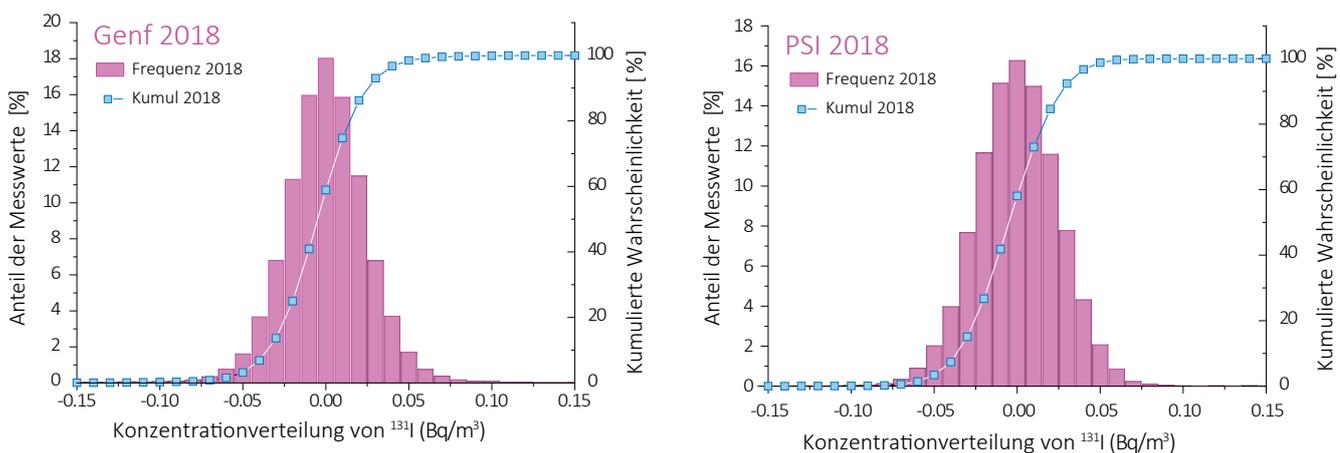
Aerosolsammler :

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/m^3 , 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:

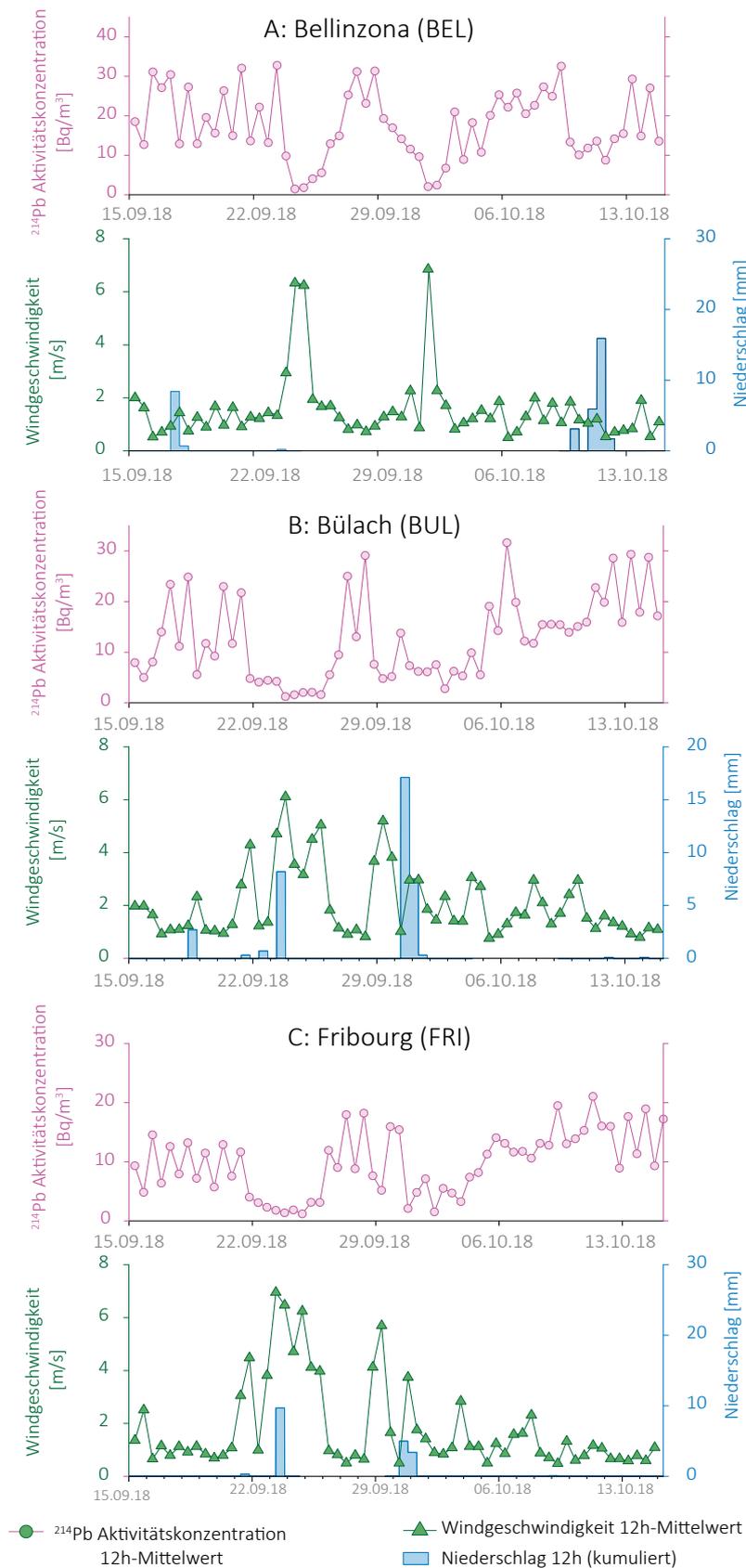
Die 5 ^{131}I -Monitore auf den Stationen BEL, FRI, GVE, LBF und PSI sind seit 2017 im Messnetz URAnet aero integriert und messen die Konzentration des gasförmigen ^{131}I . Bei keiner Messung im Jahr 2018 wurde die Nachweisgrenze überschritten. Die Absenz von ^{131}I in der Luft bestätigen auch die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



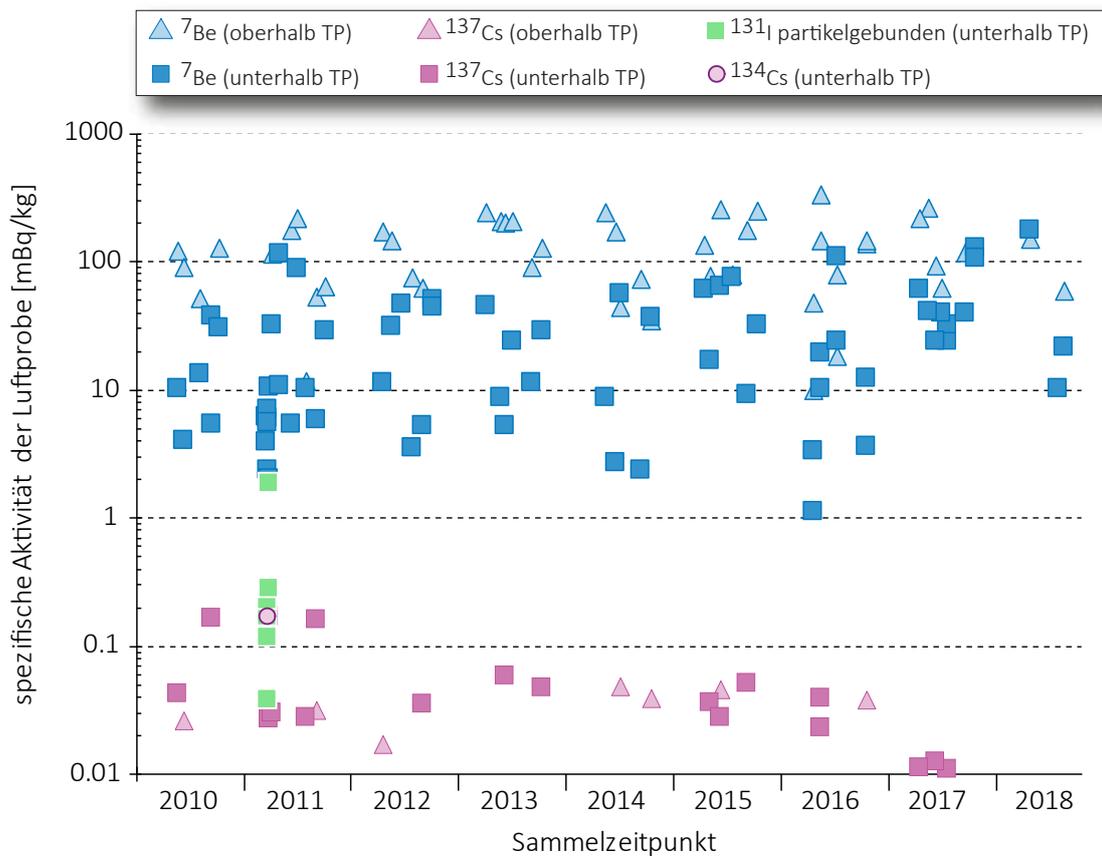
Figur 2 : Höhenluftfilter-Aggregate : Detail-Aufnahme eines Sammelgerätes.

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 Gammaskpektrometrie, wobei nach 1-2 Tagen Messzeit für ^{137}Cs eine Nachweisgrenze von 0.01 - 0.05 mBq/kg Luft erreicht wird. Anschliessend können an den Filtern weitere Untersuchungen 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. Zehring

Kantonales Labor Basel-Stadt, Basel

Zusammenfassung

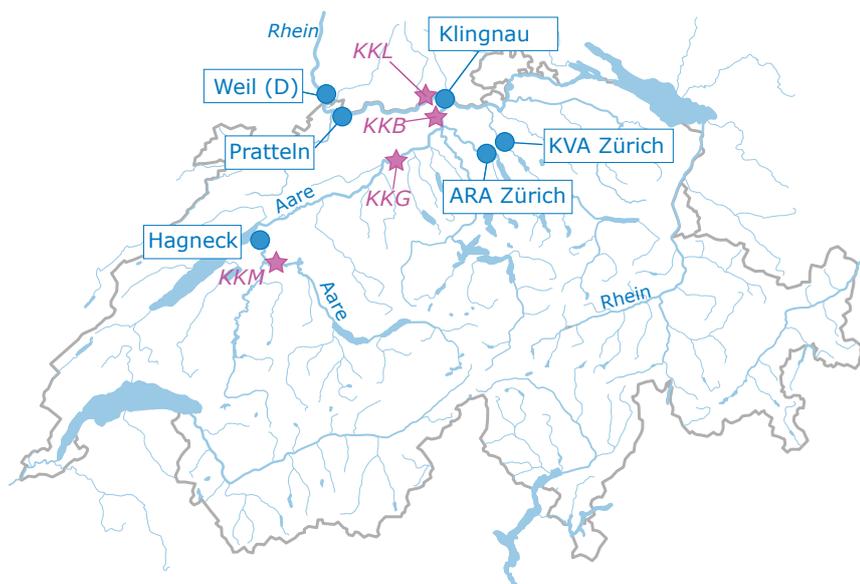
In den Wasserproben von Aare und Rhein wurden 2018 weder ^{54}Mn , ^{58}Co oder ^{60}Co aus Abgaben der Kernkraftwerke Mühleberg, Gösgen, Beznau oder Leibstadt nachgewiesen. Nur in den Schwebstoffproben von Aare und Rhein wurden sporadisch ^{54}Mn und ^{60}Co in geringen Konzentrationen gefunden. Weiter wurde vereinzelt ^{137}Cs beobachtet, welches von den oberirdischen Atombombentests und vom Tschernobylunfall stammt. In Stichproben von Schwebstoffen im Rhein bei Weil (D) wurden im Weiteren die kurzlebigen Radionuklide ^{131}I , ^{177}Lu und ^{223}Ra gefunden, welche in der Nuklearmedizin eingesetzt werden. In Fischen waren keine künstlichen Radionuklide nachweisbar. In verschiedenen Wasserpflanzenproben wurde vereinzelt ^{54}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 Nachweisgrenze; 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 Nachweisgrenze 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.

regelmässig Schwebstoffproben gesammelt. Zusätzlich werden Stichproben von Grundwasser, Fisch und Wasserpflanzen untersucht. Die Aktivitäten der Radionuklide in allen Proben werden an der Eawag mittels Gamma-spektrometrie 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-

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 Schwebstoffproben 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.

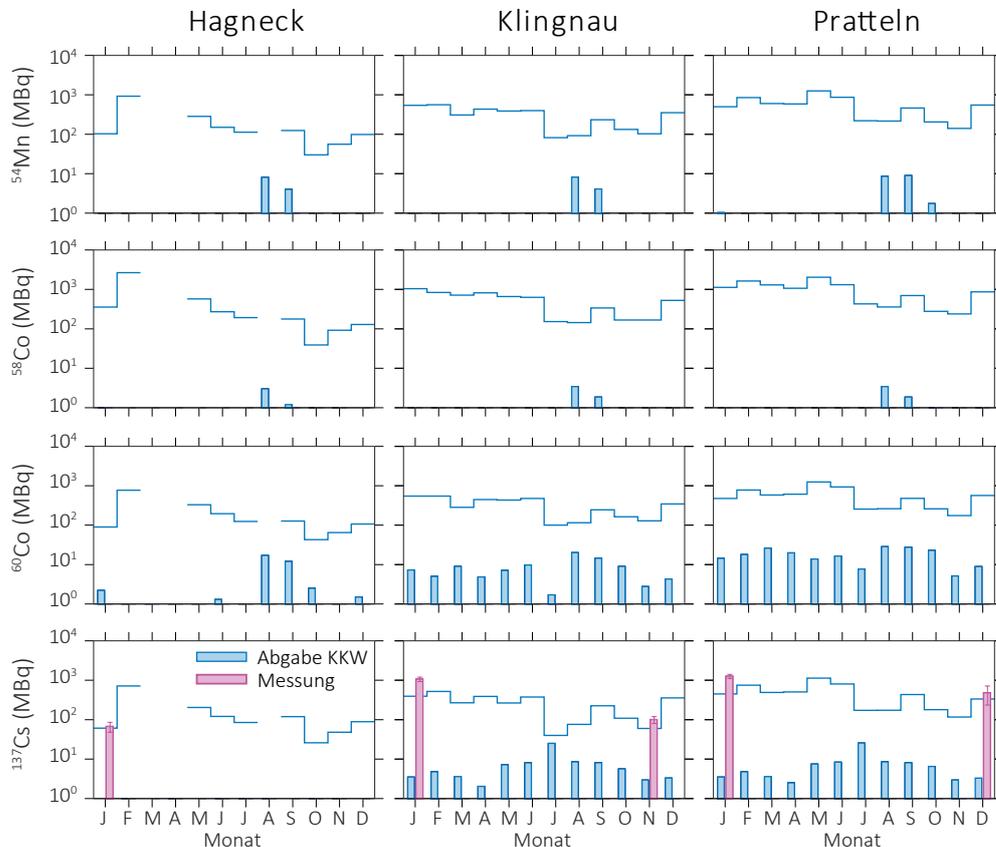
Bei der Rheinüberwachungsstation Weil (D) werden durch das Amt für Umweltschutz und Energie Basel Stadt (AUE BS) täglich Wasserproben gesammelt. Das kantonale Labor Basel-Stadt (KLBS) mischt die Tagesproben zu Wochenmischproben und bestimmt deren ^3H -Aktivität (Bestimmungsgrenze 2 Bq/L). Zudem sammelt das AUE BS bei Weil monatlich Schwebstoff-Stichproben. Dabei wird über Zeiträume von einigen Tagen Rheinwasser aus der Querprofilmischung entnommen und davon die Schwebstoffe abzentrifugiert. Die Schwebstoffe 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.

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.

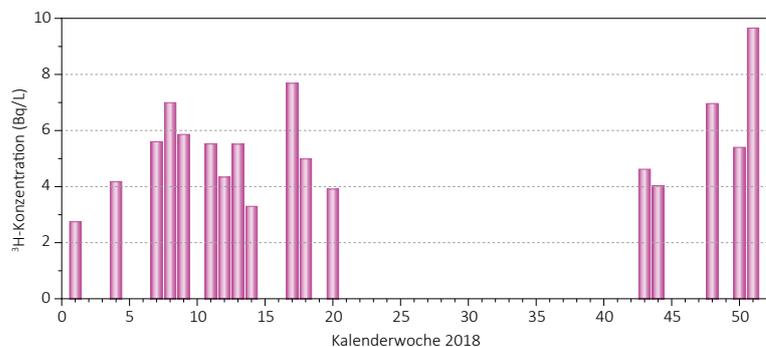


Figur 2:

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 Leibstatt 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:

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

^{137}Cs wurde bei Klingnau und Pratteln nur sporadisch und in Konzentrationen nahe der Nachweisgrenze 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 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 grössten. 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.

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 Jahresgesamtfracht anhand der monatlich überwachten Radionuklidfrachten nicht sinnvoll möglich.

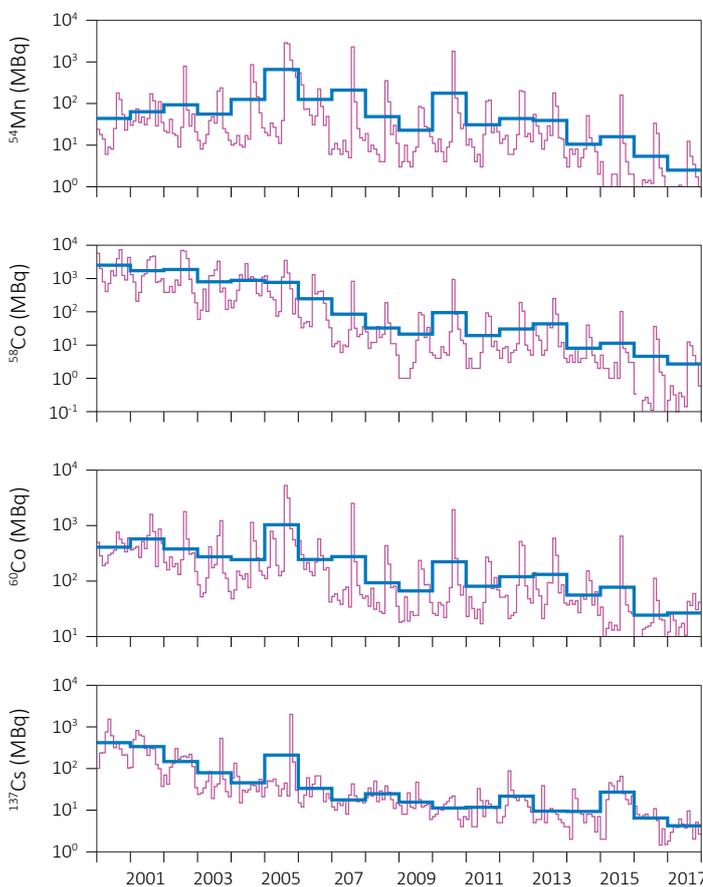
Partikelproben

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.

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



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).

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

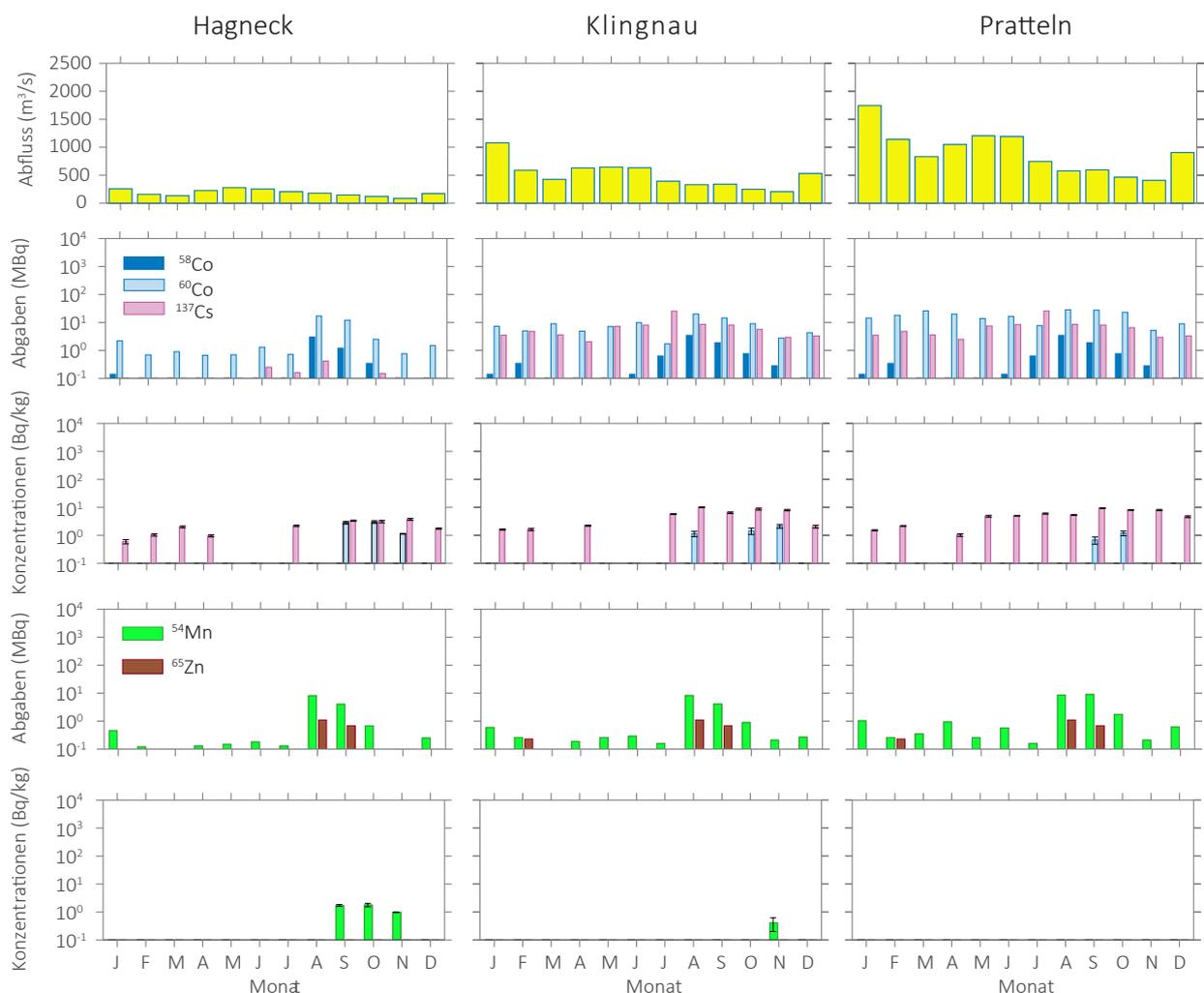
Im Jahr 2018 wurden Fische aus der Aare bei Hagneck (gefangen am 2.11.2018), bei Schönenwerd (28.11.2018), dem Klingnauer Staubecken (14.8.2018) und dem Rhein bei Birsfelden (5.12.2018) analysiert. Bei allen Fischproben wurde natürliches ^{40}K gefunden (645 - 973 Bq/kg). Künstliche Radionuklide wurden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

Wasserpflanzen

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

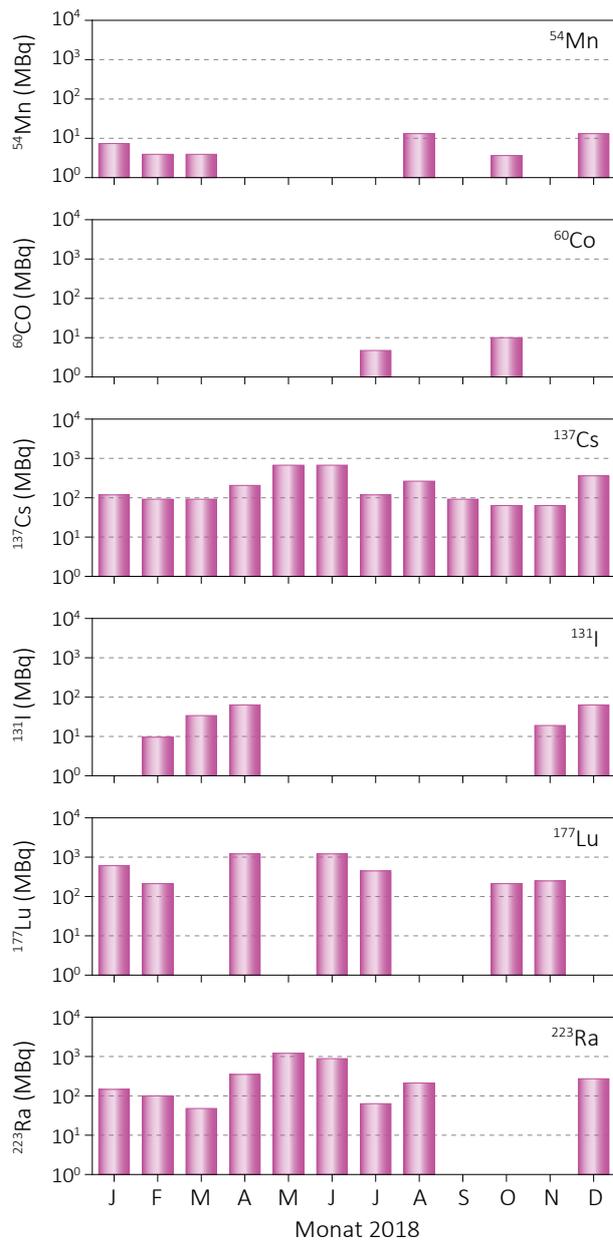
- In der Probe vom Wehr bei Hagneck (17.10.2018) wurden ^{54}Mn (0.8 Bq/kg), ^{60}Co (1.2 Bq/kg) und ^{137}Cs (1.9 Bq/kg) gefunden.
- In der Probe vom Klingnauer Staubecken (17.10.2018) wurden ^{60}Co (3.5 Bq/kg), ^{131}I (1.8 Bq/kg) und ^{137}Cs (4.5 Bq/kg) gefunden.
- In der Probe von Pratteln (17.10.2018)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

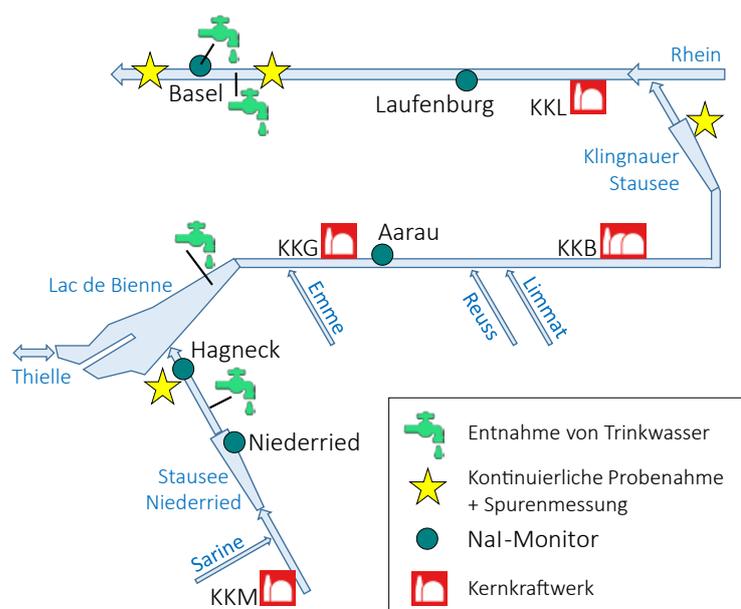
P. Steinmann, M. Müller, S. Estier
Sektion Umweltradioaktivität, URA / BAG, Bern

Zusammenfassung

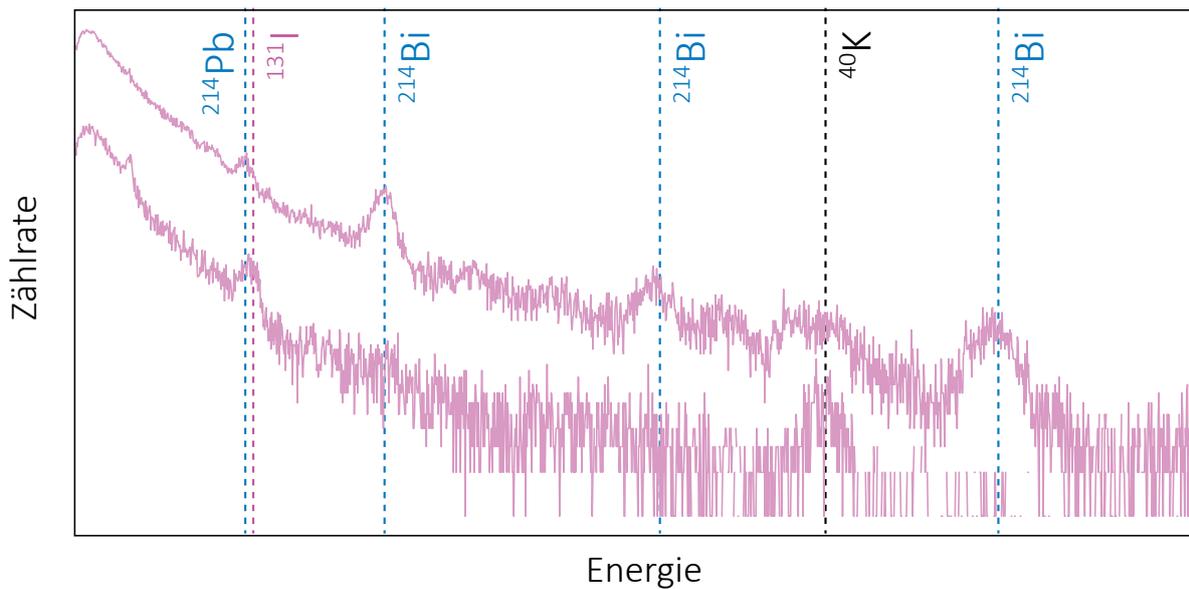
Die fünf automatischen Natrium-Iodid-Sonden des Messnetzes URAnet aqua messen fortlaufend die Konzentration von Gammastrahlern in Aare und Rhein und übermitteln alle 10 Minuten einen Messwert. Künstliche Radionuklide konnten im Berichtsjahr im Flusswasser nicht nachgewiesen werden. Die Verfügbarkeit 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 Flusswassers 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:
NaI-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“ NaI-Detektoren, welche im Wasser eine «Sichtweite» von rund einem Meter haben. Die NaI-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 NaI-Detektoren deutlich schlechter ist als jene der im Labor verwendeten Ge-Kristalle. Zudem ist die Energiekalibrierung bei NaI-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 NaI-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
NaI-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. Düring, 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 (^3H) 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 (^3H) 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.

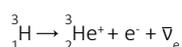
Die täglichen Probenahmen aus der Aare an den Standorten Eymatt und Mühleberg erfolgten mit Hilfe von automatischen Probenehmern vom Typ ISCO 6712, welche in Abständen von je 30 Minuten einige Milliliter Flusswasser in Probeflaschen abfüllen, sodass jede Probeflasche eine Mischprobe eines 24-Stunden-Intervalls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

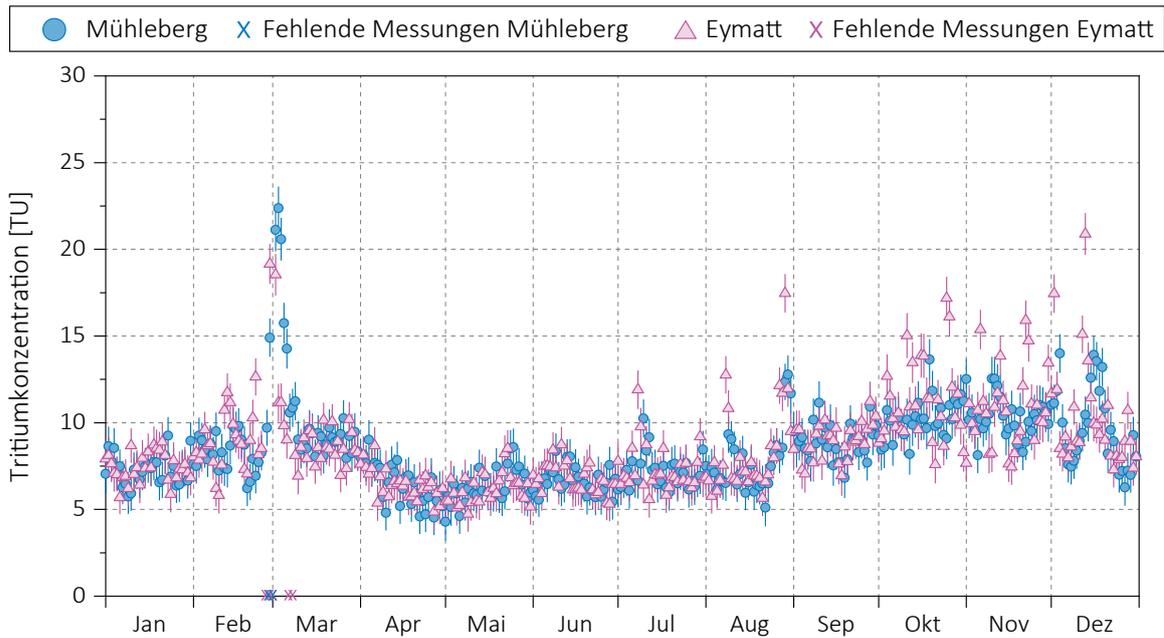
Standorte Kornhausbrücke (Aare Bern) und Heimiswilbrücke (Emme Burgdorf)

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 Entnahmeort der Probe

Art oder Entnahmeort 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)

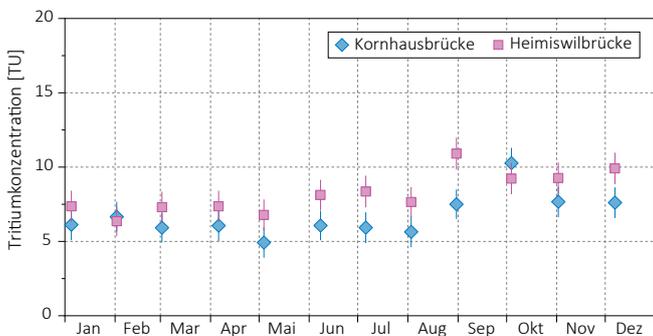
Der Standort Thun (Figur 4) dient als Referenzstation vor einem allfälligen Tritiumeintrag im Raum Bern. Die Werte liegen generell ca. 1-2 TU tiefer als an den Standorten Eymatt und Mühleberg.

Standorte Gimmiz (Grundwasser)

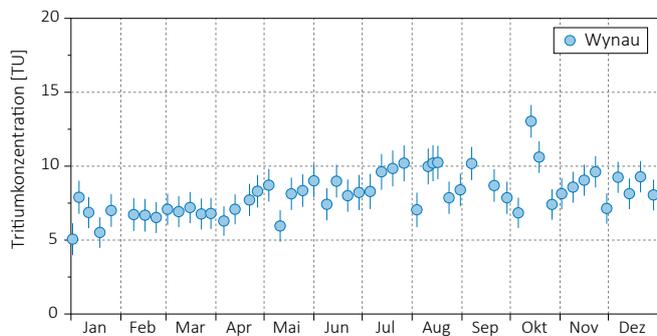
Im Raum Gimmiz wurden 2018 die beiden Wasserfassungen Gimmiz 3 und Römerstrasse (Figur 5) beprobt. Der Tritiumgehalt der Wasserfassung Römerstrasse entspricht dem des Aarewassers. Am Standort Gimmiz 3 wurden erhöhte Werte gemessen. Dies ist auf einen erhöhten Anteil von lokal infiltriertem Niederschlag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

Standort Physikalisches Institut, Stadt Bern (Regenwasser)

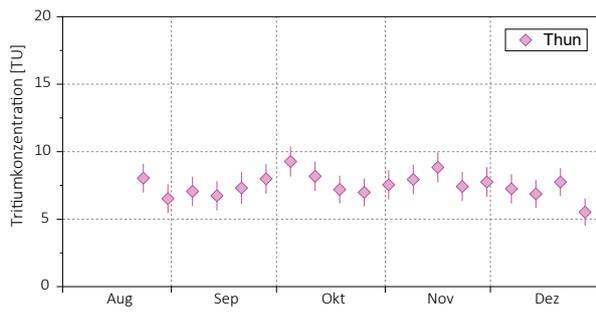
Die Tritiumkonzentration im Niederschlag im Raum Bern ist generell höher als in der Aare und auch höher als in Niederschlägen anderenorts in der Schweiz. Das liegt an lokalen gasförmigen Emissionen (siehe Kapitel 9.3). Die im Jahr 2018 gemessenen Proben liegen im Bereich 10- 90 TU (entsprechend 1- 11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



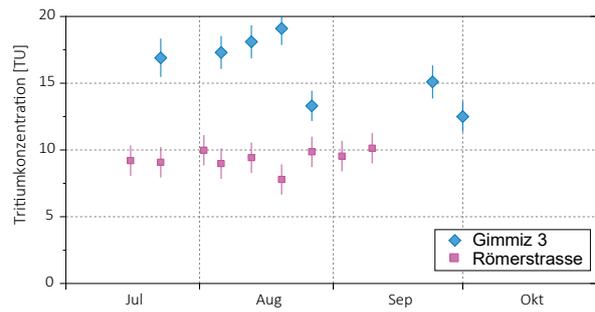
Figur 2:
Tritium-Messwerte an den Standorten Kornhausbrücke und Heimiswilbrücke (monatliche Einzelproben - 2018).



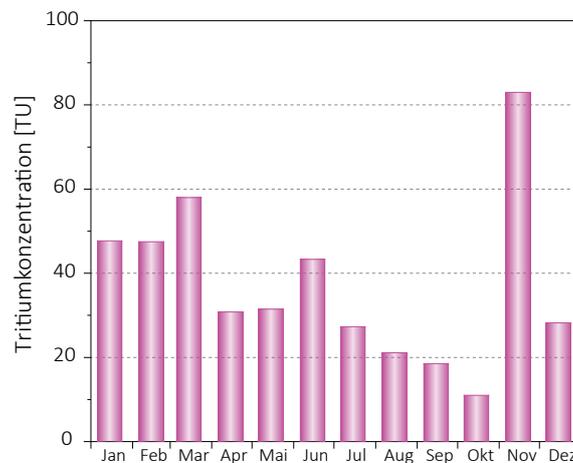
Figur 3:
Tritium-Messwerte am Standort Wynau (wöchentliche Einzelproben - 2018).



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



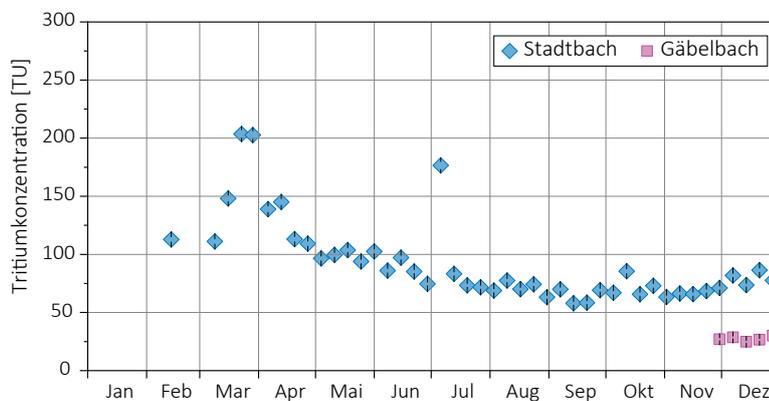
Figur 5:
Tritium-Messwerte der Wasserfassungen Gimmiz 3 und Römerstrasse
(Einzelproben - 2018).



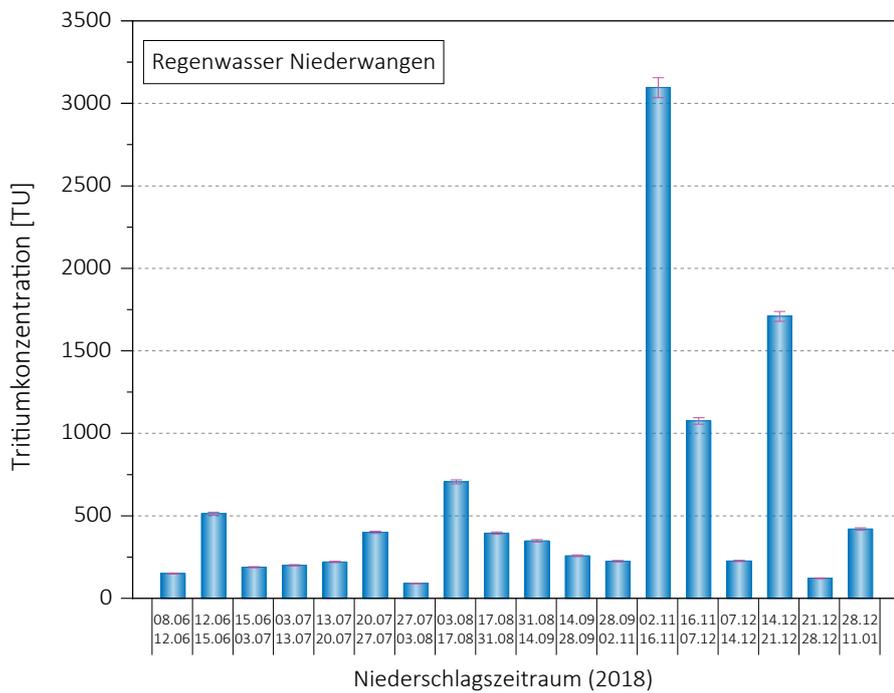
Figur 6:
Tritium-Messwerte von Regenwasser des Physikalischen Instituts
der Universität Bern (Monatsproben - 2018).

Standorte Niederwangen

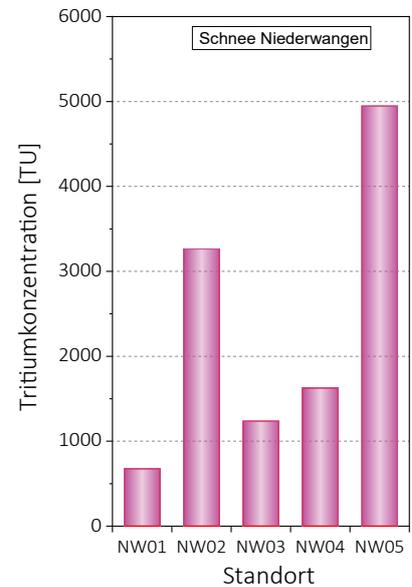
Im Raum Niederwangen wurden im Jahr 2018 insgesamt 50 Messungen am Wasser des Stadtbachs (seit Februar 2018) und des Gäbelbachs (seit Ende November 2018) sowie 23 Messungen am lokalen Nie(seit Juni 2018) durchgeführt; siehe Figuren 7, 8 und 9. Der absolute Höchstwert von annähernd 5'000 TU (590 Bq/L) wurde an einer Schneeprobe gemessen, die am 20.12.2017 auf einem abgeernteten Feld unweit der Firma MB Microtec gesammelt wurde. Ansonsten betragen 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.



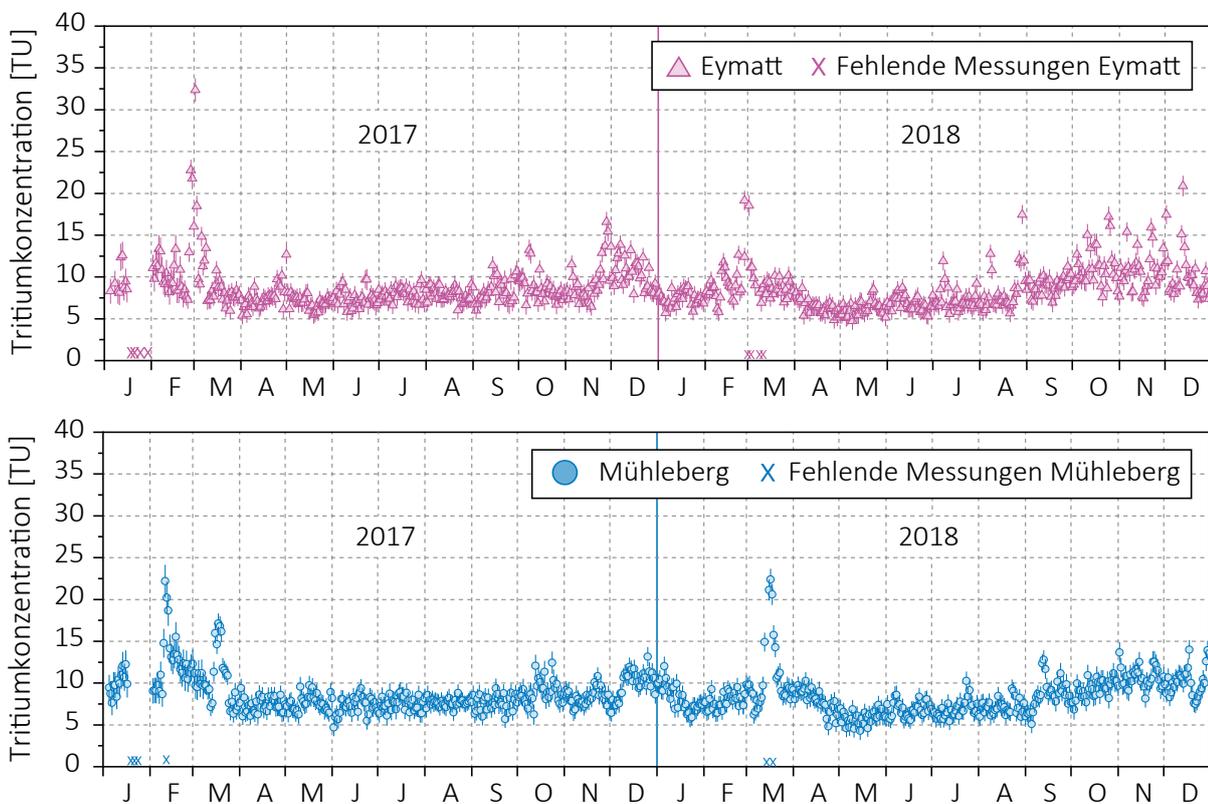
Figur 7:
Tritium-Messwerte am Stadtbach Niederwangen sowie am Gäbelbach Eymatt (wöchentliche Einzelproben - 2018).



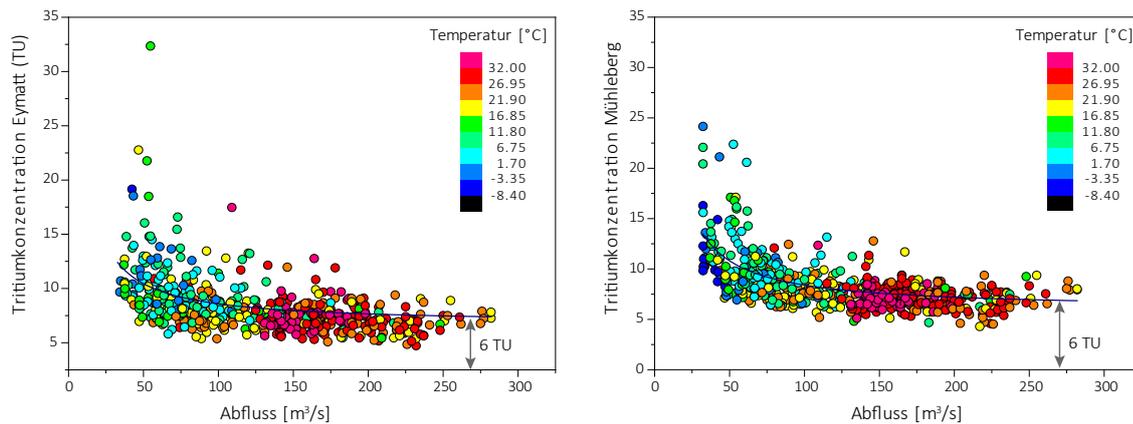
Figur 8: Tritium-Messwerte im Regenwasser Niederwangen (Probenahme jeweils nach ausreichender Niederschlagsmenge).



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 :

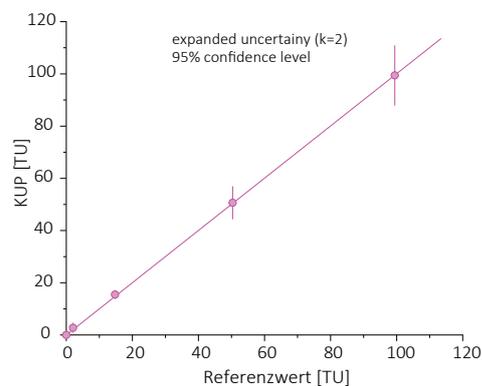
Abhängigkeit der Tritiumkonzentration von der Aareschüttung bei den Stationen Eymatt und Mühleberg (Messzeitraum 2017-2018). Die zum Probenahmezeitpunkt herrschende Lufttemperatur (Meteostation Bern) ist farblich dargestellt. Ebenfalls eingezeichnet sind Regressionslinien für einen kontinuierlichen Jahreseintrag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

Interpretation der bisherigen Aarewassermessungen

Die seit Messbeginn (1. Januar 2017) erhaltenen Tritiumwerte der beiden Aarewasserstationen Eymatt und Mühleberg 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. Zehringer

Laboratoire Cantonal de Bâle, Kannenfeldstr. 2, Basel

M. Burger, S. Rölli, 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 césium). Par exemple, le ^{90}Sr est facilement transféré du sol aux plantes, puis tout au long de la chaîne alimentaire, et pourra finalement se trouver dans les tissus osseux et les dents [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 affectées 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 ^7Be , 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 ± 34			6.7 ± 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 ± 37			7.5 ± 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 ± 1	5.2 ± 0.6	0.54 ± 0.02	0.26 ± 0.05
BE (Gimmelwald)	1	311 ± 16	< 0.5	< 0.4	16 ± 1	3.0 ± 0.4	0.70 ± 0.02	0.24 ± 0.06
BE (Fahrni) ³⁾	1	480 ± 24	< 0.5	< 0.4	9 ± 1	2.1 ± 0.4	0.38 ± 0.02	0.20 ± 0.05
BE (Diesse/Jura)	1	442 ± 30	< 0.2	< 0.3	17 ± 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 ± 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 ± 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 (Güttingen)	1	346 ± 37	< 0.6	< 0.6	22.7 ± 2.4	0.27 ± 0.07	0.185 ± 0.017	0.074 ± 0.008
TG (Güttingen in-situ)	1	303 ± 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 ± 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 ± 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 ± 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 ± 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 ^7Be , ^{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	^7Be	^{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 ± 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 (Diesse/Jura)	2	110 ± 8 ⁴⁾ 228 ± 18 ⁵⁾	1'150 ± 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⁾

n = nombre d'échantillons; ¹⁾ avec 3 nouveaux sites de collecte d'échantillons depuis 2017, programme renforcé pour la surveillance du démantèlement;

²⁾ alpage (Allmendhubel); ³⁾ bord des alpes, 850 m; ⁴⁾ coupe de printemps; ⁵⁾ 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
Ufem 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

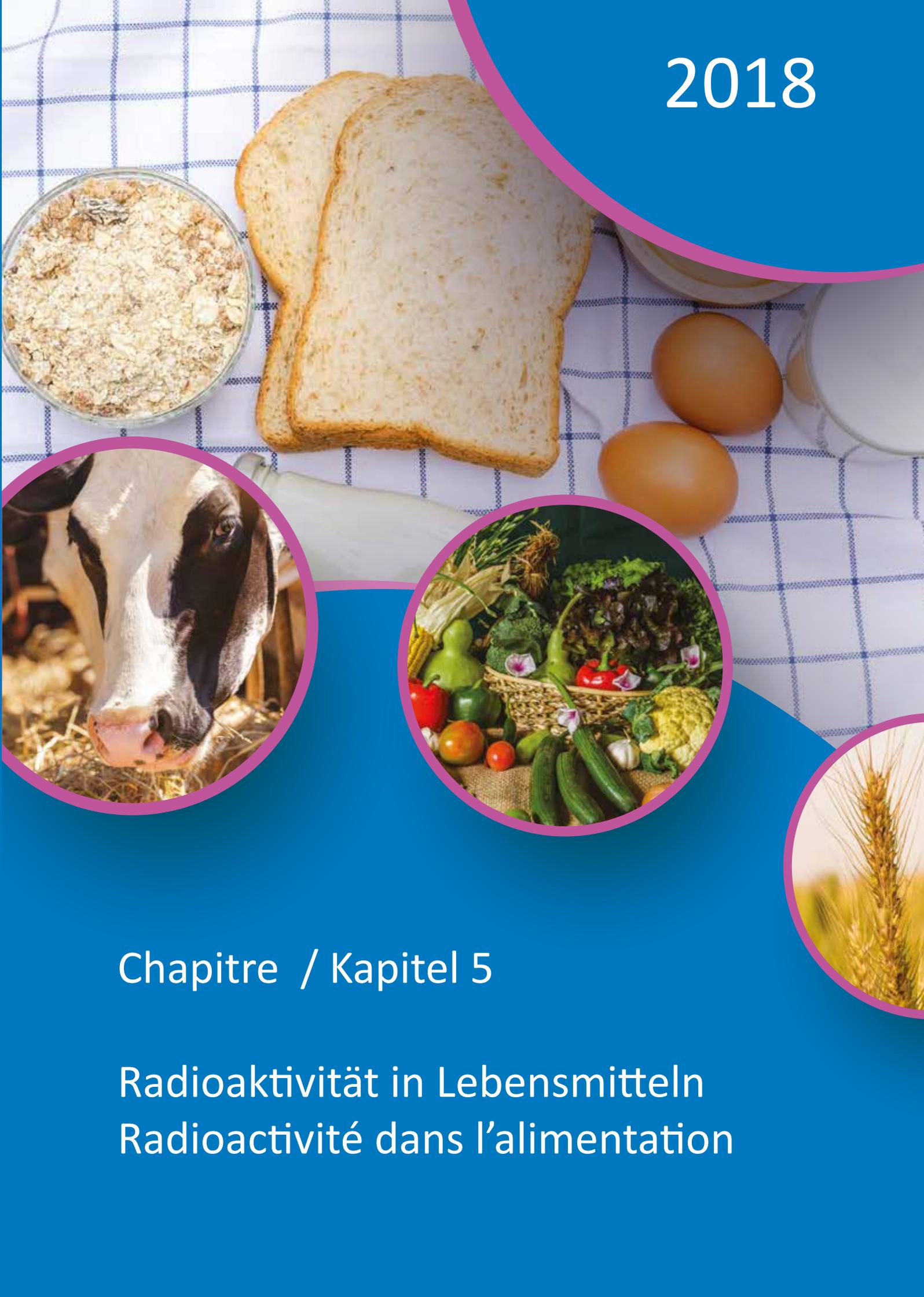
Les mesures de la radioactivité dans les sols et les herbes en Suisse en 2018 présentent des valeurs similaires aux années précédentes. Aucune augmentation d'activité n'a été constatée, ni aux abords des centrales nucléaires, ni dans les sites de référence. Les sites de montagne et certains sites du 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.

2018



Chapitre / Kapitel 5

Radioaktivität in Lebensmitteln
Radioactivité dans l'alimentation

5

Radioaktivität in Lebensmitteln

P. Steinmann, S. Estier

Sektion Umweltradioaktivität, URA / BAG, Bern

mit Daten und Angaben von

M. Zehringer

Kantonales Laboratorium, Basel

C. Gemperle

Amt für Verbraucherschutz, Aarau

S. Nussbaumer

Kantonales Laboratorium, Bern

R. Brogioli, T. Kaufmann

Dienststelle Lebensmittelkontrolle und Verbraucherschutz, Luzern

D. Baumann, S. Hunziker

Amt für Lebensmittelsicherheit und Tiergesundheit, Chur

M. Jermini, M. De Rossa

Laboratorio Cantonale, Bellinzona

S. Reber

Kantonales Labor, Zürich

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

Institut de Radiophysique, Lausanne

G. Ferreri, A. Gurtner, M. Müller

Sektion Umweltradioaktivität, URA/BAG, Bern

Zusammenfassung

Insgesamt wurden 2018 rund 320 Lebensmittelproben aus der Schweiz (ohne Spezialkampagnen für Wildschweine) sowie 100 importierte Lebensmittel auf Radioaktivität untersucht. Die Analysen fanden im Rahmen des BAG Probenahmeplans, von kantonalen Messkampagnen und von Spezialprogrammen statt. In den Hauptnahrungsmitteln waren wie erwartet Spuren von ^{137}Cs , ^{90}Sr und Tritium als anthropogene Radionuklide nachweisbar. Bei 4.4% der untersuchten Wildschweine lag der ^{137}Cs -Gehalt über dem Grenzwert. Bei zwei einheimischen Pilzen war der Grenzwert für ^{137}Cs überschritten. Bei allen anderen Proben – Lebensmittelproben aus der Schweiz sowie importierte Lebensmittel – waren die festgestellten Konzentrationen von künstlichen Radionukliden sehr tief.

Im Text werden die kantonalen Ämter mit «KL» gefolgt vom Kanton abgekürzt.

Messprogramm

Die Radioaktivität von Lebensmitteln wird von den Bundesstellen und den kantonalen Laboratorien gemeinsam überwacht. Die am häufigsten angewandten Untersuchungsmethoden sind Gammaspektrometrie sowie ^{90}Sr - und Tritium-Analytik. Der Probenahmeplan des BAG umfasst Messungen an den Hauptnahrungsmitteln Milch, Getreide und Gemüse. Die untersuchten Proben stammen sowohl aus der Umgebung von Kernanlagen und Tritium-verarbeitender Industrie als auch aus davon entfernten Standorten. Darüber hinaus messen einige Kantone weitere Lebensmittel wie einheimische oder importierte Wildpilze, Früchte, Gewürze etc. Seit dem Reaktorunfall in Fukushima 2011 besteht für Lebensmittelimporte aus Japan ein spezielles Überwachungsprogramm mit Messungen von Stichproben. Informationen zu den Messungen der KL finden sich auch in deren Tätigkeitsberichten (siehe www.kantonschemiker.ch).

Höchstwerte für Lebensmittel

Die Europäische Union hat nach dem Reaktorunfall in Fukushima die Höchstwerte für Cäsium-Isotope für Lebensmittelimporte aus Japan den in Japan gültigen Grenzwerten angepasst (Durchführungsverordnung (EU) 2016/6). Die Schweiz hat diese Regelung übernommen (BLV Verordnung 817.026.2). Für Produkte die aufgrund des Reaktorunfalls in Tschernobyl mit ^{137}Cs kontaminiert sind (einheimische Produkte und Importe) gilt die Tschernobyl-Verordnung. Die wichtigsten Höchstwerte sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Für die vergleichende Einordnung der Radioaktivität in Lebensmitteln bieten sich die abgeleiteten Konzentrationen (AK) aus der Trink-, Bade- und Duschwasserverordnung (TBDV) an; diese in Tabelle 1 fett dargestellten Werte liegen in der Grössenordnung der Toleranzwerte der 2017 ausser Kraft getretenen Fremd- und Inhaltsstoffverordnung (FIV).

Tabelle 1:
Höchstwerte für Radionuklide in Lebensmitteln (Bq/kg)

Parameter	Referenz	LM für Säuglinge u. Kleinkinder	Trinkwasser	Milch & Getränke auf Milchbasis	Flüssige LM (andere)	LM allgemein	LM geringer Bedeutung
Summe der Strontium-Isotope insbesondere ^{90}Sr	VHK HG	(75)	(-) ^a	(125)	(125)	(750)	(7'500)
	TBDV AK	-	4.9	-	-	-	-
Summe der Iod-Isotope insbesondere ^{131}I	VHK HG	(150)	(-) ^a	(500)	(500)	(2'000)	(20'000)
	TBDV AK	-	6.2	-	-	-	-
Summe Plutonium- und Transplutonium-isotope	VHK HG	(1)	(-) ^a	(20)	(20)	(80)	(800)
	TBDV AK	-	0.1	-	-	-	-
Summe der Cäsium-Isotope ^{134}Cs und ^{137}Cs (VHK auch weitere künstliche Isotope)	T.-V. HW	370	600	370	600	600	600
	VHK HG	(400)	(-) ^a	(1'000)	(1'000)	(1'250)	(12'500)
	Japan HG	50	10	50	10 ^b	100	100
	TBDV AK	-	11	-	-	-	-
^3H , ^{222}Rn	TBDV PW	-	100	-	-	-	-
Gesamtdosis ^c	TBDV PW	-	0.1 mSv/a ^c	-	-	-	-
Uran (^{238}U)	TBDV HW	-	0.37	-	-	-	-

VHK: Kontaminatenverordnung, Anhang 10: Höchstgehalte (HG) für Radionuklide nach einem nuklearen Unfall oder einem anderen radiologischen Notfall. Die Verordnung tritt nach einem Ereignis in Kraft.

TBDV: Trink-, Bade- und Duschwasserverordnung mit Parameterwerten (PW) und daraus abgeleitete Konzentrationen (AK). Eine Überschreitung erfordert weitere Abklärungen. Der Höchstwert (HW) für Uran basiert auf der chemischen Toxizität.

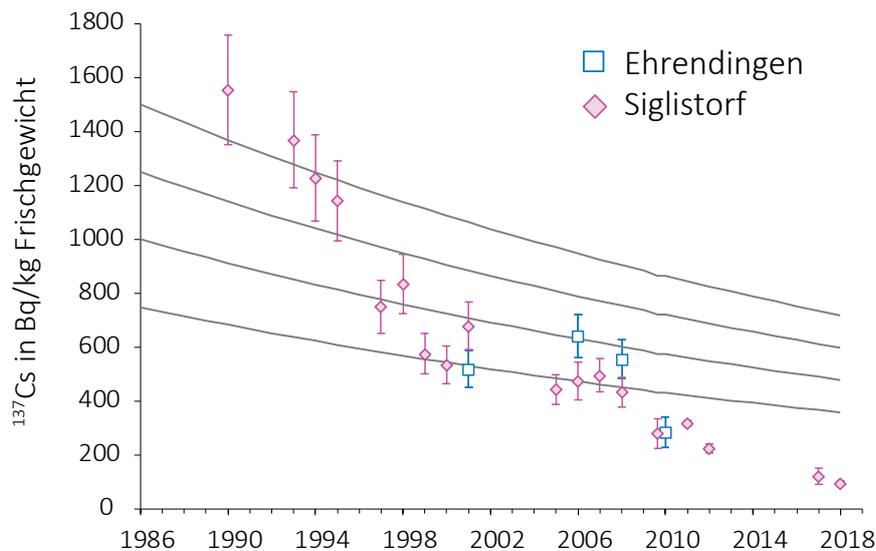
T.-V.: Die Tschernobyl-Verordnung gilt für Lebensmittel, die aufgrund des Reaktorunfalls in Tschernobyl (1986) kontaminiert sind.
HW: Höchstwerte.

Japan: Japanische Grenzwerte, die auch für Importe aus den vom Reaktorunfall in Fukushima betroffenen Gebiete gelten (817.026.2 Verordnung des BLV).

^{a)} Mit der Revision vom 2.10.2018 gelten Höchstgehalte der VHK nicht für Trinkwasser. Da die Werte für Trinkwasser aus der TBDV aber nicht den Status eines Höchstgehaltes haben, ist diese neue Regelung problematisch und wird überarbeitet.

^{b)} Für Tee gilt ein Zubereitungsfaktor von 50, d.h. der Höchstwert für trockene Teeblätter ist 500 Bq/kg.

^{c)} Die TBDV gibt einen Richtwert für die Gesamtdosis durch alle Radionuklide (ohne ^3H , ^{222}Rn und kurzlebige Radonfolgeprodukte)



Figur 1:
¹³⁷Cs in Wildpilzen aus Siglistorf und Ehrendingen (AG). Dargestellt sind die Aktivitäten zur Zeit der Probenahme. Die gestrichelten Linien zeigen die erwartete Abnahme aufgrund des radioaktiven Zerfalls. Bis und mit 2012 sind Ergebnisse von Zigeuner-Pilzen dargestellt, für 2017 und 2018 jeweils von einem Maronenröhrling.

Ergebnisse der Überwachung der Lebensmittel aus der Schweiz

¹³⁷Cs, ¹³¹I und ⁹⁰Sr in Milch

2018 wurden rund 130 Milchproben gammaspektrometrisch analysiert. Für ¹³⁷Cs waren die meisten Werte unterhalb der Nachweisgrenze, die zwischen 0.02 Bq/l und 1 Bq/l lag. Der höchste Wert wurde bei einer Probe aus dem Kanton Tessin festgestellt (11 Bq/l). Spuren von rund 1 Bq/l ¹³⁷Cs konnten in einigen Proben aus den Bündner Südtälern nachgewiesen werden. Diese minim erhöhten Werte sind immer noch eine Folge der hohen ¹³⁷Cs-Depositionen nach dem Unfall von Tschernobyl in der Südschweiz. Alle Werte liegen aber deutlich unterhalb der Höchstgrenze von 600 Bq/l aus der Tschernobyl-Verordnung. ¹³¹I konnte 2018 in keiner Milchprobe nachgewiesen werden (Nachweisgrenze: meist <1 Bq/l). Das KL BS, das IRA Lausanne und das LABOR SPIEZ untersuchten insgesamt 66 Milchproben auf ⁹⁰Sr. Alle gemessenen Werte lagen deutlich unter 1 Bq/l (ehemaliger Toleranzwert der FIV) mit einem Maximum von 0.2 Bq/l und einem Median von 0.03 Bq/l. Die höchsten Werte zeigten Proben aus dem Tessin und den Bündner Südtälern.

¹³⁷Cs und ⁹⁰Sr in Getreide, Obst und Gemüse

In 18 Getreideproben und 33 Gemüse- und Obstproben aus der Schweiz konnten nur in 2 Proben kleinste Spuren ¹³⁷Cs nachgewiesen werden (0.4 Bq/kg Frischgewicht in einer Getreideprobe aus dem Tessin und 0.1 Bq/kg Frischgewicht in einem Salat aus der Nordschweiz). Alle anderen Werte lagen unterhalb der Nachweisgrenzen von typischerweise 0.4 Bq/kg. Je etwa die Hälfte der Proben stammte aus der Umgebung der Kernkraftwerke beziehungsweise aus von davon entfernten Gegenden. Ein Unterschied zwischen diesen beiden Probengruppen konnte nicht festgestellt werden. Diese Konzentrationen sind sehr tief und liegen beispielsweise deutlich unter dem Toleranzwert der ehemaligen FIV (für ¹³⁷Cs: 10 Bq/kg Frischgewicht). Die ⁹⁰Sr Werte der Getreideproben (n=15), sowohl aus der Umgebung von Kernkraftwerken als auch aus entfernten Gebieten, variierten zwischen 0.02 und 0.2 Bq/kg mit einem Medianwert von 0.06 Bq/kg. Diese tiefen Werte sind noch Spuren der Kontamination mit ⁹⁰Sr aus den Atombombentests in den frühen 60er-Jahren und auch sie liegen klar unter dem Toleranzwert der ehemaligen FIV von 1 Bq/kg. Sechs Gemüse- und Obstproben aus der Umgebung des KKL zeigten ⁹⁰Sr-Gehalte zwischen <0.01 und 0.14 Bq/kg Frischgewicht. In 7 Vergleichsproben vom Markt in Lausanne lagen die ⁹⁰Sr-Gehalte mit Werten von <0.01 bis 0.18 Bq/kg Frischgewicht im gleichen Bereich wie jene aus der Umgebung KKL.

¹³⁷Cs in Wildpilzen

Im Berichtsjahr wurden 64 Pilzproben aus den Kantonen Tessin (50 Proben), Zürich (9 Proben) und Aargau gammaspektrometrisch untersucht. Zwei Maronenröhrlinge aus dem Kanton Tessin erreichten mit knapp 817 und 686 Bq/kg Frischgewicht die höchsten Werte für ¹³⁷Cs und lagen über dem Grenzwert der Tschernobyl-Verordnung von 600 Bq/kg Frischgewicht. Insgesamt liegt die Belastung der gemessenen Wildpilze aus der Schweiz mit einem Medianwert von 87 Bq/kg Frischgewicht und einem Mittelwert 146 Bq/kg deutlich unter diesem Grenzwert.

Die Zeitreihe von Analysen von Pilzen vom Standort Siglistorf wurde vom KL AG weitergeführt. Von 5 Proben aus Siglistorf zeigten ein Maronenröhrling und ein Rotfussröhrling etwas höhere ¹³⁷Cs-Werte (98 und 80 Bq/kg Frischgewicht). Wie die Abbildung 1 zeigt setzte sich damit der Rückgang der ¹³⁷Cs Belastung an diesem Standort fort. Die Tatsache, dass der ¹³⁷Cs Gehalt in den Pilzen stärker abnimmt, als vom radioaktiven Zerfall her erwartet (siehe gestrichelte Linien), erklärt sich durch eine Auswaschung eines Teils des Cäsiums in tiefere Bodenschichten.

Tritium (³H) in Obst und Milch

Die in der Umgebung der Firma mb-microtec in Niederwangen gemessenen erhöhten Tritiumwerte im Niederschlag (siehe Kapitel 4.1) werden durch die genehmigten Abgaben an die Umwelt verursacht. Als Folge davon ist Tritium in diesem Gebiet auch in Lebensmitteln nachweisbar. Die gemeinsam vom KL BE und BAG jährlich durchgeführten Routinemessungen von Gemüse- und Obstproben aus der Umgebung der Firma im August 2018 ergaben für das wassergebundene Tritium (HTO) Werte Tritiumkonzentrationen (³H) von 43 - 331 Bq/l im Destillat (11 Proben; Mittelwert: 118 Bq/l). Die ebenfalls leicht erhöhte ³H-Aktivität der Milch aus der Umgebung des genannten Betriebes (16 - 23 Bq/l im Destillat von 3 Milchproben) ist auf die Aufnahme von ³H aus lokalen Futtermitteln zurückzuführen. In 8 Milchproben aus der Umgebung des KKW Mühleberg konnte kein Tritium nachgewiesen werden (<5 Bq/l). Die in den Obst- und Milchproben festgestellten Tritiumkonzentrationen liegen unterhalb des ehemaligen FIV-Toleranzwert für Tritium von 1'000 Bq/l.

¹³⁷Cs in Wildschweinen und anderen Wildtieren

Der Kanton Tessin hat in Zusammenarbeit mit dem BAG 2018 die Triagemessungen an Wildschweinen mit einem empfindlichen Dosisleistungsmessgerät weitergeführt. Für das Jahr 2018 gilt als Referenz der Höchstwert von 600 Bq/g für ¹³⁷Cs aus der Tschernobyl-Verordnung. Dieser wurde bei 25 von 571 untersuchten Tieren überschritten. Bei 13 im Labor nachgemessenen Proben lag das ¹³⁷Cs-Maximum bei 2'748 Bq/kg; 9 Proben überschritten den Höchstwert. Das KL TI hat 18 weitere Wildproben (Hirsch, Reh, Gämse und Wildschwein) analysiert. Dabei zeigten 2 Wildschweinfleischproben leicht erhöhte ¹³⁷Cs Werte von 136 und 163 Bq/kg. Die anderen Proben lagen mit Messwerten von <2 bis 54 Bq/kg (Mittelwert 30 Bq/kg) deutlich unterhalb des Höchstwertes von 600 Bq/kg.

Fische aus Aare und Rhein

In den 5 jährlich untersuchten Fischproben aus Aare und Rhein konnte kein ¹³⁷Cs festgestellt werden (<1 Bq/kg).

Mineralwasser

Das KL-BS hat insgesamt 46 Mineralwässer bei acht Grossverteilern und in fünf kleineren Lebensmittelläden erhoben und auf Radioaktivität untersucht. Der Hauptanteil war Schweizer Mineralwasser (46%) sowie Mineralwasser aus Italien.

Aus Analogiegründen wurden die Mineralwässer wie Trinkwasser anhand der TBDV beurteilt, obwohl diese Mineralwasser nicht einschliesst. Abgesehen von wenigen Ausnahmen erfüllten die in der Schweiz erhältlichen Mineralwässer die Richtwerte gemäss TBDV. Die errechnete mittlere Gesamtdosis aller Mineralwässer betrug 0.06 mSv. Die höchste Gesamtdosis von 0.46 mSv wies ein portugiesisches Mineralwasser aufgrund erhöhter Gehalte an ²²⁶Ra, und ²¹⁰Pb auf.

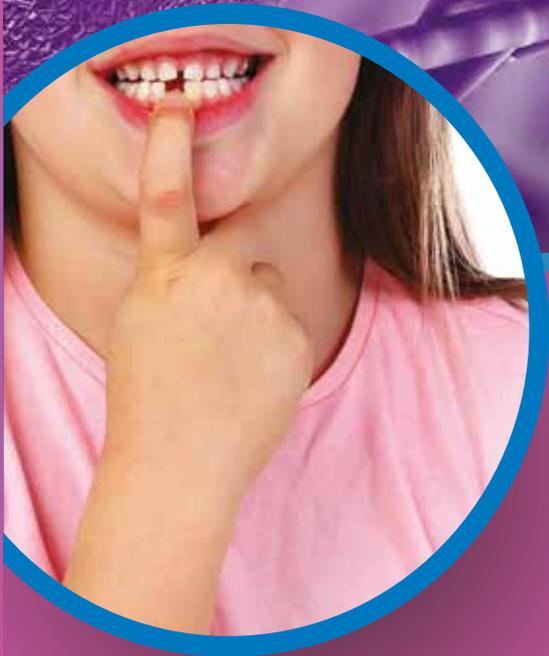
Proben aus Japan und andere importierte Lebensmittel

Die Kontrolle der Radioaktivität in importierten Lebensmitteln findet im Rahmen von gemeinsamen Kampagnen des Bundes und der Kantonalen Laboratorien sowie von eigenen Kampagnen der Kantonalen Laboratorien statt. Im Berichtsjahr wurden 78 importierte Lebensmittel geprüft (ohne die oben erwähnten Mineralwässer). Proben aus Japan, für welche in der Schweiz - gleich wie in der Europäischen Union - seit dem Reaktorunfall in Fukushima Daiichi ein Programm zur Kontrolle beim Import besteht, wurden im Berichtsjahr nur noch wenige gemessen. Das KL ZH untersuchte 10 diverse Proben aus Japan (Getränke, Reis, Soya Sauce u. andere) auf Gammastrahler. Dabei konnten keine Spuren von ^{137}Cs nachgewiesen werden. Zweiundvierzig Proben importierter Pilze - von KL ZH und GR gemessen - enthielten im Durchschnitt 8 Bq ^{137}Cs pro kg Frischmasse. Rund die Hälfte der Proben stammte aus Osteuropa, die andere Hälfte aus dem restlichen Europa, Kanada, Indien und China. Etwas erhöhte Werte (Maximum 51 Bq/kg ^{137}Cs) traten in Proben aus Osteuropa und einer Probe aus Schweden auf. Diese Verteilung widerspiegelt die Kontamination nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl. Das KL ZH hat ausserdem 4 Beeren-Proben (aus Spanien, Chile und der Ukraine) analysiert: Einzig die Probe aus der Ukraine enthielt messbares ^{137}Cs (20 Bq/kg) und das KL TI zwei Wildfleisch-Proben aus Spanien (kein ^{137}Cs nachweisbar). Alle Werte liegen klar unterhalb der Höchstgrenze von 600 Bq/kg ^{137}Cs aus der Tschernobyl-Verordnung. Bei 30 Gewürzproben aus aller Welt ergaben Messungen des KL BS geringe ^{137}Cs Konzentrationen (Maximum: 2.5 Bq/kg).

Bewertung und Interpretation

Der Grenzwert für ^{137}Cs der Tschernobyl-Verordnung (600 Bq/kg) wurde 2018 von 2 Pilzproben (Maximum 817 Bq/kg) und 25 Wildschweinproben (Maximum 2'748 Bq/kg) aus der Schweiz überschritten. Das untersuchte Wildschweinfleisch aus der Jagd ist im Allgemeinen nicht für den Markt bestimmt. Tiere mit ^{137}Cs Gehalten über dem Grenzwert werden konfisziert. Auch bei den Pilzen sind Grenzwertüberschreitungen die Ausnahme: Zwei Proben aus der Schweiz lagen über dem Grenzwert; der ^{137}Cs -Mittelwert aller untersuchten Proben beträgt 146 Bq/kg. Bei allen anderen Lebensmitteln aus der Schweiz und bei importierten Lebensmitteln sind die Konzentrationen von künstlichen Radionukliden sehr tief. Dies zeigt beispielsweise der Vergleich mit den Toleranzwerten der ausser Kraft gesetzten Fremd- und Inhaltsstoffverordnung (FIV), die alle gut eingehalten sind. Bei starkem Konsum der am stärksten mit künstlichen Radionukliden belasteten Lebensmittel - Wild, Wildpilze und Wildbeeren - könnte eine Dosis von einigen wenigen Hundertstel mSv akkumuliert werden. Im Vergleich dazu liegen die jährlichen Dosen durch die über die Nahrung aufgenommenen natürlichen Radionuklide im menschlichen Körper bei durchschnittlich rund 0.35 mSv. Davon stammen rund 0.2 mSv von ^{40}K , der Rest von Uran, Radium und Thorium und deren Folgeprodukten, insbesondere ^{210}Pb und ^{210}Po . Die beiden letztgenannten natürlichen Isotope könnten bei Personen mit überdurchschnittlichem Konsum von speziellen Lebensmitteln wie Wildpilzen oder gewissen Meeresfrüchten zu einer zusätzlichen Dosis in der Grössenordnung von 0.1 mSv/a führen.

2018



Chapitre / Kapitel 6

Radioaktivität im Menschen

Radioactivité dans le corps humain

6.1

Ergebnisse der Ganzkörpermessungen

S. Estier

Sektion Umweltradioaktivität, URA / BAG, Bern

E. G. Yukihiro, F. Assenmacher

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Paul Scherrer Institut, Villigen-PSI

Mme. S. Namy, K. Jeandet

Abteilung Nuklearmedizin des Kantonsspital, Av. Micheli-du-Crest 24, Genf

Zusammenfassung

Ganzkörpermessungen zur Bestimmung des Radioaktivitätsgehaltes im menschlichen Körper werden regelmässig an Mitarbeitern des Paul Scherrer Institutes (PSI) in Villigen sowie an Studenten und Studentinnen aus Genf durchgeführt. Das PSI ermittelte in diesem Jahr 14 ^{137}Cs -Messwerte über die Nachweisgrenze von ca. 60 Bq, die aber zu keinen radiologisch relevanten Folgedosen führten. Die ^{137}Cs -Aktivitäten für die anderen 515 am PSI durchgeführten Messungen lagen unterhalb der Nachweisgrenze.

Ziel der Messungen

Am PSI werden Ganzkörpermessungen zur Überwachung der beruflich strahlenexponierten Personen dieses Institutes eingesetzt. Bei Ereignissen mit Verdacht auf Inkorporation radioaktiver Stoffe können auch Personen der Bevölkerung gemessen werden. Seit 40 Jahren wurden in Genf Gymnasiastinnen und Gymnasiasten gemessen, mit dem Ziel die Radioaktivität bis zum letzten Glied der Nahrungskette überwachen zu können und Angaben zur Verteilung natürlicher und künstlicher Radionuklide in der Bevölkerung zu erhalten. Leider konnten diese Messungen 2013 nicht durchgeführt werden, da es immer schwieriger wurde die Schüler für diesen freiwilligen Beitrag zu gewinnen. Ab 2014 wurde deshalb das Messprogramm mit Studentinnen und Studenten der höheren Fachschule für Gesundheit in Genf weitergeführt, die Messungen werden aber nicht mehr jedes Jahr, sondern alle 2 bis 3 Jahre durchgeführt.

Messmethode

Ganzkörpermessungen am Kantonsspital Genf werden mit grossvolumigen NaI-Kristallen in speziell abgeschirmten Messkammern mit Blei- und Eisenabschirmung durchgeführt. Die Messung einer Person dauert in der Regel etwa zehn bis 30 Minuten. Die Kalibrierung erfolgt mittels eines Personen-Phantoms bekannter Aktivität.

Für die Ganzkörpermessungen wird am PSI ein Reinstgermanium-Detektor in einer speziell abgeschirmten Messkammer (mit Blei- und Eisenabschirmung) eingesetzt. Die Messung einer Person dauert in der Regel etwa 7 Minuten für die routinemässigen Überwachungsmessungen am PSI. Die Kalibrierung erfolgt mittels eines personenähnlichen Phantoms bekannter Aktivität.

Ergebnisse und Interpretation der ^{137}Cs -Messungen

Im Rahmen der Inkorporationsüberwachung am PSI in Villigen werden bei ausgewählten beruflich strahlenexponierten Personen in der Regel jährlich zweimal eine Ganzkörpermessung durchgeführt. 2018 wurden 263 Personen zu total 529 Ganzkörpermessungen aufgeboten. Bei 14 Personen wurden ^{137}Cs -Messwerte über der Nachweisgrenze von ca. 60 Bq festgestellt, die aber zu keinen radiologisch relevanten Folgedosen führten. Vergleichbare Messwerte lassen sich bei den betroffenen Personen über die letzten Jahre nachverfolgen. Die maximale ^{137}Cs -Ganzkörperaktivität betrug ca. 633 Bq, die gemäss der Standardinterpretation in der Verordnung über die Personendosimetrie eine vernachlässigbare, effektive Folgedosis von 18 Mikrosievert ergibt. Dieser Wert ist zehnmal kleiner als die typische, natürliche Folgedosis durch ^{40}K im Körper.

Es wurde im 2018 keine Ganzkörpermessungen an Studenten und Studentinnen aus Genf durchgeführt.

^{40}K -Kalium-Gehalt des Körpers

Da ^{40}K ein Gamma-Strahler ist, kann es bei der Ganzkörpermessung ohne zusätzlichen Aufwand mitgemessen werden.

Das in der Natur vorkommende Kalium besteht zu 11.67% aus dem radioaktiven Isotop ^{40}K . Kalium befindet sich vor allem im Muskelgewebe und damit ist der Kalium-Gehalt proportional zur Muskelmasse. Da bei Männern der Anteil Muskelgewebe am Gesamtkörpergewicht grösser ist als bei Frauen, haben die Männer einen höheren Kalium-Gehalt als Frauen. Der durchschnittliche ^{40}K -Gehalt beträgt (gemäss älteren Publikationen) bei 20- 30-jährigen Männern ca. 4'500 Bq und bei gleichaltrigen Frauen ca. 3'000 Bq und nimmt danach bis zum Alter von 70 Jahre um etwa 10 bis 20 Prozent ab.

Aus den langjährigen Ganzkörpermessungen an Gymnasiasten (16- 21-jährige) und Studenten 21- 28-jährige aus Genf (von 1974 bis 2015: 720 Messwerte an jungen Frauen und 722 Messwerte an jungen Männern) kann die Häufigkeitsverteilung des Kalium-Gehaltes bestimmt werden. Im Durchschnitt ergibt sich bei den untersuchten Gymnasiasten/Studenten bei den jungen Frauen ein Mittel von 1.83 g Kalium (20- 80%-Perzentile: 1.64 - 2.04 g K) pro kg Körpergewicht (entsprechend 3'300 Bq) und bei den jungen Männern 2.29 g K (20 - 80%-Perzentile: 2.10- 2.50 g K) pro kg Körpergewicht (entsprechend 4'900 Bq). Man stellt eine Erhöhung der durchschnittlichen ^{40}K -Aktivität im Körper von ca. 10% über den letzten zehn Jahren fest. Diese ist direkt auf die Zunahme des durchschnittlichen Körpergewichts der Gymnasiasten zurückzuführen.

Die tägliche Kaliumzufuhr beträgt etwa 3.3 g d.h. rund 100 Bq ^{40}K . Die durchschnittliche Jahresdosis durch das natürliche ^{40}K beträgt bei den untersuchten Gymnasiasten und Studenten etwa 0.19 mSv (0.17 bei den Frauen und 0.21 bei den Männern). Gemittelt über alle Altersgruppen liegt der Wert infolge Abnahme des K-Gehaltes mit dem Alter etwas tiefer, gemäss UNSCEAR: 0.17 mSv/Jahr. Da bei diesen Messreihen auch Grösse und Gewicht der untersuchten Personen erfasst wurden, konnte aus den Daten abgeleitet werden, dass der Kalium-Gehalt mit zunehmendem Body-Mass-Index (BMI = Gewicht/Grösse² [kg/m²]) leicht abnimmt. Das hängt damit zusammen, dass der BMI proportional zum Anteil Fettgewebe ist und damit umgekehrt proportional zur Muskelmasse und somit zum Kalium-Gehalt.

6.2

Mesure de ^{90}Sr , ^{210}Po et ^{226}Ra dans les vertèbres et de ^{90}Sr dans les dents de lait

P. Froidevaux, P.-A. Pittet, F. Barraud, L. Pfefferlé, F. Bochud
Institut de radiophysique, CHUV, Grand Pré 1, Lausanne

Résumé

La mesure de la radioactivité dans les vertèbres humaines et les dents de lait permet l'évaluation de l'atteinte à l'homme ainsi qu'une évaluation de la contamination de la chaîne alimentaire. Les activités en ^{90}Sr dans les vertèbres et les dents de lait mesurées dans ce travail sont très basses, en constante diminution par rapport aux années précédentes et ne dépassent pas 20 mBq/g Ca dans ces deux types d'échantillons. Les activités en ^{210}Po sont de l'ordre de 20 mBq/g Ca, soit des valeurs très proches de la valeur moyenne des mesures effectuées à l'IRA depuis 2006 sur des prélèvements de vertèbres dans les instituts de pathologie de Lausanne et Locarno (29 mBq/g Ca). Les activités en ^{226}Ra sont situées entre 0.99 et 2.3 mBq/g Ca et ne diffèrent pas significativement des valeurs obtenues les années précédentes (moyenne à 1.81 mBq/g Ca). Par ailleurs, nous avons observé sur un échantillon de vertèbre la présence d' ^{88}Y . Ce radioélément est présent comme impureté, suite à un traitement de médecine nucléaire par ^{90}Y , pour le traitement de carcinomes hépatiques ou de l'arthrose inflammatoire (radiosynoviorthèse).

Introduction

L'IRA sur mandat de l'OFSP mesure depuis les années soixante le ^{90}Sr dans les vertèbres humaines prélevées lors d'autopsies. Le ^{90}Sr étant un indicateur de la fission nucléaire, il est important de le mesurer dans différents compartiments de l'environnement, de la chaîne alimentaire et de l'homme. Ces mesures permettent l'évaluation de la contamination de la chaîne alimentaire par ce radioélément car, de par sa nature chimique similaire au calcium, il se transfère rapidement du sol à l'herbe, de l'herbe au lait et ainsi jusqu'à l'homme, dans lequel il cible la masse osseuse. Depuis plusieurs années déjà, nous mesurons également le ^{210}Po , un produit issu de la chaîne de désintégration de ^{238}U . La mesure de ^{210}Po dans les vertèbres permet l'évaluation de l'incorporation de ^{210}Pb , dont le métabolisme suit celui du calcium [1]. Le ^{210}Pb va être incorporé dans l'organisme humain par inhalation des produits de filiation du gaz ^{222}Rn , soit directement dans l'air respiré, soit particulièrement dans l'inhalation de fumées de tabac. Une proportion importante de ^{210}Pb est également incorporée par ingestion de nourriture, spécialement les fruits de mer. La mesure de ^{226}Ra dans les os humains est réalisée dans le but de déterminer une valeur de référence pour la population suisse. Ce travail est effectué notamment en regard des contaminations potentielles liées aux héritages radiologiques de l'industrie horlogère. Comme le ^{90}Sr , ^{226}Ra , qui est un cation alcalino-terreux similaire au calcium, va également cibler spécifiquement la masse osseuse. Le but de ces mesures est alors d'obtenir une base de données de valeurs de ^{226}Ra dans les os humains pour la population suisse non exposée à du radium d'origine industrielle.

Dans ce rapport, nous reportons également la mesure en ^{90}Sr des dents de lait de trois personnes dont toutes les dents de lait ont été conservées indépendamment par leurs parents, ce qui permet la mesure de cas individuels, au moins dix dents étant nécessaires à l'analyse. Ces échantillons ont été fournis par des collaborateurs de l'IRA.

Méthodes

Les méthodes d'analyses du ^{90}Sr et du ^{210}Po peuvent être trouvées dans les références [2] et [3]. La méthode d'analyse de ^{226}Ra et ^{223}Ra est décrite en détail dans la référence [4].

Résultats et discussion

Les analyses de ^{90}Sr dans les vertèbres humaines n'ont pas montré de valeurs anormales (Tableau 1), et l'activité en ^{90}Sr continue de décroître avec une période biologique d'environ 13 ans, depuis la fin des essais d'armes atomiques dans l'atmosphère des années soixante [5; 6]. Toutefois, un cas a attiré notre attention, car la source d' ^{90}Y , mesurée lors de l'analyse de ^{90}Sr , montrait la présence d'une impureté. Notre méthode d'analyse étant très spécifique à l'ion Y^{3+} , nous avons alors cherché quelle pourrait être cette impureté, par la mesure d'isotopes émetteurs gamma. Le résultat de cette recherche a montré qu'il s'agissait d' ^{88}Y ($T_{1/2} = 106.6$ jours), un isotope présent comme impureté dans les sources de haute activité d' ^{90}Y ($T_{1/2} = 64$ h) utilisées en médecine nucléaire pour le traitement des carcinomes hépatiques ou de l'arthrose inflammatoire (radiosynoviorthèse). L'activité mesurée par spectrométrie gamma à puits était d'environ 670 mBq/g Ca. La médecine nucléaire développe de plus en plus de radioéléments, notamment les radiolanthanides, pour l'imagerie ou le traitement de tumeurs. Il nous faudra donc être attentif à l'avenir à la présence de radioéléments artificiels d'origine médicale dans l'analyse de cas provenant d'instituts de pathologie. A part ce présent cas, nous avons par exemple mis en évidence la présence de ^{223}Ra dans la partie saine des os d'un patient traité par le Xofigo (^{223}Ra , métastases osseuses) plusieurs semaines après l'administration [4].

Depuis 2006, nous analysons régulièrement l'activité en ^{210}Po des vertèbres humaines. Notre base de données contient actuellement 75 cas, pour une moyenne à 29.3 mBq/g Ca. La valeur minimale est à 5.95 mBq/g Ca et la valeur maximale à 101.6 mBq/g Ca.

Tableau 1:
 ^{90}Sr (mBq/g Ca) et ^{210}Po (mBq/g Ca) dans les vertèbres de personnes décédées en Suisse en 2018. Incertitudes pour $u(95\%)$.

Année décès	Lieu décès	^{90}Sr (mBq/g Ca)	^{210}Po (mBq/g Ca)	
2018	Fribourg	6.3 ± 1.3		
	Lausanne		11.4 ± 0.8	
	Fribourg	4.4 ± 1.2		
	Lausanne	15.5 ± 4.2 ^{a)} 14.7 ± 2.9 ^{a)}	31.1 ± 1.8	
	Fribourg	7.4 ± 1.3		
	Lausanne	4.5 ± 1.0	13.2 ± 0.9	
	Tessin		19.6 ± 2.4	61.2 ± 3.2
			10.1 ± 1.8	
			16.7 ± 2.6	12.8 ± 0.9
			7.3 ± 2.0	
		9.4 ± 1.8	12.5 ± 0.9	
		11.4 ± 2.1		
Moyenne ± écart-type		9.7 ± 4.7 ^{b)}		

^{a)} Nous avons observé une impureté sur la source de ^{90}Y . Une mesure par spectrométrie gamma a montré la présence de ^{88}Y (voir texte pour explication).

^{b)} Sans les valeurs de l'échantillon contenant ^{88}Y .

Tableau 2:
 ^{90}Sr (mBq/g Ca) dans les dents de lait d'enfants nés en Suisse entre 1992 et 2005 et mesurées en 2018. Les dents de lait sont groupées pour former un échantillon d'au moins 5g de cendre après calcination (environ 10 dents). Incertitudes pour $u(95\%)$.

Année	Naissance		^{90}Sr (mBq/g Ca)
	Lieu	Année(s) d'extraction	
1998	Sion	durant l'enfance ^{a)}	28.8 ± 8.8 ^{b)}
2002	Zürich + Tessin ^{c)}	2016 - 2018	13.3 ± 2.8
1998	Lausanne	durant l'enfance ^{a,d)}	15.1 ± 7.9
1992	Lausanne	durant l'enfance ^{a,d)}	16.7 ± 5.8
2005	Zürich	2016- 2018	8.4 ± 1.8
2005	Lausanne	2016- 2018	12.0 ± 2.3

^{a)} Dents provenant d'un seul enfant, extraites durant toute l'enfance et conservées pour être analysées.

^{b)} La valeur de référence de notre base de données pour l'année 1998 est de 32 mBq/g Ca.

^{c)} Pour l'année 2002, il ne restait suffisamment de dents qu'en les groupant pour faire une analyse commune aux deux régions de prélèvement.

^{d)} Enfants de la même famille

Tableau 3:
 ^{226}Ra (mBq/g Ca) dans les vertèbres de personnes décédées en Suisse en 2018 et mesurées la même année. Incertitudes pour $u(95\%)$.

Année décès	Lieu décès	Type	^{226}Ra (mBq/g Ca)
2018	Fribourg	vertèbre	1.30 ± 0.18
	Lausanne	vertèbre	2.31 ± 0.28
	Tessin	vertèbre	0.99 ± 0.42
	Tessin	vertèbre	1.84 ± 0.38

En 2018, les mesures étaient proches de 13 mBq/g Ca, soit des valeurs dans l'intervalle bas de notre base de données, avec toutefois une valeur à 31.1 mBq/g Ca et une autre à 61.2 mBq/g Ca. Ces différences montrent que l'incorporation de $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ est variable selon les personnes et dépend de plusieurs facteurs, dont les habitudes en matière de tabagisme et d'alimentation, ainsi que de l'exposition au ^{222}Rn .

Le programme de mesure de ^{90}Sr dans les dents de lait touche probablement à sa fin, car il nous est de plus en plus difficile d'obtenir des tailles d'échantillons suffisantes pour des analyses au niveau d'activité actuelle (< 20 mBq/g Ca). Il faut en effet au minimum 10 dents de lait (5 g) d'enfants nés la même année au même endroit (Vaud, Zürich ou Tessin) pour être en mesure de quantifier l'activité en ^{90}Sr . Pour l'année de naissance 2002, pour laquelle il n'est plus envisageable d'obtenir encore des dents de lait (enfant > 16 ans), nous avons groupé les dents en provenance de Zürich et du Tessin pour obtenir un échantillon de taille suffisante. Comme pour les vertèbres, on observe une diminution régulière de l'activité depuis la fin des essais nucléaires en atmosphère, également avec une période biologique d'environ 10 ans [7].

L'OFSP a initié un programme d'assainissement des bâtiments contenant du ^{226}Ra , issu de l'utilisation de peinture au ^{226}Ra par l'industrie horlogère. Il est alors apparu important de pouvoir déterminer une moyenne d'activité en ^{226}Ra dans les os humains de la population suisse non exposée à ce radioélément. Nous avons saisi l'opportunité du programme de mesure de radioactivité dans les vertèbres humaines pour y inclure la mesure de ^{226}Ra . Notre base de données contient actuellement 29 cas, pour une moyenne à 1.81 mBq/g Ca. La valeur minimale est à 0.73 mBq/g Ca et la valeur maximale à 4.58 mBq/g Ca. Nous n'avons pas observé de différence entre l'activité en ^{226}Ra contenue dans les vertèbres (os trabéculaire) et les fémurs ou les os de la mâchoire (os cortical), ce qui montre que le ^{226}Ra est introduit dans l'organisme comme élément alcalino-terreux similaire au calcium, probablement principalement par la nourriture (boisson y compris). En 2018, les activités mesurées (Tableau 3) étaient parfaitement incluses dans l'intervalle des mesures réalisées jusque-là et n'ont pas montré d'exposition au ^{226}Ra autre que par une source naturelle.

Conclusions

Les mesures de radioactivité dans les vertèbres humaines en 2018 n'ont pas montré d'exposition à des radioéléments artificiels, à l'exception du ^{90}Sr issus des essais nucléaires des années soixante, en constante diminution, ainsi que l'exposition à des radioéléments utilisés en médecine nucléaire (^{88}Y). Les activités en ^{226}Ra et ^{210}Po reflètent une exposition naturelle à ces radioéléments, principalement par ingestion et, pour ^{210}Po , également par inhalation.

La constitution de bases de données statistiquement représentatives de l'exposition naturelle de la population suisse à ces radioéléments doit permettre la prise de position rapide lors de situations exceptionnelles.

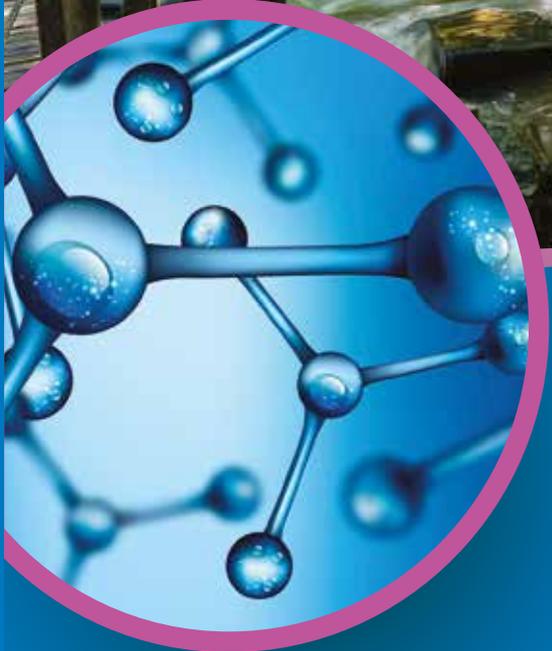
Remerciements

Nous remercions les médecins-dentistes et certains collaborateurs de l'IRA ayant participé à la collecte des dents de lait et les instituts de pathologie de Locarno et de Lausanne pour la collecte des vertèbres.

Références

- [1] Leggett, RW. An age-specific kinetic model for lead metabolism in human. *Env. Health Perspect.* 1993, 101, 598-616.
- [2] Schrag et al. Dating human skeletal remains using a radiometric method: Biogenic versus diagenetic ^{90}Sr and ^{210}Pb in vertebrae. *Forensic Sci.Int.* 2012, 220, 271–278.
- [3] Froidevaux et al. Retention half times in the skeleton of plutonium and ^{90}Sr from above-ground nuclear tests: A retrospective study of the Swiss population. *Chemosphere*, 2010, 80, 519-524.
- [4] Straub et al. Determination of ^{226}Ra at low levels in environmental, urine, and human bone samples and ^{223}Ra in bone biopsy using alpha-spectrometry and metrological traceability to $^{229}\text{Th}/^{225}\text{Ra}$ or ^{226}Ra . *Anal. Chim. Acta*, 2018, 1031, 178-184
- [5] Froidevaux and Haldimann. Plutonium from Above-Ground Nuclear Tests in Milk Teeth: Investigation of Placental Transfer in Children Born between 1951 and 1995 in Switzerland. *Env. Health Perspect.* 2008, 116, 1731-1734.
- [6] Froidevaux et al. Long-Term Effects of Exposure to Low-Levels of Radioactivity: a Retrospective Study of ^{239}Pu and ^{90}Sr from Nuclear Bomb Tests on the Swiss Population. In “Nuclear Power- Operation, Safety and Environment», book edited by Pavel Tsvetkov, ISBN 978-953-307-507-5, Published: September 6, 2011 under CC BY-NC-SA 3.0. Chapter 14, Open Acces.
- [7] Froidevaux et al. ^{90}Sr in deciduous teeth from 1950 to 2002: The Swiss experience. *Sci. Total. Environ.* 2006, 367, 596-605.

2018



Chapitre / Kapitel 7

Messung von Spezialnukliden
Mesures de nucléides spéciaux

7.1

Kohlenstoff-14, Krypton-85, Argon-37

Th. Stocker, P. Düring, R. Purtschert und T. Wagner

Abt. Klima- und Umweltp Physik, Physikalisches Institut Universität Bern, Sidlerstrasse 5, Bern

S. Szidat

Departement für Chemie und Biochemie, Universität Bern, Freiestrasse 3, Bern

C. Schlosser, A. Bollhöfer, M. Konrad und S. Schmid

Bundesamt für Strahlenschutz, Rosastrasse 9, Freiburg im Breisgau

M. Heule

Paul Scherrer Institut, Villigen PSI

M. Saurer, A. Gessler

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)

Zusammenfassung

Die Messungen des Gehalts an Kohlenstoff-14 (^{14}C) im Laub von Bäumen aus der Umgebung von Kernkraftwerken (Beznau, Gösgen, Leibstadt und Mühleberg), Kehrlichtverbrennungsanlagen (KVA Bern), des Paul Scherrer Instituts und an verschiedenen Standorten der Stadt Basel wurden 2018 weitergeführt. Als Referenzwert diente hierbei der ^{14}C -Gehalt von Laubbäumen an drei Standorten ohne lokale ^{14}C -Quellen und -Verdünnungen, an denen im Jahresverlauf je drei Messungen (im Mai, Juni und Oktober 2018) durchgeführt wurden. Aus diesen neun Messungen resultierte für 2018 der $\Delta^{14}\text{C}$ -Referenzwert $10 \pm 3\%$.

Die 96 auf ^{14}C untersuchten Standorte unterscheiden sich um -26% (W-72, Basel Brenntag) bis maximal +94% (Kernkraftwerk Leibstadt, Fullerfeld) von diesem Referenzwert. In der Stadt Basel lagen die Höchstwerte bei 4% (E-34, Solitude) bzw. 12% (W-23, Gasstrasse). Dies entspricht einer zusätzlichen Strahlendosis für die Bevölkerung von nicht mehr als $1 \mu\text{Sv}$ ($1 \mu\text{Sv} = 10^{-6}$ Sievert) in einem Jahr. Im Vergleich zur natürlichen Strahlenbelastung von ca. $4'000 \mu\text{Sv/a}$ fallen die gemessenen geringfügigen Erhöhungen im Berichtsjahr nicht ins Gewicht.

Die beiden Edelgas-Radionuklide Krypton-85 (^{85}Kr) und Argon-37 (^{37}Ar) werden in der Atmosphäre auf natürliche Weise nur in sehr geringen Mengen produziert. Zurzeit verharrt die Aktivitätskonzentration von ^{85}Kr auf konstantem Niveau. Die aktuellen Konzentrationen von ^{37}Ar sind praktisch nicht von künstlichen Quellen beeinflusst. Beide Isotope verursachen keine signifikante Erhöhung der jährlichen Strahlendosis.

Kohlenstoff-14 (^{14}C)

Die ^{14}C -Messungen wurden in der Regel an einem der beiden Radiocarbonlabore der Universität Bern durchgeführt: im ^{14}C -Labor der Klima- und Umweltp Physik (KUP) des Physikalisches Instituts und/oder im Labor zur Analyse von Radiokohlenstoff mit AMS, LARA (AMS: accelerator mass spectrometry) des Departements für Chemie und Biochemie. Ausnahmen sind erwähnt.

Referenzwert

Zwischen 1955 und 1966 wurden im Rahmen von Nuklearwaffentests grosse Mengen an $^{14}\text{CO}_2$ in der Atmosphäre freigesetzt (so genannter Bomben-Peak). Zwar nimmt seitdem der ^{14}C -Gehalt von atmosphärischem CO_2 durch Aufnahme von $^{14}\text{CO}_2$ durch die Ozeane und Verbrennung fossiler, d. h. ^{14}C -freier, Brennstoffe weltweit wieder ab, doch liegt dieser Gehalt gegenwärtig immer noch leicht über dem als Basis für die Radiocarbonatierung definierten Standardwert für das Jahr 1950:

$$^{14}\text{A}_0 = (13.56 \pm 0.07) \text{ dpm/gC} = (0.226 \pm 0.001) \text{ Bq/gC} \quad (1)$$

Auf lokaler Ebene lässt sich eine als «Suess»- oder «Industrie»-Effekt bekannte Verdünnung des atmosphärischen $^{14}\text{CO}_2$ nachweisen. Der von terrestrischen Pflanzen durch Assimilation aufgenommene Kohlenstoff widerspiegelt in seinem ^{14}C -Gehalt im Wesentlichen den zeitlichen Verlauf der atmosphärischen $^{14}\text{CO}_2$ -Konzentration.

Radiocarbon-Quellen (KKW und Basel) und -Verdünnungen (KVA, Industrie, Autobahnen) können den ^{14}C -Gehalt bei Knospen und Laub von Bäumen, die in deren Umgebung wachsen, insbesondere während der Blattwuchsphase beeinflussen. Laub und Knospen eignen sich somit als ^{14}C -Monitor.

Die für diesen Bericht gemessenen ^{14}C -Werte werden mit dem Radiocarbonstandard $^{14}\text{A}_0$ verglichen:

$$\Delta^{14}\text{C}_{\text{Probe}} = (^{14}\text{A}_{\text{Probe}} / ^{14}\text{A}_0 - 1) \cdot 1'000 [\text{‰}] \quad (2)$$

Sinnvoll ist auch ein Vergleich mit ^{14}C -Werten von Laub, welches von Bäumen ohne lokale ^{14}C -Quellen oder -Verdünnungen stammt. Zu diesem Zweck wurden an drei ländlichen Standorten Buchen- bzw. Lindenblätter gesammelt. Ihr ^{14}C -Gehalt wurde bestimmt und nach (2) mit $^{14}\text{A}_0$ verglichen (Figur 1). Aus den resultierenden $\Delta^{14}\text{C}$ -Werten wurde für die Zeit der Hauptprobenahmen 2018 ein Referenzwert für Laub in ungestörter Umgebung definiert. Als Basis hierzu dienten die im Mai, Juni und Oktober gesammelten Blätter.

$$\Delta^{14}\text{C}_{\text{Ref, 2018}} = 10 \pm 3 [\text{‰}] \quad (3)$$

Die Differenz

$$\text{Netto } \Delta^{14}\text{C} = \Delta^{14}\text{C}_{\text{Probe}} - \Delta^{14}\text{C}_{\text{Ref, 2018}} \quad (4)$$

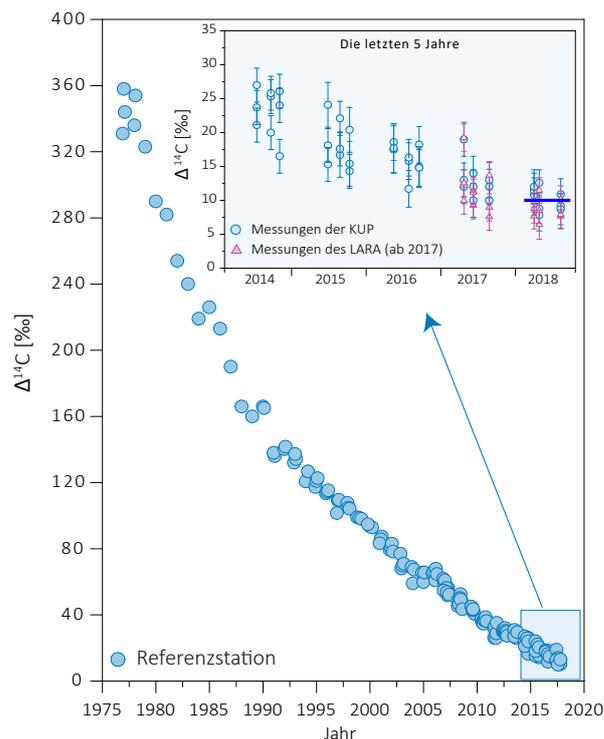
weist auf ^{14}C -Quellen (Netto $\Delta^{14}\text{C} > 0$) oder -Verdünnungen (Netto $\Delta^{14}\text{C} < 0$) hin.

Aufbereitung von Laubproben für die ^{14}C -Messung

Es kommen zwei unterschiedliche Methoden zur Anwendung:

- *Methode A:* ^{14}C -Bestimmung nur in der Blattkohle¹
- *Methode B:* ^{14}C -Bestimmung im ganzen Blatt

An den Referenzstationen ergaben Messungen an der Blattkohle (Methode A) im Vergleich zu Messungen am ganzen Blatt (Methode B) Unterschiede von weniger als 4‰. An belasteten Standorten können die Unterschiede zwischen den Resultaten der nach den Methoden A und B aufbereiteten Proben jedoch grösser sein.



Figur 1: $\Delta^{14}\text{C}$ -Konzentrationen in Buchen- und Lindenblättern von den Referenzstationen. Die *blaue Linie* zeigt den bestimmten Referenzwert während der Vegetationszeit. Kreise: Messungen der KUP. Dreiecke in der Detailansicht (ab 2017): Messungen des LARA.

¹ Die Probe wird im Stickstoffstrom pyrolysiert. Dabei verflüchtigen sich gewisse Kohlenstoffverbindungen, die somit für die Analyse ihres ^{14}C -Gehaltes verloren sind.

Tabelle 1:

Messwerte 2018 und Koordinaten der Referenzstationen für Laubmessungen unter Verwendung von Methode A durch beide Labore

Ort	Labor	$\Delta^{14}\text{C}$ [‰]			Koordinaten	[m.ü.M.]	Baumart/Standort
		Juni	Aug.	Okt.			
Taanwald	KUP	11	8	11	601'320 / 186'150	938	Rotbuchen im Wald
	LARA	8	9	8			
Belpberg	KUP	11	9	9	606'096 / 190'600	825	Rotbuchen auf Krete
	LARA	9	6	10			
Ballenbühl	KUP	12	12	9	612'550 / 192'800	852	2 Linden, freistehend
	LARA	10	12	8			

Bei der Messung am ganzen Blatt wird der gesamte Kohlenstoff erfasst. Diese zwar zeitaufwändigere, aber potenziell genauere Methode B wird vom Radiocarbon-Labor der KUP in der Regel nur für Proben von Standorten verwendet, die in den Vorjahren deutlich höhere Werte zeigten bzw. bei denen ein erhöhtes Interesse am Fortführen der bestehenden Zeitreihen besteht.

Das LARA am Departement für Chemie und Biochemie der Universität Bern bereitet sowohl Holz- als auch Laubproben im Allgemeinen nach Methode B auf. Zur Ermittlung des Referenzwertes wurde von beiden Labors Methode A verwendet.



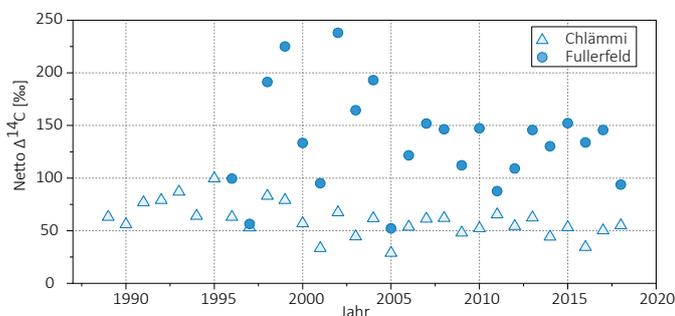
Figur 2: Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Messwerte in der Umgebung des Siedewasserreaktors Leibstadt (KKL) im Jahr 2018. Revisionsabschaltung: 17.09.2018 bis 13.10.2018. Probenahme: 17.10.2018. Die Kreisflächen sind proportional zur Erhöhung gegenüber den unbelasteten Referenzstationen.

Der ^{14}C -Gehalt von Blättern der Referenzstationen ist im Jahr 2018 gegenüber dem Vorjahr erneut abgefallen. Mit $10 \pm 3\%$ (gerundeter Mittelwert aller in Tabelle 1 dargestellten Messergebnisse) liegt der Referenzwert um 2% unter dem Wert von 2017.

^{14}C im Umfeld der Schweizer Kernkraftwerke

Gemäss Jahresrückblick des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats ENSI [1] wurden die Schweizer Kernkraftwerke im Jahr 2018 sicher betrieben. Es kam zu einer einzigen automatischen Schnellabschaltung, und zwar im Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) am 18. März 2018 aufgrund einer Frischdampfisolierung im Rahmen eines monatlichen Pumpentests. Darüber hinaus wurde Beznau 1, das älteste KKW der Schweiz und eines der ältesten der Welt, im März 2018 nach einer dreijährigen Stillstandszeit und aufwändigen Untersuchungen am Reaktordruckbehälter wieder ans Netz genommen.

Die Laubprobenahmen im Umfeld der Kernkraftwerke erfolgten im Allgemeinen während oder nach der Jahresrevision der entsprechenden Kraftwerke, um auch mögliche ^{14}C -Abgaben während des Revisionsstillstands erfassen zu können. Mit Ausnahme der Messungen im Umfeld des Paul Scherrer Instituts und des Zentralen Zwischenlagers Würenlingen (ZWILAG), welche vom Paul Scherrer Institut durchgeführt wurden, erfolgten die Messungen jeweils im Labor zur Analyse von Radiokohlenstoff mit AMS (LARA) am Departement für Chemie und Biochemie der Universität Bern. Im Allgemeinen wurden ganze Blätter analysiert (Methode B, siehe oben).



Figur 3: Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Höchstwerte nordöstlich (●) und südwestlich (△) des Kernkraftwerkes Leibstadt. Der Standort Fullerfeld wird seit 1996, derjenige von Chlämmi seit 1989 beprobt (Standorte: siehe Figur 2). Messungen bis 2016: KUP. Messungen ab 2017: LARA.

Kernkraftwerk Leibstadt

Im Sommer 2018 wurden beim Kernkraftwerk Leibstadt (KKL) Blätter an verschiedenen Standorten in beiden Hauptwindrichtungen gesammelt und auf ihren ^{14}C -Gehalt hin untersucht. Damit wurden die z. T. seit 1984 geführten Zeitreihen fortgesetzt. Die höchste ^{14}C -Konzentration ergab sich wiederum in ca. 1000m Distanz vom KKL in nordöstlicher Richtung am Standort Fullerfeld (Figur 2). In südwestlicher Richtung wies der Standort Chlämme die höchsten Werte auf.

Figur 3 zeigt die gemessenen Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Höchstwerte der Standorte Fullerfeld und Chlämme seit Messbeginn. Es sind dies die beiden Standorte mit den traditionell höchsten Werten in der jeweiligen Windrichtung. 2018 lag der höchste Messwert bei 94‰ (Fullerfeld). Der grösste Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Wert seit Messbeginn beträgt 238‰ (2002), ebenfalls am Standort Fullerfeld. In südwestlicher Richtung wurde 2018 am Standort Chlämme mit 55‰ der höchste Wert gemessen.

Kernkraftwerk Gösgen

In Figur 4 sind die Resultate der am 27. Juni 2018 gesammelten Blattproben in der Umgebung des Kernkraftwerks Gösgen (KKG) dargestellt. Sämtliche Messwerte liegen nahe bei den langjährigen Mittelwerten bzw. darunter. Die höchsten ^{14}C -Messwerte resultierten in diesem Jahr mit einer Erhöhung von ca. 39‰ am Standort Schachen.

In Figur 5 sind die z. T. seit Messbeginn ermittelten höchsten Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Werte aufgeführt. Werte $>100\%$ wurden in dieser Zeitspanne nie festgestellt. Höchstwerte resultierten in der Regel in ähnlicher Distanz zum Kraftwerk, jedoch nicht immer in derselben Windrichtung.

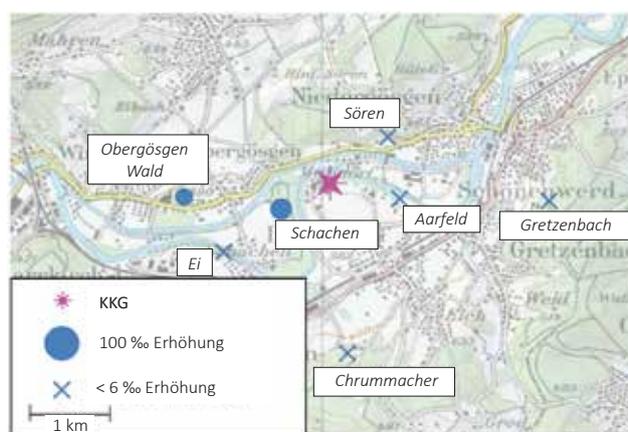
Kernkraftwerk Mühleberg

Figur 6 zeigt die Verteilung der Messwerte um das Kernkraftwerk Mühleberg (KKM). Die grösste Erhöhung wurde am Standort M-5 (Schiessplatz) mit 91‰ gemessen. Es wurden zwei Messreihen durchgeführt: eine erste Probenahme fand am 28. Juni 2018 und eine weitere am 19. September 2018 statt, d. h. einmal vor und einmal nach der jährlichen Revision des Reaktors. Es konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt der Probenahme und dem ^{14}C -Gehalt der Blätter festgestellt werden.

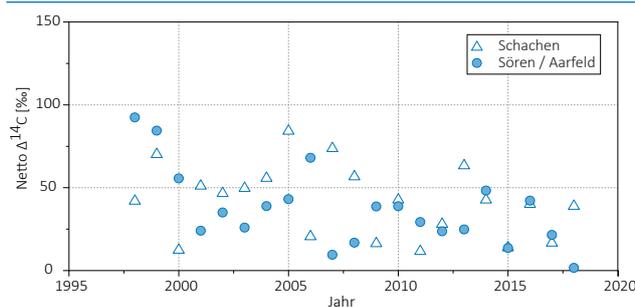
Die 2018 gemessenen Proben liegen unter den seit Messbeginn im Jahr 1977 registrierten Höchstwerten. Der mit 116‰ höchste Wert stammt aus dem Jahr 1984.

In Figur 7 sind die seit Messbeginn jährlich gemessenen höchsten Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Werte aufgeführt. Die Messwerte aus dem Jahr 2018 liegen in der Bandbreite des langjährigen Mittels.

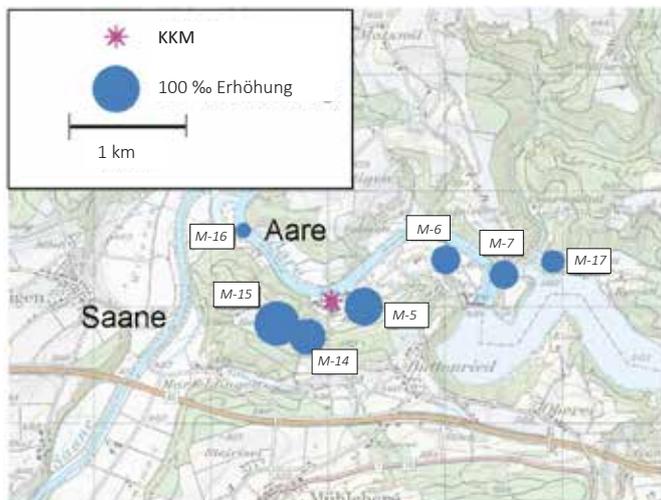
Zusätzlich zur regulären jährlichen Probenahme an den sieben in Figur 6 dargestellten Standorten wurde von der KUP am Physikalischen Institut der Universität Bern ein und derselbe Baum (Standort M-15, Ufem Horn) während der gesamten Vegetationsperiode einmal pro Monat beprobt, um die Einlagerung von ^{14}C im Jahresgang zu verfolgen. Der Netto ^{14}C -Gehalt des Laubs bewegte sich von Mai bis September, d. h. nach dem Ausschlagen des Baumes im Frühjahr bis zum Laubfall im Herbst, im Bereich zwischen 70‰ und 105‰ (Figur 8).



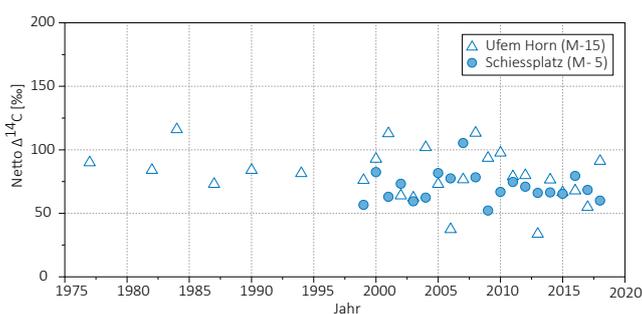
Figur 4: Örtliche Verteilung der Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Werte in der Umgebung des Druckwasserreaktors Gösgen (KKG). Revisionsabschaltung: 02.06.2018 bis 24.06.2018. Probenahme: 27.06.2018. Die Kreisflächen sind proportional zur Erhöhung gegenüber den unbelasteten Referenzstationen.



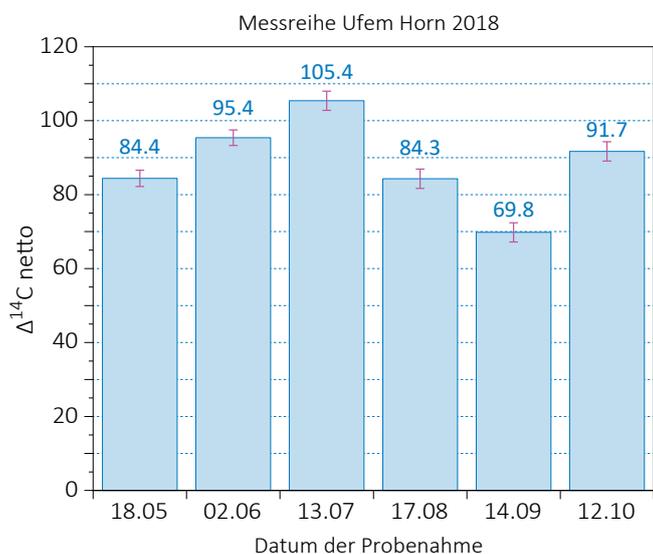
Figur 5: Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Höchstwerte östlich (●) und westlich (△) des Kernkraftwerkes Gösgen. Standorte: siehe Figur 4. Messungen bis 2016: KUP. Messungen ab 2017: LARA



Figur 6: Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Werte in der Umgebung des Siedewasserreaktors Mühleberg (KKM) im Jahr 2018. Revisionsabschaltung: 19.08.2018 bis 11.09.2018. Dargestellt sind die jeweils höchsten Werte aus beiden Messreihen. Probenahmen: 28.06.2018 und 19.09.2018. Die Kreisflächen sind proportional zur Erhöhung gegenüber den unbelasteten Referenzstationen.



Figur 7: Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Höchstwerte östlich (●) und westlich (△) des Kernkraftwerkes Mühleberg seit Messgebinn. Standorte: siehe Figur 6. Messungen bis 2016: KUP. Messungen ab 2017: LARA.



Figur 8: Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Messwerte am Standort M-15 (Ufem Horn). Standort: siehe Figur 6.

Bemerkenswert ist der relativ hohe Gehalt an ^{14}C schon bei der ersten Messung an noch sehr jungem Laub, welches bereits Anfang Mai gepflückt wurde. Der ^{14}C -Gehalt des Laubs ist bereits zu diesem Zeitpunkt um über 80% höher als bei Laub von unbelasteten Referenzstationen. Möglicherweise handelt es sich teilweise um ^{14}C aus dem Vorjahr, das in Form von Zucker in den Wurzeln des Baumes deponiert und beim Austreiben des Laubs in die Blätter integriert wurde. Ob eine solche Überschneidung von einem Jahr zum nächsten tatsächlich auftritt, soll im Rahmen von weiteren Messungen untersucht werden, da dies vor allem im Hinblick auf den Rückbau des Kernkraftwerks Mühleberg ab 2020 wichtige Rückschlüsse erlauben würde.

Paul Scherrer Institut, Zentrales Zwischenlager Würenlingen, Kernkraftwerk Beznau

Die zu diesen Standorten gehörenden ^{14}C -Messungen in den Blattproben wurden am Paul Scherrer Institut (PSI) bzw. im Labor zur Analyse von Radiokohlenstoff mit AMS (LARA) des Departements für Chemie und Biochemie der Universität Bern durchgeführt: Messungen der Standorte Eien, Althau, KKB Ost, Böttstein, Flue, Schloss, Böttenberg erfolgten am LARA, die restlichen Messungen am PSI.

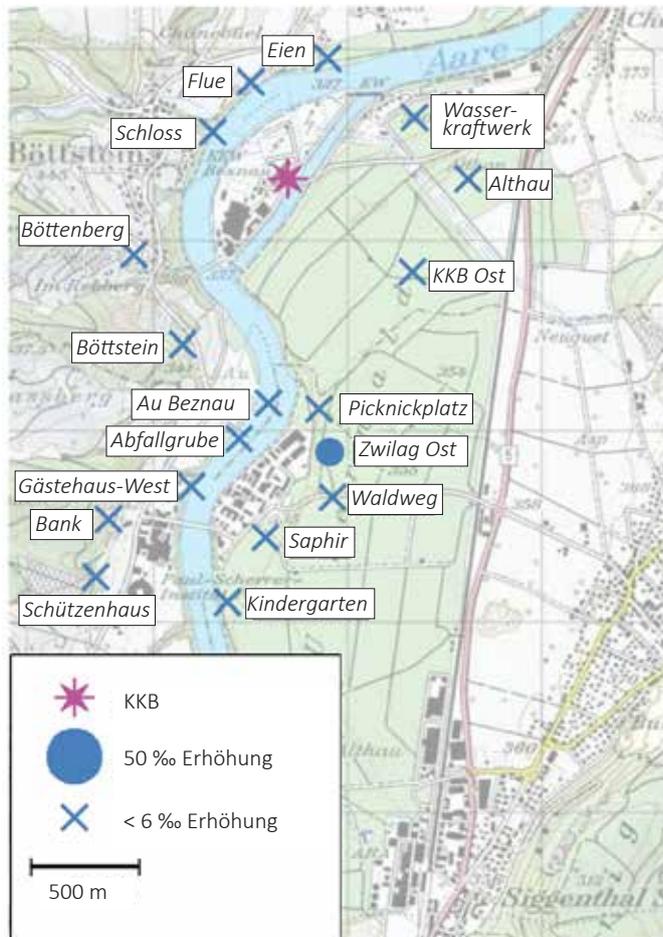
Im Kernkraftwerk Beznau (KKB) sind seit März 2018 wieder beide Reaktorblöcke im Betrieb, nachdem die Betreiberin Axpo nachgewiesen hatte, dass die im Stahl des Reaktor-druckbehälters von Block I gefundenen Einschlüsse keinen negativen Einfluss auf die Sicherheit haben und dieser Nachweis vom Eidgenössischen Sicherheitsinspektorat (ENSI) akzeptiert worden war. Dennoch wurden im Umfeld des KKB niedrigere Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Werte als in den drei Vorjahren festgestellt. Selbst am Ufer der Aare gegenüber dem KKB-Gelände wurde keine signifikante Erhöhung der Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Werte gemessen. Der höchste Messwert aus dem Umfeld des Paul Scherrer Instituts stammt vom Standort Zwilag Ost.

In Figur 10 sind Zeitreihen der Standorte aufgeführt, für die historisch gesehen die höchsten Messwerte ermittelt wurden. Alle hier dargestellten Messungen ausser dem Standort Böttstein (Symbol ●) erfolgten durch das PSI.

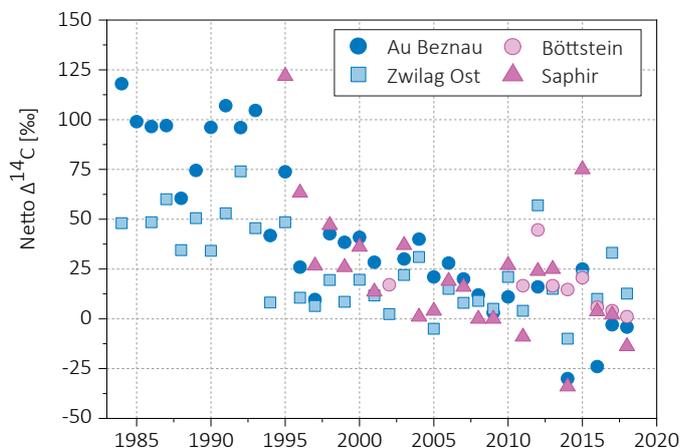
Kehrichtverbrennungsanlagen

In Blättern von Bäumen, die im Umfeld der Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) Bern Forsthaus gesammelt wurden, konnte keine erhöhte ^{14}C -Konzentration festgestellt werden. Sämtliche Messpunkte wiesen Werte auf, die unter dem Referenzwert von 10% lagen. Im Gegensatz zu Blättern, die im Umfeld der Kernkraftwerke gesammelt wurden, findet hier im Stadtgebiet eine Verdünnung (oder Absenkung) der ^{14}C -Konzentration gegenüber den Referenzstationen statt. Dies ist eine Folge der Abgase von ^{14}C -freien, fossilen Brennstoffen, welche von den Bäumen aufgenommen werden (siehe «Suess»-Effekt weiter oben).

In Figur 11 sind die Messwerte als Kreise dargestellt. Die Grösse der Kreisfläche spiegelt die Verdünnung wider, d.



Figur 9: Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Werte in der Umgebung des Paul Scherrer Instituts (PSI), des Zentralen Zwischenlagers Würenlingen (ZWILAG) und des Kernkraftwerkes Beznau (KKB) im Jahr 2018 (M. Heule, R. Siegwolf, PSI in Zusammenarbeit mit der Universität Bern). Revisionsabschaltung KKB I: 01.01.2018 bis 01.03.2018, KKB II: 26.06.2018 bis 09.07.2018. Probenahme: 17.10.2018. Die Kreisflächen sind proportional zur Erhöhung gegenüber den unbelasteten Referenzstationen.



Figur 10: Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Höchstwerte östlich (■▲) und westlich (●●) des PSI/ZWILAG sowie des Kernkraftwerkes Beznau seit Messbeginn. Standorte: siehe Figur 10. Messungen bis 2016: KUP (Standort Böttstein) und PSI. Messungen ab 2017: LARA (Standort Böttstein) und PSI.

h. je grösser die Kreisfläche, desto grösser der Einfluss fossiler Brenn- und Treibstoffe auf den ^{14}C -Gehalt der Baumblätter des jeweiligen Standorts. Die Verdünnung ist in der Nähe von stark befahrenen Strassen (Standorte B-1, B-12 und B-16) besonders deutlich. Dort ist die ^{14}C -Konzentration wieder auf ähnliche Werte wie vor dem so genannten Bomben-Peak abgefallen. Im Zentrum des Berner Bremgartenfriedhofs (B-3), abseits der Hauptverkehrsachsen, ist die Absenkung schwächer ausgeprägt.

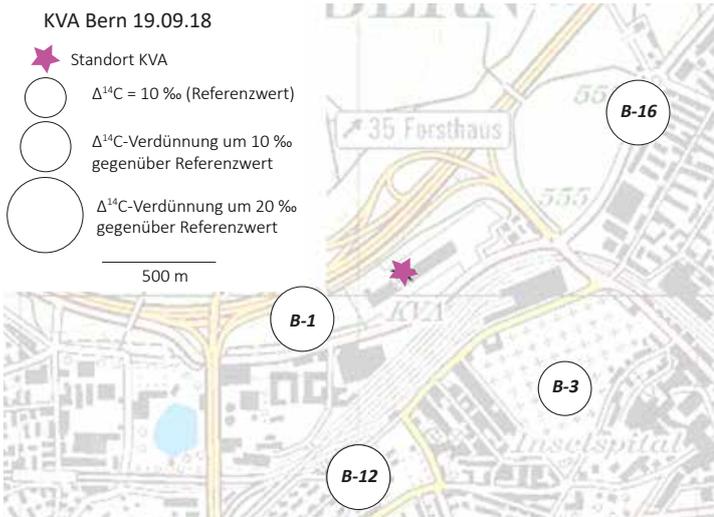
Messungen in der Region Basel-Stadt

Auch im Jahr 2018 wurden drei Laubprobenahmen in Basel durchgeführt, wobei die Hauptprobenahme im August stattfand. Im Westen des Stadtgebiets befinden sich die Standorte im und um das Novartis-Werk St. Johann, im Osten diejenigen um das Areal der Firma F. Hoffmann-La Roche, ganz im Norden diejenigen um das Areal der regionalen Sondermüllverbrennungsanlage (RSMVA). Die höchsten am 15.08.2018 gemessenen Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Werte betragen westlich des Rheins -2‰ (Novartis Bau 27, Standort W 10A) und östlich +2‰ (Dreirosenanlage, Standort E-06). Allfällige Erhöhungen der $^{14}\text{CO}_2$ -Konzentration werden also durch den «Suess»-Effekt mehr als kompensiert, sodass an praktisch allen Standorten eine Verdünnung der $^{14}\text{CO}_2$ -Konzentration relativ zu den unbelasteten Referenzstationen festgestellt wurde.

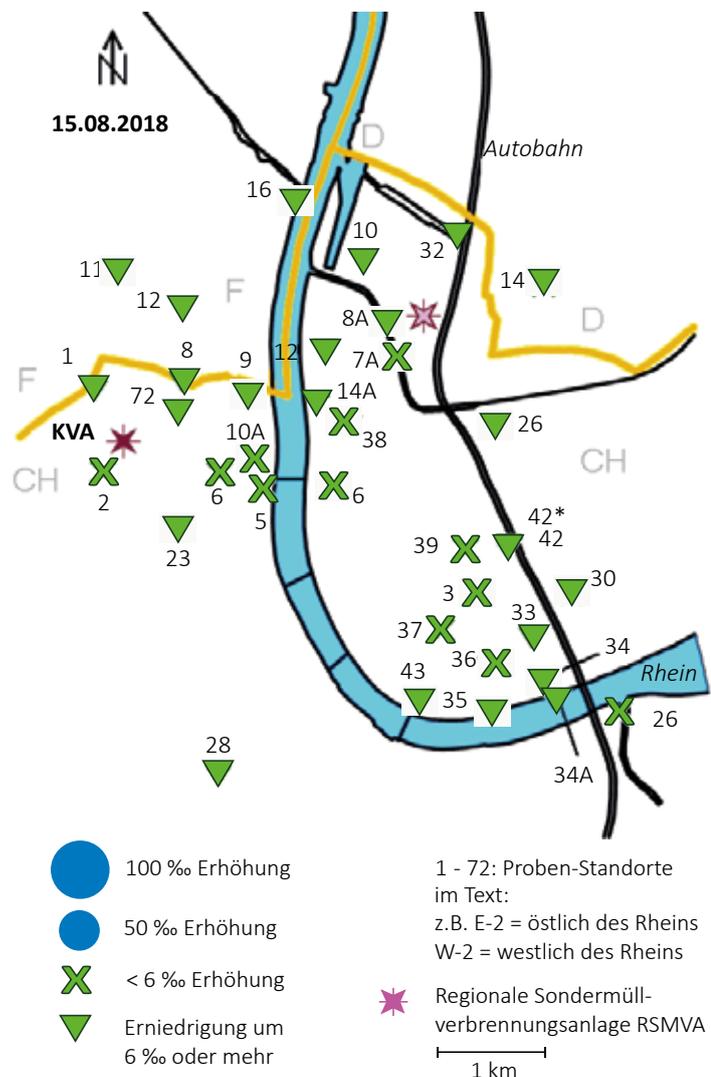
Auch im französischen und deutschen Grenzgebiet nördlich des Novartis-Werks St. Johann bzw. östlich der RSMVA wurden keine Erhöhungen registriert. An zahlreichen Standorten wurden aufgrund des «Suess»-Effekts Erniedrigungen um 6‰ oder mehr ermittelt (Figur 12, Symbol ▼).

Im Juni, August und Oktober wurden an einigen Standorten sowohl in der Blattkohle als auch an unverkohnten ganzen Blättern Messungen durchgeführt (vgl. Seite 114). Die Vergleichswerte sind in Tabelle 2 dargestellt.

Die Figuren 13 und 14 zeigen die Messergebnisse seit Messbeginn an ausgewählten Standorten. Die Netto-Messwerte haben sich auf einem sehr niedrigen Niveau stabilisiert. Der Rückgang der ^{14}C -Werte gegenüber früheren Jahren ist darauf zurückzuführen, dass Novartis das benötigte ^{14}C zunehmend von externen Zulieferern bezieht. Im Falle der F. Hoffmann-La Roche AG ist der Rückgang mit durchschnittlich deutlich geringeren Anfangsaktivitäten bei den Synthesen zu erklären. Westlich des Rheins wurden die historischen Netto-Höchstwerte (Standorte W-06 und W-10) bereits seit einigen Jahren nicht mehr erreicht.



Figur 11:
 $\Delta^{14}\text{C}$ -Messungen in der Umgebung der KVA Bern.



Figur 12:
 Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Messwerte für Blattproben aus dem Raum Basel.

Dasselbe gilt für die Standorte E-34 und E-36 östlich des Rheins: Hier wurde der 2002 gemessene Höchstwert von 320‰ (E-36) in den letzten Jahren jeweils deutlich unterschritten.

Edelgas-Radionuklide

Die beiden Edelgas-Radionuklide ^{85}Kr und ^{37}Ar werden in der Atmosphäre auf natürliche Weise nur in sehr geringen Mengen produziert. ^{85}Kr , freigesetzt bei der Wiederaufarbeitung von Kernbrennstäben, konnte sich wegen der vergleichsweise langen Halbwertszeit von 10.76 Jahren und den lange Zeit zunehmenden Emissionsraten über die letzten 40 Jahre in der Atmosphäre anreichern. Zurzeit verharrt die Aktivitätskonzentration von ^{85}Kr auf konstantem Niveau. Die aktuellen Konzentrationen von ^{37}Ar sind praktisch nicht von künstlichen Quellen beeinflusst. Lokal erhöhte Werte könnten aber auf nukleare Aktivitäten hinweisen. Beide Isotope verursachen keine signifikante Erhöhung der jährlichen Strahlendosis.

Krypton-85 (^{85}Kr)

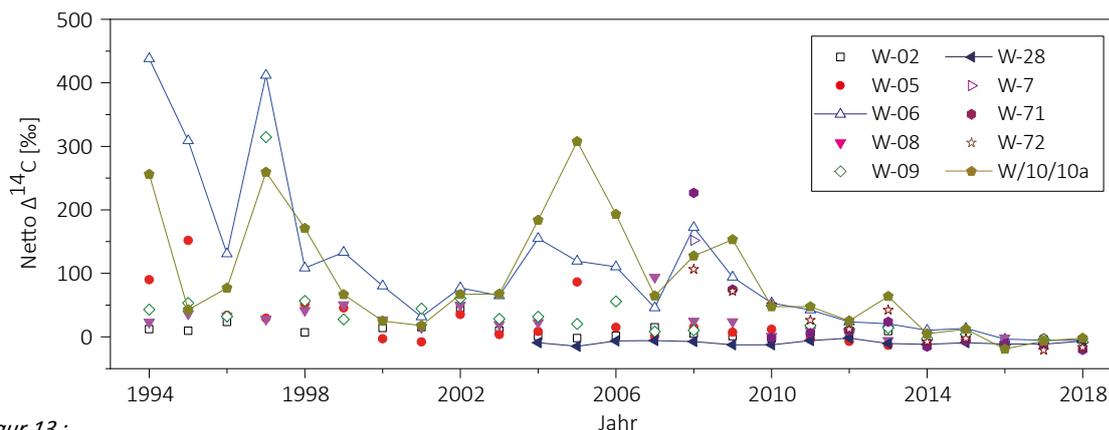
Das radioaktive Edelgasisotop ^{85}Kr ist ein Beta-Strahler mit einer Halbwertszeit von 10.76 ± 0.02 Jahren. Natürliches atmosphärisches ^{85}Kr hat seinen Ursprung in dem Einfang kosmischer Neutronen durch ^{84}Kr in der Atmosphäre und durch die Spaltung von Uran und anderen Aktiniden in der Lithosphäre. Die beiden Prozesse führen zu einem natürlichen atmosphärischen ^{85}Kr -Inventar von etwa $9 \cdot 10^{11}$ Bq oder einer spezifischen Aktivitätskonzentration von ungefähr $0.2 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft. Im Gegensatz dazu stammt das derzeitige ^{85}Kr in der Atmosphäre hauptsächlich aus der Wiederaufarbeitung von Brennstäben und wird lokal und zeitlich gepulst freigesetzt. Zurzeit ist die Aufbereitungsanlage in La Hague (F) die weltweit grösste Emissionsquelle (Figur 15). Durch radioaktiven Zerfall nimmt das atmosphärische Inventar jährlich um 6.2% ab. Diese Reduktionsrate wurde lange Zeit von den globalen Freisetzungsraten von ^{85}Kr übertroffen, was zu einem Anstieg der atmosphärischen Basisaktivitätskonzentration führte (Figur 15, kleines Bild).

In der letzten Dekade ist eine Stabilisierung bei einer Konzentration von $1.4 - 1.5 \text{ Bq}/\text{m}^3_{\text{Luft}}$ in Mitteleuropa zu beobachten. ^{85}Kr wird an kumulativen Wochenproben gemessen, die auf dem Jungfrauoch gesammelt und im Edelgaslabor des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS) in Freiburg im Breisgau analysiert werden [2] (Fig. 15). Zum Vergleich sind auch die entsprechenden Werte von Freiburg im Breisgau dargestellt. Die Zeitperioden von gehäuften Aktivitätsspitzen, die den Basiswert bei der Station Freiburg um bis zu

Tabelle 2:

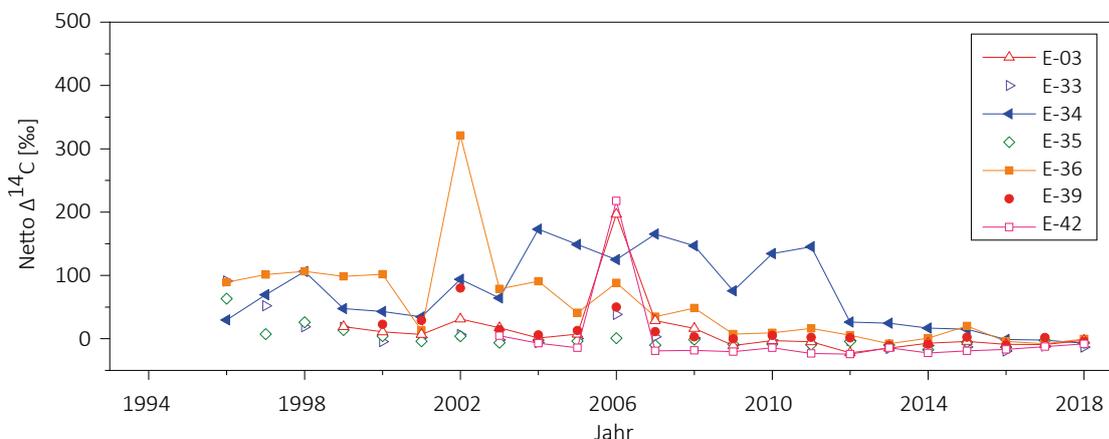
Im Jahre 2018 gemessene höchste Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Messwerte von Blättern im Vergleich mit Messungen früherer Jahre (1994 bis 2017) am Standort Basel östlich (E-nn) und westlich (W-nn) des Rheins. Am Standort E-42 wurde vor dem Gebäude (Strassenseite) und hinter dem Gebäude (E-42*, Hofseite) gemessen. W-28 ist stellvertretend für das von ^{14}C -Quellen unbeeinflusste Stadtgebiet.

Ort	In der Blattkohle		Im ganzen Blatt	
	2018 Höchster Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Wert [‰]	1994-2017 Höchster Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Wert [‰]	2018 Höchster Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Wert [‰]	2004 - 2017 Höchster Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Wert [‰]
E-03	- 2	197 (2006)	-	23 (2007)
E-26	-12	169 (1996)	-	-
E-34	-10	106 (1998)	- 7	173 (2004)
E-42	- 17	4 (2003)	-	-
E-42*	- 8	218 (2006)	-	-
W-06	- 6	438 (1994)	- 5	172 (2008)
W-10A	- 2	259 (1997)	- 9	308 (2005)
W-28	- 7	- 6 (2007)	- 16	- 13 (2013)
W-71	- 23	227 (2008)	- 10	75 (2009)
W-72	- 17	107 (2008)	- 23	115 (2010)



Figur 13:

Zeitreihe der Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Werte westlich des Rheins (östlich der KVA). Am Standort W-28 wird die von ^{14}C unbelastete Stadtluft gemessen. Liegen von einem Standort mehrere Messungen vor, so ist der höchste Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Wert eingetragen.

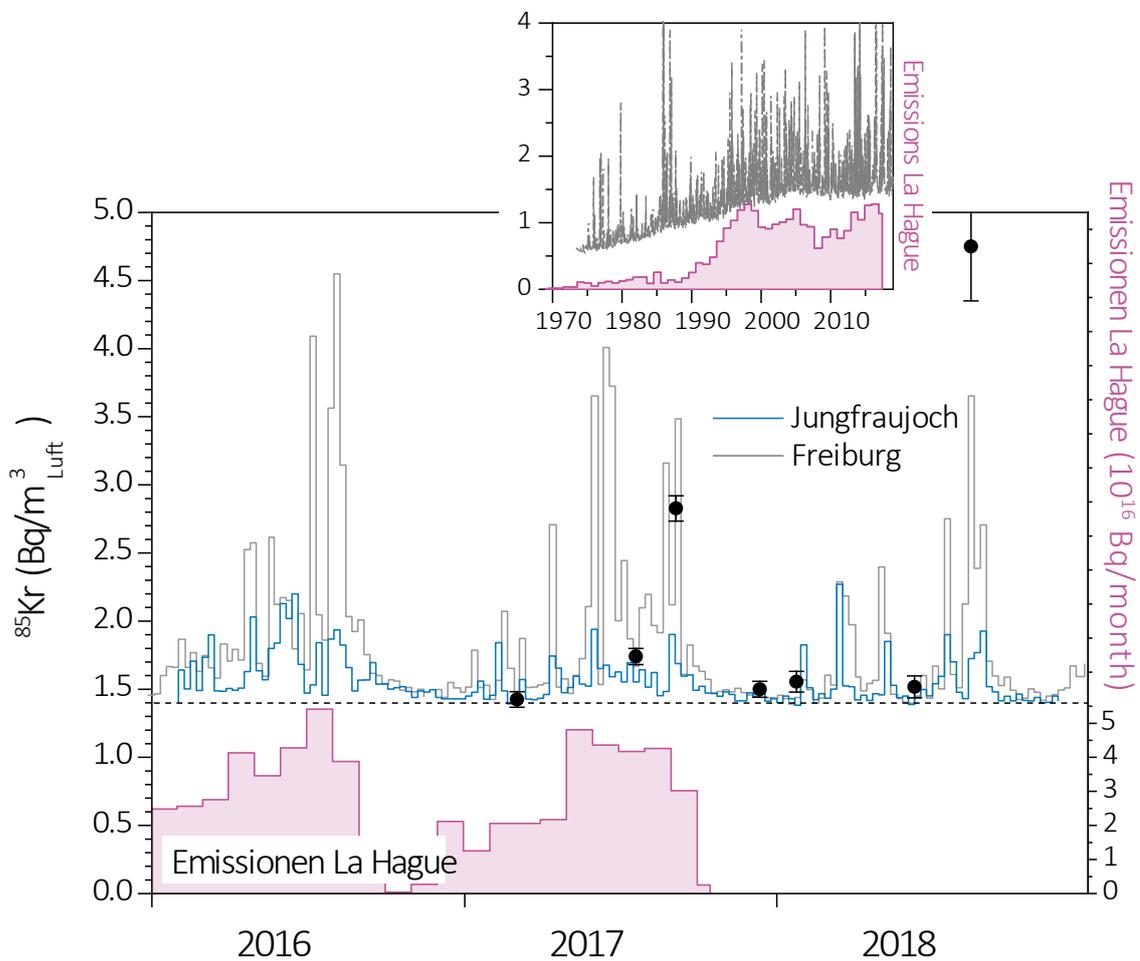


Figur 14:

Zeitreihe der Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Werte östlich des Rheins. Liegen von einem Standort mehrere Messungen vor, so ist der höchste Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Wert eingetragen.

einem Faktor 3 übersteigen, stimmen bei beiden Stationen überein mit Zeiten erhöhter Emissionsraten von La Hague [3]. Wegen der erhöhten Lage der Station Jungfrauoch wird diese Station aber weniger von bodennahen Emissionen beeinflusst und weist Aktivitätsspitzen geringerer Amplitude auf. In der Berichtsperiode 2018 wurde eine maximale Aktivitätskonzentration von $3.7 \text{ Bq/m}^3_{\text{Luft}}$ in Freiburg gemessen. Der höchste Wert auf dem Jungfrauoch lag bei $2.3 \text{ Bq/m}^3_{\text{Luft}}$. Im Herbst konvergierten die Messwerte jeweils wieder gegen den Basiswert, was auf eine verringerte Aufarbeitungsaktivität hindeutet. Die durch den ^{85}Kr -Untergrundpegel verursachte jährliche effektive Dosis beträgt ca. 11 nSv/Jahr ($8 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/Bq m}^{-3} \text{ Jahr}$ [4]) und ist damit gering in Relation zur Strahlenbelastung von etwa 1.1 mSv verursacht durch natürlich vorkommendes Radon.

Stichproben, genommen in wenigen Minuten und gemessen am Physikalischen Institut der Universität Bern bestätigen den Aktivitätsbereich und die zeitliche Abfolge der in Freiburg oder auf dem Jungfrauoch beobachtet wird. Die Aktivitätswolke, die Anfang Oktober in Freiburg und auf dem Joch nachgewiesen wurde, ist auch in der Messung in Bern sichtbar. Da die Luftproben in Bern in kurzer Zeit genommen werden, ist die Verdünnung mit weniger belasteter Luft geringer, was in diesem Fall zu einem Maximalwert von $4.8 \text{ Bq/m}^3_{\text{Luft}}$ führte. Der Basiswert von $1.4 \text{ Bq/m}^3_{\text{Luft}}$ stimmt für die Stationen Freiburg, Jungfrauoch und Bern überein.

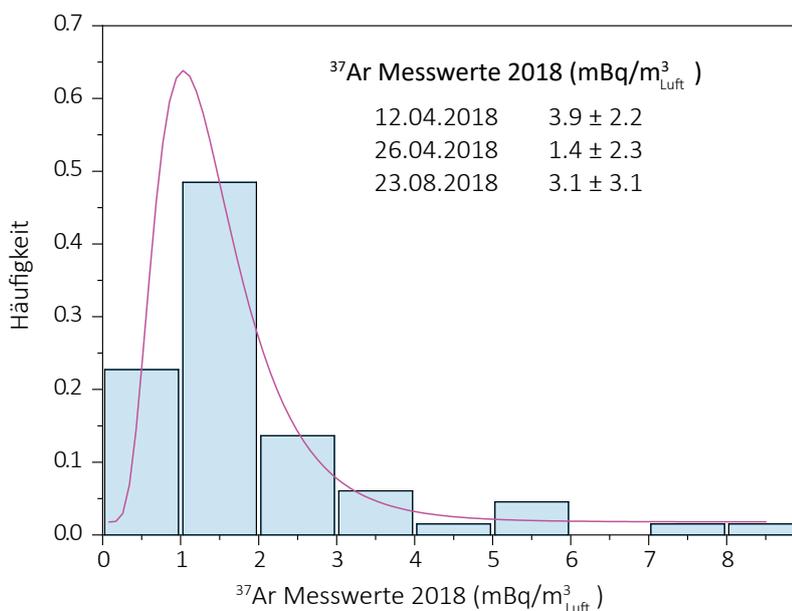


Figur 15:

Atmosphärische ^{85}Kr Aktivitätskonzentrationen der Stationen Jungfrauoch (3500 m. ü. M.), Freiburg i. Br. (276 m. ü. M.) sowie stichprobenartige Messungen in Bern (gemessen durch Uni Bern) über die letzten drei Jahre. Die Messungen der Proben von den beiden Stationen in Freiburg i. Br. und vom Jungfrauoch wurden am Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) in Freiburg i. Br. durchgeführt. Kleines Bild: Langzeitmessreihe der ^{85}Kr -Aktivitätskonzentration an der Station Freiburg i. Br. gemessen am BfS. Zum Vergleich ist auch der Verlauf der Emissionsraten der Aufbereitungsanlage von La Hague dargestellt (rote Balken in Einheiten von 10^{16} Bq) [3]. Seit November 2017 stehen die Emissionsdaten von La Hague öffentlich nicht mehr zur Verfügung und fehlen daher in der Grafik..

Argon-37 (^{37}Ar)

^{37}Ar wird in der Atmosphäre durch die Spallationsreaktion $^{40}\text{Ar}(n,4n)^{37}\text{Ar}$ produziert. Theoretische Abschätzungen der durch kosmische Strahlung erzeugten troposphärischen Gleichgewichtsaktivität liegen bei ca. $0.5 - 2 \text{ mBq/m}^3_{\text{Luft}}$ in guter Übereinstimmung mit den über die letzten 7 Jahre am häufigsten gemessenen Werten. Diese Messungen wurden an Luftproben aus Bern durchgeführt. Die drei im Jahr 2018 gemessenen Werte sind konsistent mit der langjährigen statistischen Verteilung (Figur 16). Im Vergleich zu ^{85}Kr sind die Aktivitätskonzentrationen von ^{37}Ar nochmals um einen Faktor 1000 geringer und führen deshalb zu keiner zusätzlichen Strahlenbelastung.



Figur 16:

Atmosphärische ^{37}Ar -Aktivitätskonzentrationen gemessen an 70 Luftproben, die über die letzten 8 Jahre in Bern gesammelt wurden. Die natürliche Aktivitätskonzentration in der Atmosphäre liegt bei $1 \text{ mBq/m}^3_{\text{Luft}}$. Dies ist auch der am häufigsten gemessene Wert. Leicht erhöhte Werte von bis zu $10 \text{ mBq/m}^3_{\text{Luft}}$ können durch Beiträge von Boden- oder Stratosphärenluft verursacht sein. Auch Kernkraftwerke sind potenzielle Emittenten von ^{37}Ar .

Referenzen

- [1] <https://www.ensi.ch/de/2019/01/10/rueckblick-auf-2018-kernanlagen-sind-im-letzten-jahr-sicher-betrieben-worden>, besucht am 15. Februar 2019
- [2] Bollhöfer et al 2018. Five decades of Krypton-85 activity concentration measured in air over Central Europe and relevance for groundwater dating (eingereicht Journal of Environmental Radioactivity)
- [3] <http://www.aveva.com/EN/operations-2315/cumulative-release-results-report-for-the-aveva-la-hague-plant.htm> (bis Oktober 2017)
- [4] ICRP, 2012. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41 (Suppl.). Table C.1., p. 61

7.2

Mesures de plutonium et d'américium dans l'environnement

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

Institut de radiophysique, CHUV, Grand Pré 1, Lausanne

Résumé

Nous avons mesuré le Pu et l'Am dans des échantillons de sol, de sédiments, de filtres à air, de poissons, de plantes aquatiques, d'eau de surface et d'eau souterraine. Les résultats sont compatibles avec une contamination provenant essentiellement des retombées des essais nucléaires des années soixante. Ce dépôt est bien fixé dans le sol, comme en attestent les mesures des filtres à air, qui montrent des activités très faibles, mais représentatives de la remise en suspension de particules de sol par le vent. Les mesures des plantes aquatiques prélevées dans les rivières en aval des centrales nucléaires montrent que l'activité présente dans les plantes est probablement liée au dépôt de carbonate de Ca ou de particules de sédiments enrichis en Pu sur les feuilles. Les poissons ne présentent pas d'activité en Pu et Am mesurable au-dessus de la limite de détection de la méthode, à l'exception d'un seul échantillon de grande masse, positif à ^{241}Am (0.72 mBq/kg ms). Les activités en Pu des eaux de rivières prélevées en aval des centrales nucléaires ne dépassent pas 3.5 mBq/m³, soit des valeurs très proches de celles mesurées les années précédentes et récemment par AMS dans deux rivières du karst jurassien, non impactées par les rejets des centrales nucléaires. Dans ce rapport, nous analysons aussi les résultats des milieux aquatiques en regard de nos travaux récents sur la biodisponibilité du plutonium dans les milieux aquatiques telle que déterminée par la technique de diffusion dans des films minces (DGT). Nous proposons que cette technique soit utilisée dans le cadre de la surveillance des milieux aquatiques lors des opérations de démantèlement d'installations nucléaires.

Introduction

Le plutonium et l'américium sont deux radioéléments artificiels dont l'origine dans l'environnement remonte aux essais d'armes nucléaires en atmosphère durant les années soixante, à différents accidents nucléaires (Windscale, Tchernobyl, Mayak, Fukushima) ainsi qu'à des émissions (notamment dans l'eau) autorisées. Ces deux radioéléments représentent un risque radiologique s'ils sont incorporés dans l'organisme via l'inhalation ou à travers la chaîne alimentaire.

Le plutonium possède une chimie d'oxydoréduction complexe et existe sous des formes physico-chimiques variées dans l'environnement. En conséquence, déterminer son comportement géochimique (dont sa mobilité) et sa biodisponibilité représente un véritable challenge. L'OFSP mesure depuis plus de vingt ans ces deux radioéléments dans différents compartiments de l'environnement à proximité des centrales nucléaires suisses et dans certains sites de référence. L'image principale que l'on peut tirer de ces mesures est que la présence de Pu et Am dans ces échantillons est essentiellement due aux retombées des essais nucléaires atmosphériques des années soixante avec, parfois, la présence d'ultra-traces de Pu et d'Am (parfois aussi ^{244}Cm) dont l'origine peut être attribuée aux rejets des centrales nucléaires ou à des

événements particuliers, comme l'éruption du volcan Eyjafjallajökull en 2010, qui a entraîné du Pu encore présent dans la stratosphère dû aux essais nucléaires jusque dans les couches basses de l'atmosphère [1]. L'intégration des dépôts de Pu et Am dans le sol, dont l'origine sont les essais nucléaires, donne des rapports isotopiques de $^{238/239+240}\text{Pu}$ de 0.027 et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ de 0.40, recalculés pour l'année 2018. On verra au cours de ce rapport que ces indicateurs de contamination sont parfaitement respectés pour les sols, avec quelques variations liées aux larges incertitudes et au fractionnement des éléments pour certains types d'échantillons (eaux, plantes aquatiques, poissons, etc.).

Depuis 15 ans, la technique de diffusion dans des films minces (DGT) est utilisée pour mesurer la fraction libre et la fraction labile des complexes de métaux lourds avec la matière organique (NOM) dans les milieux aquatiques. Les modèles montrent que la technique DGT permet la mesure intégrée sur le temps de la fraction bio-disponible de ces cations métalliques. Le principe de la technique DGT consiste à exposer dans l'eau un système comprenant un gel-résine capable de fixer les ions métalliques qui auront pu diffuser à travers un gel de polyacrylamide (APA) contenant plus de 80% d'eau. Cet assemblage imite l'interface entre l'eau et un système vivant, comme les plantes ou des organismes simples. Nous avons récemment adapté cette technique pour la mesure de la biodisponibilité du plutonium dans les systèmes aquatiques d'eau douce [2-5] et concluons qu'il s'agit d'une technique d'avenir pour l'échantillonnage passif des actinides dans les milieux aquatiques, notamment aux abords des centrales nucléaires en exploitation ou en cours de démantèlement.

Dans ce travail, nous avons déterminé l'activité en Pu et Am de différents compartiments de l'environnement représentés par le sol, les sédiments de rivières, l'air, l'eau souterraine et l'eau de rivière ainsi que les plantes aquatiques et les poissons. Les sites de prélèvements sont principalement les environs des centrales nucléaires suisses, et plus particulièrement les rivières desquelles elles puisent l'eau de refroidissement des réacteurs. La compréhension des mécanismes de mobilité et de biodisponibilité du Pu et de l'Am est donc un prérequis indispensable à l'interprétation de ces données.

Méthodes

Les méthodes d'analyses du plutonium et de l'américium dans les différents compartiments de l'environnement sont décrites en détail dans la référence [5, 6].

Résultats et discussion

Le tableau 1 présente les résultats obtenus dans la mesure des sols échantillonnés sur l'ensemble du territoire suisse, avec une focalisation sur les sites aux environs des centrales nucléaires suisses. En vue du démantèlement de la centrale nucléaire de Mühleberg, sept sites spécifiques autour de la centrale ont été échantillonnés et analysés indépendamment. Les activités sont très proches de celles obtenues les années précédentes et ne montrent pas de marquage autre que par les retombées des essais nucléaires des années soixante. La mesure du rapport isotopique $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et du rapport isotopique $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ permet de déterminer l'origine de la contamination par comparaison avec les mêmes rapports des retombées des essais nucléaires des années soixante. Ces rapports doivent être proches de 0.027 pour $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et de 0.40 pour $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ si on attribue la contamination aux retombées radioactives des essais nucléaires. Le combustible irradié d'une centrale nucléaire montre en général des rapports $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ supérieurs à 1. Ces mesures confirment que toutes les activités des sols mesurées ont pour origine les retombées des essais nucléaires des années soixante. On constate également que les activités mesurées sont très basses et que parfois, le ^{238}Pu ne peut être quantifié au-dessus de la limite de détection. En effet, ^{238}Pu est présent avec une activité équivalente à 1/30 de celle de $^{239+240}\text{Pu}$, ce qui est très faible et seul un rendement de séparation chimique lors de l'analyse supérieur à 75% permet de le quantifier sur une aliquote de 50 g de cendres de sol.

S'il n'y a pas d'émissions de radioactivité dans l'atmosphère, comme par exemple lors de situations accidentelles, l'activité en Pu et Am des filtres à air reflète la remise en suspension de particules de sol par érosion par le vent. Au cours des 20 dernières années, toutes les mesures de l'OFSP concernant les filtres à air ont montré uniquement ce phénomène, à l'exception du site du Weissfluhjoch, où nous avons constaté une contamination du site et des installations de pompage/filtration par le ^{241}Am . Cette contamination provenait de l'incinération de déchets boisés de la station météo du Weissfluhjoch contenant des détecteurs d'incendie à l'américium [7].

Tableau 1:

Activités (Bq/kg de matière sèche MS) en plutonium et américium dans les échantillons de sol (0 - 5 cm) collectés sur le territoire suisse en 2018 (incertitudes à 95%).

Lieu	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu Bq/kg MS	²³⁸ Pu Bq/kg MS	²⁴¹ Am Bq/kg MS	²⁴¹ Am/ ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²³⁸ Pu/ ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu
Beznau	0.167 ± 0.015	<0.004	0.065 ± 0.005	0.39 ± 0.05	< LD
Cadenazzo	0.066 ± 0.006	0.0022 ± 0.0009	0.039 ± 0.006	0.57 ± 0.11	0.033 ± 0.014
CERN (Meyrin)	0.111 ± 0.008	0.0032 ± 0.0009	0.049 ± 0.002	0.44 ± 0.04	0.028 ± 0.002
Gösigen (Däniken)	0.224 ± 0.015	0.0050 ± 0.0017	0.109 ± 0.015	0.49 ± 0.07	0.023 ± 0.008
Güttingen	0.185 ± 0.017	0.0049 ± 0.0019	0.074 ± 0.008	0.40 ± 0.06	0.026 ± 0.011
Leibstadt	0.201 ± 0.016	0.0047 ± 0.0015	0.083 ± 0.010	0.41 ± 0.06	0.023 ± 0.002
Mühleberg, Rewag	0.165 ± 0.013	0.0040 ± 0.0013	0.060 ± 0.005	0.36 ± 0.04	0.024 ± 0.008
Mühleberg, Salvisberg	0.149 ± 0.013	0.0054 ± 0.0015	0.067 ± 0.010	0.45 ± 0.08	0.036 ± 0.010
Mühleberg, Ufem Horn	0.179 ± 0.020	< 0.0050	0.078 ± 0.012	0.44 ± 0.08	< LD
Mühleberg, Niederruntigen	0.027 ± 0.007	< 0.0040	0.014 ± 0.001	0.52 ± 0.14	< LD
Mühleberg, Oberruntigen	0.262 ± 0.017	0.0050 ± 0.0003	0.101 ± 0.008	0.39 ± 0.04	0.019 ± 0.002
Mühleberg, Fuchsenried	0.129 ± 0.011	< 0.0040	0.042 ± 0.009	0.33 ± 0.08	< LD
Mühleberg, KKW	0.145 ± 0.012	< 0.0043	0.040 ± 0.009	0.28 ± 0.07	< LD
Posieux	0.206 ± 0.019	0.0054 ± 0.0003	0.078 ± 0.012	0.38 ± 0.07	0.026 ± 0.003
Villigen (PSI)	0.133 ± 0.013	0.0044 ± 0.0019	0.052 ± 0.008	0.39 ± 0.07	0.033 ± 0.015
Würenlingen (ZWILAG)	0.171 ± 0.012	0.0041 ± 0.0016	0.065 ± 0.007	0.38 ± 0.04	0.024 ± 0.010
Caslano	0.104 ± 0.007	0.0035 ± 0.0012	0.050 ± 0.006	0.48 ± 0.06	0.034 ± 0.012
Stabio	0.536 ± 0.027	0.0153 ± 0.0006	0.300 ± 0.020	0.56 ± 0.05	0.029 ± 0.002
moyenne				0.42 ± 0.07 (n=18)	0.027 ± 0.005 (n=13)

La Figure 1 représente l'activité en nBq/m³ des filtres à air de différents sites en fonction de la quantité de cendres, normalisée au volume, obtenue lors de la calcination des filtres collectés sur l'année en cours (environ 52 filtres). Cette grandeur est une bonne approximation de la quantité de particules de sol remis en suspension et collectée par les filtres. On constate que l'activité mesurée sur les filtres à air est directement proportionnelle ($r^2= 0.92$) à la quantité de cendres (exprimée en µg/m³) contenue sur le filtre. Ce résultat

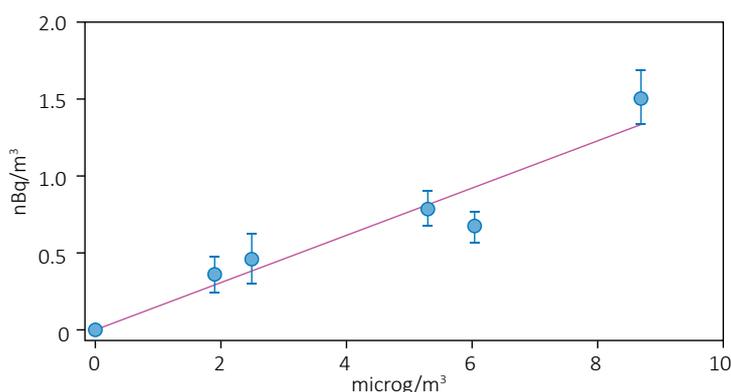


Figure 1 :
Activité en ²³⁹⁺²⁴⁰Pu des filtres à air (nBq/m³) en fonction de la quantité de cendres sur les filtres à air exprimée en µg/m³.

confirme que, sur le plateau suisse où la déposition de radioactivité suite aux essais nucléaires est relativement homogène, l'activité des filtres à air peut être estimée à partir de la quantité de cendres.

L'activité en ²⁴¹Am est également quantifiable sur les filtres à air (Tableau 2). Le rapport isotopique ²⁴¹Am/²³⁹⁺²⁴⁰Pu moyen de 0.59 ± 0.21 nBq/m³, proche de la valeur 0.40 malgré une incertitude voisine de 50%, confirme que ce radioélément provient également de la remise en suspension de particules de sol.

Comme en 2017, le site de Posieux montre l'activité en Pu la plus élevée (1.51 nBq/m³). C'est aussi pour ce site que la quantité de cendres après calcination des filtres à air est la plus élevée (8.7 µg/m³). De

manière similaire aux années précédentes, le site de Liebefeld présente une activité en Pu plus élevée lors du deuxième semestre, car le prélèvement est effectué principalement durant la saison sèche. La quantité de particules remises en suspension est de 6.8 µg/m³, contre seulement 5.3 µg/m³ pour la saison humide. L'activité la plus faible est observée pour le site de Mühleberg (0.36 nBq/m³) avec une quantité de particules de sol remises en suspension également la plus faible (1.9 µg/m³). Nous n'avons pas pu mettre en évidence la présence de ²³⁸Pu, car cette mesure nécessiterait la collection de plus de 5'000'000 de m³ d'air.

Tableau 2:

Activités (nBq/m³) en Pu et Am des filtres à air de grands volumes collectés en 2018 en Suisse. Les filtres hebdomadaires sont rassemblés pour former un échantillon annuel pour les mesures de plutonium et d'américium, ou dans certains cas, un échantillon semestriel (incertitudes à 95%).

Lieu	Volume m ³	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu nBq/m ³	²³⁸ Pu nBq/m ³	²⁴¹ Am nBq/m ³	²⁴¹ Am/ ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu
Leibstadt	553'678	0.46 ± 0.16	< 0.30	< 0.25	< LD
Mühleberg	583'903	0.36 ± 0.12	< 0.30	0.34 ± 0.10	0.96 ± 0.43
Klingnau	4'900'485	0.79 ± 0.11	< 0.08	0.36 ± 0.06	0.46 ± 0.09
Posieux	4'123'244	1.51 ± 0.17	< 0.10	0.91 ± 0.11	0.60 ± 0.10
Liebefeld, semestre 1	3'444'067	0.48 ± 0.06	< 0.05	0.21 ± 0.04	0.45 ± 0.10
Liebefeld, semestre 2	3'244'707	0.88 ± 0.10	< 0.07	0.45 ± 0.06	0.51 ± 0.09
moyenne					0.59 ± 0.21 (n=5)

Les activités des eaux de surface (eaux de rivière) et eaux souterraines sont présentées dans le tableau 3. Les valeurs d'activité sont très proches de celles mesurées en 2017. L'activité en ²³⁹⁺²⁴⁰Pu des eaux de surface n'a pas dépassé 3.5 mBq/m³ (Aar). Elle est restée inférieure à 4 mBq/m³ pour les eaux souterraines. Toutefois, pour les eaux souterraines, seuls 105 L ont été collectés, ce qui ne suffit en général pas à mesurer le Pu au-dessus de la limite de détection avec une méthode radiométrique comme la spectrométrie alpha (utilisée dans ce travail). L'activité du ²³⁸Pu est restée inférieure à la limite de détection dans tous les cas. Lorsque ²⁴¹Am a été mesuré au-dessus de la limite de détection, le rapport ²⁴¹Am/²³⁹⁺²⁴⁰Pu est resté proche de 0.40, indiquant ici aussi que l'origine de la contamination vient des essais nucléaires des années soixante, bien que la chimie en solution de ces deux éléments ne soit pas identique et peut provoquer un fractionnement des éléments.

D'une manière générale, les résultats montrent qu'il est nécessaire de prélever au moins 200 L d'eau de surface ou souterraine pour être en mesure de déterminer les activités en ²³⁹⁺²⁴⁰Pu et ²⁴¹Am avec une sensibilité suffisante pour des mesures par spectrométrie alpha. Nous recommandons ainsi qu'un volume d'au moins 200 L soit collecté par site en 2019.

Dans le Tableau 3, nous comparons également les valeurs obtenues dans ce travail par spectrométrie alpha avec les valeurs obtenues dans une étude spécifique de deux rivières de l'arc jurassien [5]. Lors de ce travail, l'échantillonnage était effectué par pompage de 50 L d'eau de rivière filtrée à 0.45 µm et par DGT. Les mesures de ²³⁹Pu et ²⁴⁰Pu ont été réalisées par spectrométrie de masse par accélération à l'ETHZ, une méthode beaucoup plus sensible que la spectrométrie alpha pour ces radioéléments. On constate que l'échantillonnage par pompage résulte en des activités situées dans un intervalle de valeurs comprises entre 0.39 et 3.9 mBq/m³ pour les deux rivières, alors que l'échantillonnage par DGT produit des résultats entre 1.3 et 1.5 mBq/m³ pour les deux sites, soit des valeurs intermédiaires. La technique DGT est une technique d'échantillonnage qui moyenne l'activité sur la période d'exposition du système DGT dans l'eau (2-3 semaines dans ce travail). Nous pensons que l'échantillonnage passif d'espèces bio-disponibles est une méthode plus représentative pour estimer le risque que représentent les actinides présents dans les systèmes aquatiques. En moyennant l'activité sur une longue période, il permet également d'intégrer des pics d'activité qui pourraient passer inaperçus, lorsqu'ils se produisent en dehors des périodes de pompage. En conséquence, cette technique pourrait être particulièrement utile et efficace pour la surveillance des milieux aquatiques lors du démantèlement d'installations nucléaires.

Les résultats des mesures effectuées sur différents échantillons de l'environnement collectés en aval des centrales nucléaires sont présentés dans le Tableau 4. Le ²³⁹⁺²⁴⁰Pu et l'²⁴¹Am sont mesurables au-dessus des limites de détection dans les plantes aquatiques et les sédiments (phase suspendue) de rivière. Les valeurs d'activité obtenues sont très proches de celles mesurées en 2017 pour ces deux types d'échantillons. Les rapports isotopiques ²⁴¹Am/²³⁹⁺²⁴⁰Pu observés sont proches de 0.40, indiquant dans ce cas également une contribution très majoritaire des retombées des essais nucléaires des années soixante. Pour tous les échantillons, ²³⁸Pu est resté en-dessous des limites de détection.

Tableau 3:

Activités (mBq/m³) en plutonium et américium des eaux collectées en Suisse en 2018 (incertitudes à 95%).

Type	Lieu	Volume [l]	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu mBq/m ³	²³⁸ Pu mBq/m ³	²⁴¹ Am mBq/m ³	²⁴¹ Am/ ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu
Eau de rivière	Rhône, Chancy, 26.09.2017-28.09.2018	248	1.0 ± 0.3	< 0.7	< 0.7	< LD
	Aar (Hagneck), janvier	220	2.2 ± 0.5	< 0.7	< 9.0	< LD
	Aar (Klingnau), mars	220	3.5 ± 0.8	< 1.0	1.6 ± 0.4	0.47 ± 0.16
	Rhin (Pratteln), mai- juin	205	2.4 ± 0.6	< 0.8	1.8 ± 0.1	0.76 ± 0.20
Eau souterraine	Aarberg, 20.06.2018	105	< 1.3	< 1.3	< 1.4	< LD
	Döttingen, 20.06.2018	105	< 1.4	< 1.4	< 1.3	< LD
	Pratteln, 20.06.2018	105	< 8.3	< 8.3	< 1.5	< LD
Eau de rivière	Venoge (réf. 5) Filtrée 0.45 µm C _{DGT}	50	0.43 - 3.4 1.5			
	Noiraigue (réf. 5) Filtrée 0.45 µm C _{DGT}	50	0.39 - 3.4 1.3			
Eau de pluie	Posieux	1'048	< 8.0 ¹⁾	< 8.0 ¹⁾	< 1.3	< LD
	Mühleberg	850	< 8.0 ¹⁾	< 8.0 ¹⁾	< 1.6	< LD
	Leibstadt	1'044	< 0.5	< 0.5	0.25 ± 0.07	< LD

¹⁾ Nous avons eu un problème de calcination imparfaite des résines et obtenu un rendement de séparation chimique bas.

Tableau 4:

Activités (mBq/kg Matières Sèches - MS) en plutonium et américium de différents échantillons aquatiques prélevés en 2018 en aval des centrales nucléaires suisses (incertitudes à 95%).

Type	Lieu	MS [g]	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu mBq/kg MS	²³⁸ Pu mBq/kg MS	²⁴¹ Am mBq/kg MS	²⁴¹ Am/ ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu
Plantes aquatiques	Aar (Hagneck), 17.10.2018	80.4	42 ± 5.0	< 3	17 ± 0.7	0.41 ± 0.05
	Aar (Klingnau), 17.10.2018	106	31 ± 3.0	< 1.4	13 ± 2.0	0.41 ± 0.07
	Rhin (Pratteln), 17.10.2018	51	102 ± 10	< 5	36 ± 2.0	0.35 ± 0.04
Sédiments	Aar (Hagneck), janvier		31.5 ± 3.9	< 3	12.2 ± 3.0	0.39 ± 0.10
	Aar (Klingnau), juin		45.9 ± 5.2	< 3	23.6 ± 4.0	0.51 ± 0.10
	Rhin (Pratteln), mai		70.3 ± 6.5	< 3	45.8 ± 5.6	0.65 ± 0.10
Poissons	Aar (Gösigen), 05.10.2017	33.4	< 10	< 10	< 5	< LD
	Rhin (Leibstadt), 16.07.2018	212	< 2	< 2	0.73 ± 0.02	< LD
	Aar (Mühleberg), 23.06.2018	61.5	< 40	< 40	< 20	< LD
	Aar (Gösigen), 28.11.2018	32.9	< 56	< 56	< 76	< LD
	Aar (Beznau), 14.08.2018	48.4	n.a	n.a	< 26	< LD
	Rhin (Leibstadt), 05.12.2018	33.0	n.a	n.a	< 69	< LD

Dans les poissons, seules des traces de ²⁴¹Am ont été mesurées dans un échantillon dont la masse sèche était presque 10 fois supérieure à ce que l'on reçoit au laboratoire habituellement. La valeur mesurée n'était que de 0.73 mBq/kg de masse sèche. L'activité en ²³⁹⁺²⁴⁰Pu est resté en-dessous de la limite de détection. Ceci indique qu'il est absolument nécessaire d'obtenir un échantillon le plus grand possible pour être en mesure de quantifier les actinides tels que Pu et Am dans ce type d'échantillon.

Conclusions

Les mesures de Pu et Am effectuées dans ce travail ont montré la persistance, à un niveau d'activité très faible (< 0.536 Bq/kg) de Pu et Am dans les sols de Suisse. Cette activité est bien fixée dans le sol et résulte

des retombées des essais nucléaires atmosphériques des années soixante. En conséquence, les activités en Pu et Am des filtres à air, issues de la remise en suspension de particules de sol, n'ont pas dépassé 1.5 nBq/m³. Le rapport isotopique moyen ²⁴¹Am/²³⁹⁺²⁴⁰Pu des filtres à air est identique à celui des sols, dans les limites des incertitudes de mesures, ce qui confirme que l'origine de la contamination est liée aux essais nucléaires des années soixante et à la remise en suspension de particules de sol. Ce fait est encore confirmé par la normalisation de l'activité des filtres à air par rapport à la masse de cendre obtenue après calcination des filtres. La masse de cendre est un bon estimateur de la quantité de particules de sol remise en suspension dans l'environnement du collecteur d'air. Plus cette quantité est élevée, plus l'activité en Pu et Am des filtres à air est élevée, ce qui confirme que l'on observe bien un phénomène de remise en suspension du sol par le vent.

Les activités des eaux de surface et des eaux souterraines sont similaires aux années précédentes et n'ont pas dépassé 3.5 mBq/m³. Pour ces mesures également, le rapport ²⁴¹Am/²³⁹⁺²⁴⁰Pu indique les essais nucléaires des années soixante comme origine de la contamination. Les mesures confirment également qu'il est nécessaire de collecter plus de 200L d'eau pour fournir des résultats en-dessus de la limite de détection de la mesure par spectrométrie alpha. De ce point de vue, un échantillonnage par système passif (DGT) suivi d'une mesure par spectrométrie de masse par accélération serait une solution plus représentative pour évaluer l'exposition à ces radioéléments. Dans le cas de la surveillance de l'environnement aquatique lors de démantèlement d'installations nucléaires, l'échantillonnage par DGT aurait l'avantage d'intégrer également les pics d'activité qui pourraient passer inaperçus lors d'un échantillonnage ponctuel par pompage.

Les mesures dans les sédiments en aval des centrales nucléaires n'ont pas montré de marquage propre aux rejets des centrales; l'activité provient également des retombées des essais nucléaires. Les plantes aquatiques montrent une activité en Pu compatible avec la présence de dépôt carbonaté enrichi en Pu sur la surface des feuilles et/ou avec le dépôt de particules de sédiments sur la surface des feuilles. Ces activités sont très similaires à celles déterminées durant cette dernière décennie sur ces mêmes échantillons. Les activités dans les poissons sont restées en-dessous des limites de détection à l'exception de ²⁴¹Am dans un échantillon pour lequel nous avons reçu une quantité environ 10 fois supérieure à l'habitude. Pour ces échantillons également, il est nécessaire d'augmenter la quantité collectée si l'on désire quantifier les activités en Pu et Am.

Dans l'ensemble, toutes ces mesures montrent qu'il est nécessaire de prélever des masses ou des volumes importants d'échantillons pour être en mesure de déterminer le plutonium et l'américium au-dessus des limites de détection de la spectrométrie alpha. Ce point est rassurant et montre que l'environnement en Suisse est actuellement sain en ce qui concerne la dissémination de ces deux radioéléments fortement radio-toxiques. Une augmentation significative de ces radioéléments dans l'environnement, liée aux activités de l'industrie nucléaire, devrait être ainsi facilement détectée.

Remerciements

Nous remercions l'OFSP, les laboratoires cantonaux et l'EAWAG pour le prélèvement des échantillons.

Références

- [1] Corcho Alvarado et al. Nature Communications, 2014, 5, article n° 3030.
- [2] Cusnir et al. A DGT Technique for Plutonium Bioavailability Measurements. Environ. Sci. Technol. 2014, 48, 10829–10834.
- [3] Cusnir et al. Speciation and Bioavailability Measurements of Environmental Plutonium Using Diffusion in Thin Films. JoVE-J. Visual. Exp. 2015, e-53188.
- [4] Cusnir et al. Probing the kinetic parameters of Pu-NOM interactions in freshwaters using the DGT technique. Environ. Sci. Technol. 2016, 103, 5103-5110.
- [5] Cusnir et al. Evidence of plutonium bioavailability in pristine freshwaters of a karst system of the Swiss Jura Mountains. Geochim. Cosmochim. Acta. 2017, 206, 30-37.
- [6] Luisier et al. A new method for the determination of plutonium and americium using high pressure microwave digestion and alpha-spectrometry or ICP-SMS. J. Radioanal. Nucl. Chem. 2009, 281,425–432.
- [7] Corcho Alvarado et al. (2008) Chapitre 7.2: Mesure de plutonium et d'américium dans l'environnement. Rapport «Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse», OFSP, 2009.

2018



Chapitre / Kapitel 8

Überwachung der Kernanlagen:
Emissionen und Immissionen

Surveillance des installations
nucléaires:
Emissions et Immissions

8.1

Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen

R. Habegger, A. Leupin, J. Löhle

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Industriestrasse 19, Brugg

Zusammenfassung

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser und der Abluft lagen im Jahr 2018 für die vier Schweizer Kernkraftwerke Beznau (KKB 1 und KKB 2), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) und Mühleberg (KKM) sowie für das Paul Scherrer Institut (PSI) und das am gleichen Standort gelegene Zentrale Zwischenlager Würenlingen (ZZL) deutlich unterhalb der Jahres- und Kurzzeit-Abgabelimite. Die aus den tatsächlichen Abgaben und der Direktstrahlung aus der jeweiligen Anlage errechnete Strahlenexposition liegt selbst unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren für Erwachsene, zehnjährige Kinder und Kleinkinder weit unterhalb des für Standorte von Kernanlagen festgelegten quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0.3 mSv pro Jahr.

Emissionen aus den Kernanlagen: Ergebnisse 2018

Die Abgaben von radioaktiven Stoffen mit der Abluft und dem Abwasser der schweizerischen Kernkraftwerke sind in der Figur 1a für die letzten fünf Jahre zusammen mit den entsprechenden Jahreslimiten dargestellt. Figur 1b enthält eine Aufschlüsselung der Abgaben der Kernkraftwerke nach Monat für die limitierten radioaktiven Abgaben. Tabelle 1 zeigt die in den Kernkraftwerken und im Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) gemessenen Abgabewerte sowie die unter ungünstigen Annahmen gemäss Richtlinie ENSI G14 errechneten Personendosen für Erwachsene, 10-jährige Kinder und Kleinkinder in der Umgebung der betreffenden Anlage im Jahr 2018. Die Abgaben des Paul Scherrer Instituts und die daraus in gleicher Weise berechneten Dosiswerte sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Eine nuklidspezifische Aufschlüsselung der Aktivitätsabgaben mit dem Abwasser ist in Tabelle 3a, mit der Abluft in den Tabellen 3b und 3c gegeben. Die Fussnoten zu den Tabellen geben Hinweise zu den Limiten, den Messungen und den bei der Berechnung der Jahresdosis verwendeten Annahmen. Figur 2 zeigt für die vier schweizerischen Kernkraftwerke den Verlauf der in der Umgebung berechneten Dosen für die meistbetroffenen Personen (nur Erwachsene) über die letzten 20 Jahre.

Alle Kernanlagen haben die vorgeschriebenen Jahres- und die Kurzzeitabgabelimite eingehalten. Zur Überprüfung der Messverfahren der Kernanlagen hat das ENSI an 179 Proben eigene gammaspektrometrische Messungen durchgeführt (inkl. Teilnahme an Ringvergleichen zur Sicherstellung der eigenen Messqualität). Dabei wurden Aerosol- und Iodfilter sowie Abwasserproben aus den Anlagen stichprobenweise analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die Abgabereglemente eingehalten werden.

Bei der monatlichen Aufschlüsselung der radioaktiven Abgaben aus den Werken (vgl. Figur 1b) ist bei den flüssigen Abgaben beim KKG die jährlich jeweils vor dem Revisionsstillstand durchgeführte Verwerfungsaktion für tritiumhaltiges Wasser erkennbar. Solche Abgaben sind bei den Druckwasserreaktoren systembedingt erforderlich, um den operationellen Strahlenschutz während der Revision zu optimieren.

Im Gegensatz zum KKG erfolgen die Tritiumabgaben bei den Druckwasserreaktoren des KKB über das ganze Jahr verteilt.

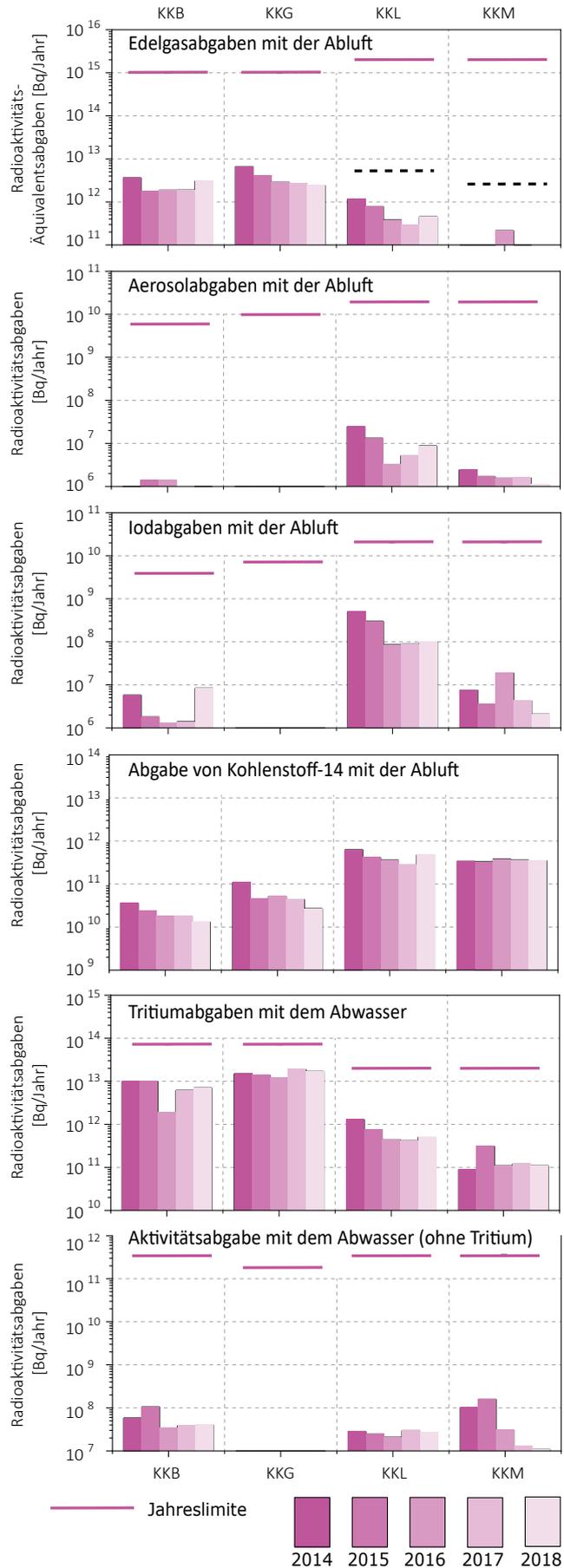
Die aus den Emissionen der Kernkraftwerke errechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in unmittelbarer Nähe der Anlage beträgt unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren beim KKB und KKG weniger als 0.001 mSv, bei KKL und KKM etwa 0.004 mSv. Die Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung betragen somit im Jahr 2018 nur einen Bruchteil des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0.3 mSv/Jahr.

Das PSI ist aufgrund der Bewilligung für die Abgabe radioaktiver Stoffe und die Direktstrahlung verpflichtet, sowohl für die einzelnen Anlagen als auch für die Gesamtanlage des PSI die aus den Abgaben resultierende Dosis in der Umgebung zu berechnen. Beim PSI errechnet das ENSI eine Jahresdosis für Einzelpersonen in der Umgebung von weniger als 0.007 mSv. Beinahe die gesamte Dosis ergibt sich im PSI durch die Abgabe von kurzlebigen radioaktiven Edelgasen aus den Teilchenbeschleunigern im West-Areal des Institutes. Die vom PSI und vom ENSI unabhängig voneinander durchgeführten Berechnungen zeigen, dass unter ungünstigen Annahmen die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung deutlich unterhalb des für das PSI bewilligten Anteils von 0.15 mSv pro Jahr am quellenbezogenen Dosisrichtwert für den gemeinsamen Standort des PSI und des ZZL liegt. Für das ZZL beträgt der bewilligte Anteil 0.05 mSv pro Jahr.

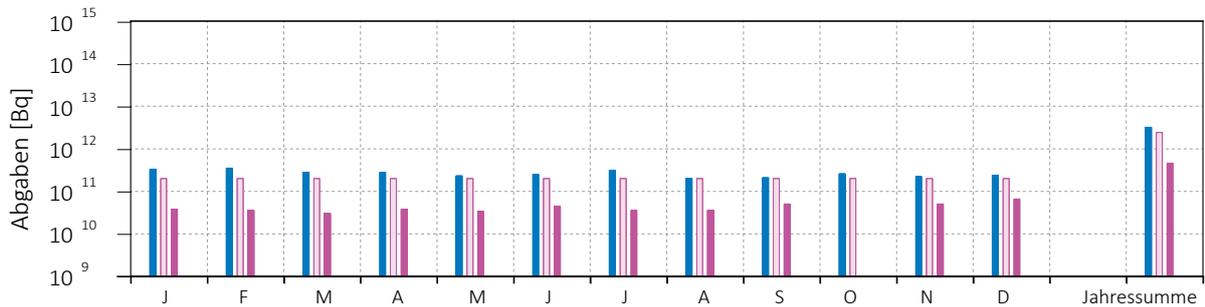
Die für das Jahr 2018 bilanzierten Abgaben des ZZL sind in den Tabellen 1 und 3a bis 3c zusammengestellt. Die aufgrund der Abgaben unter ungünstigen Annahmen berechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Umgebungsbevölkerung lag unterhalb von 0.001 mSv.

Fig 1.a:
Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre und mit dem Abwasser ins Flusswasser in den letzten fünf Jahren (2014 bis 2018) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimiten.

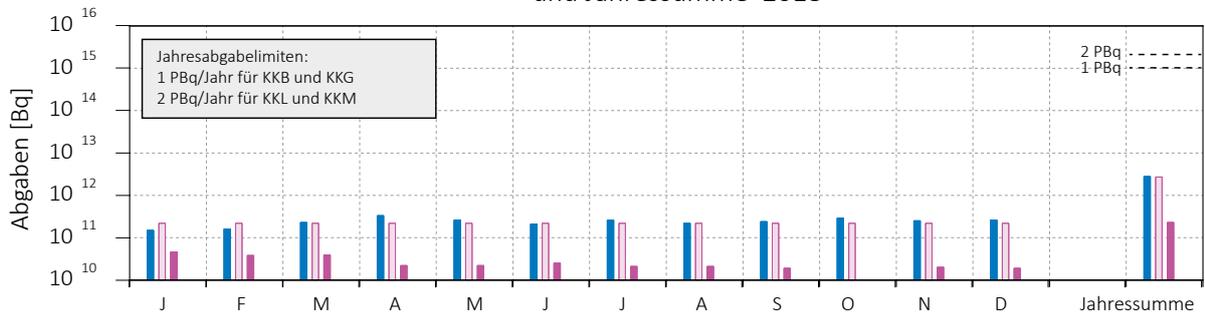
Angegeben ist für die jeweilige Nuklidgruppe und den Abgabepfad die Jahressumme der bei den einzelnen bilanzierenden Messungen durch die Kernkraftwerke ausgewiesenen Aktivitätsabgaben. Die Edelgasbilanzierung im KKB und im KKG basiert auf Beta-Totalmessungen. Für die Umrechnung in die für den Vergleich mit den Abgabelimiten notwendigen Edelgas-Abgabeäquivalente wurde in diesen Fällen ein konservatives Nuklidgemisch angesetzt. Das KKL und das KKM bilanzieren die Edelgase dagegen nuklidspezifisch mittels Gamma-Spektrometriemessungen. Die nuklidspezifischen Messungen liegen häufig unterhalb der Nachweisgrenze. Die gestrichelten Linien bei KKL und KKM stellen eine abgeschätzte obere Grenze der tatsächlichen Abgaben dar, falls die Edelgasaktivitäten jeweils knapp unterhalb der Nachweisgrenze liegen würden. Bei fehlenden Balken in den Figuren liegen die bilanzierten Werte unterhalb des dargestellten Wertebereichs.



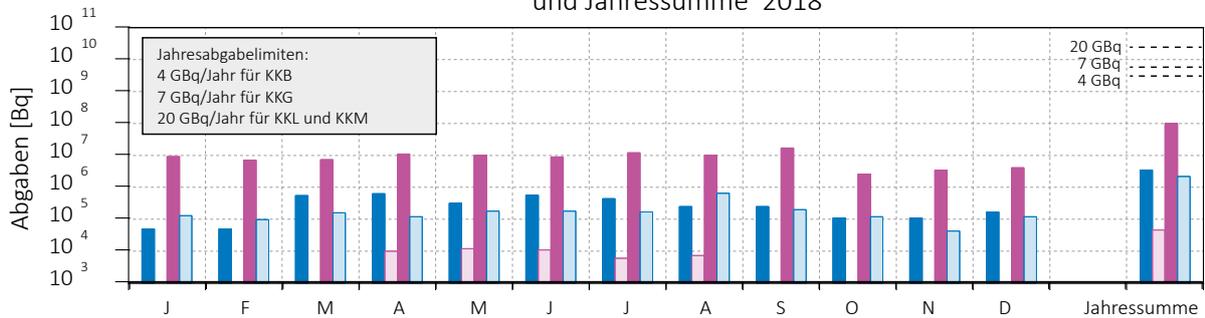
Monatliche **Edelgasabgaben** mit der Abluft aus den Kernkraftwerken
und Jahressumme 2018



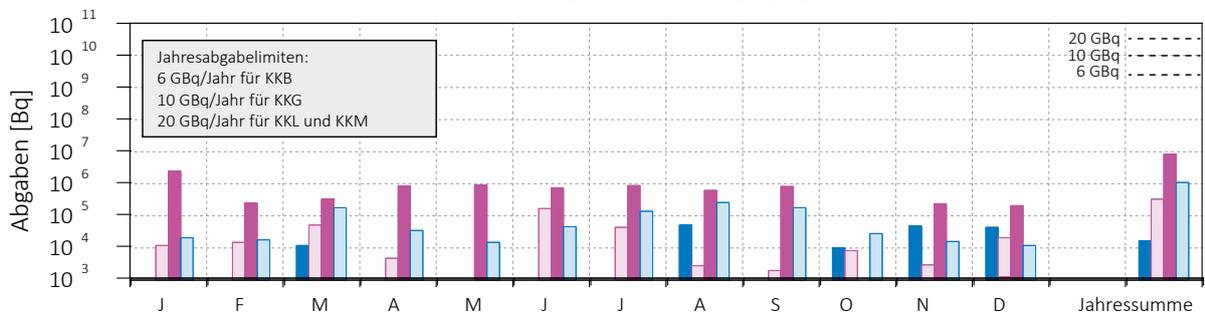
Monatliche **Äquivalent-Edelgasabgaben** mit der Abluft aus den Kernkraftwerken
und Jahressumme 2018



Monatliche **Abgaben von Iod-131** mit der Abluft aus den Kernkraftwerken
und Jahressumme 2018



Monatliche **Aerosolabgaben** mit der Abluft aus den Kernkraftwerken
und Jahressumme 2018



■ KKB
 ■ KKG
 ■ KKL
 ■ KKM

Fig 1.b (Teil 1):

Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre und das Abwasser im Jahr 2018 aufgeschlüsselt nach einzelnen Monaten. Bei fehlenden Balken in den Figuren liegen die bilanzierten Werte unterhalb des dargestellten Wertebereichs.

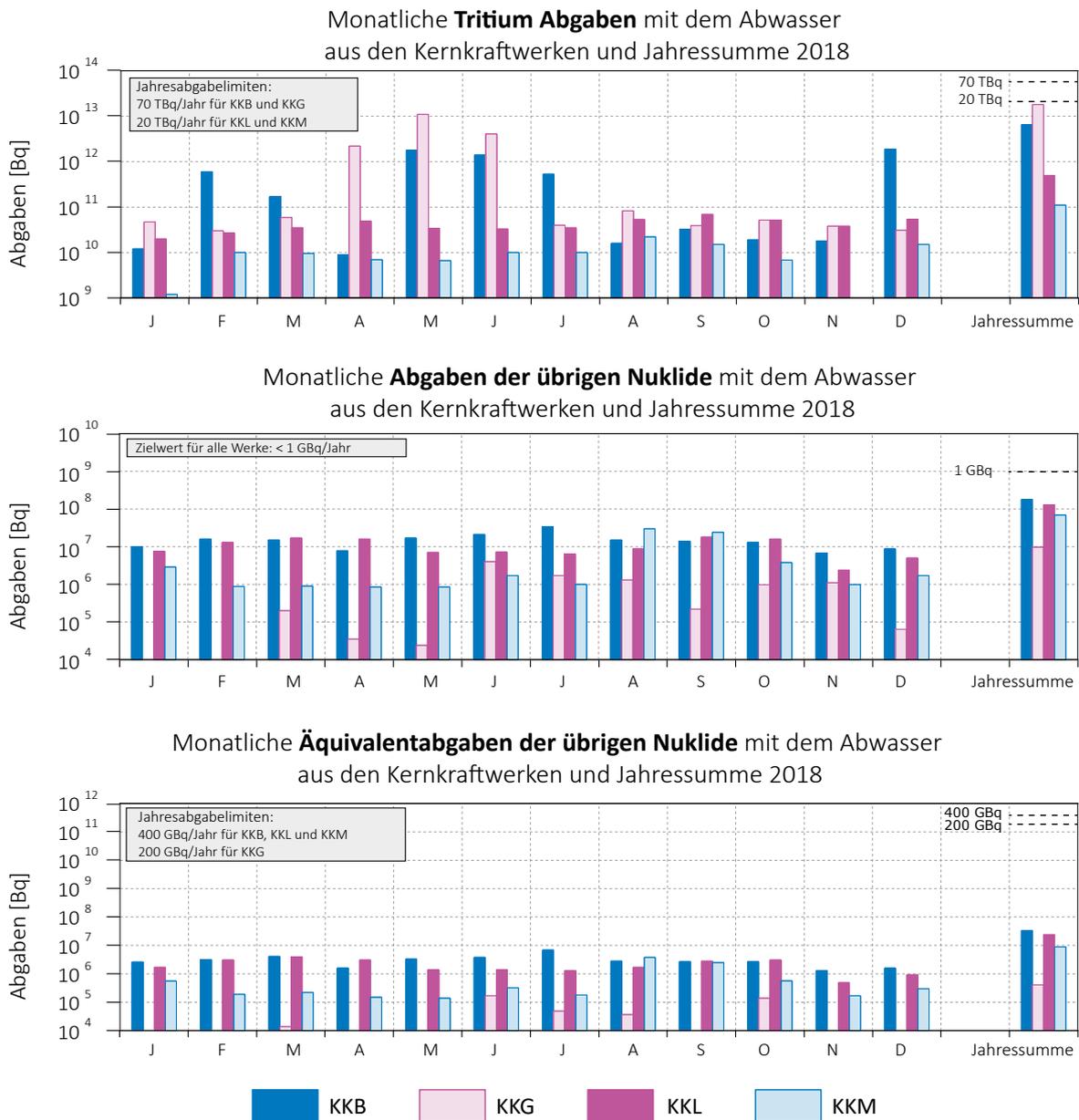
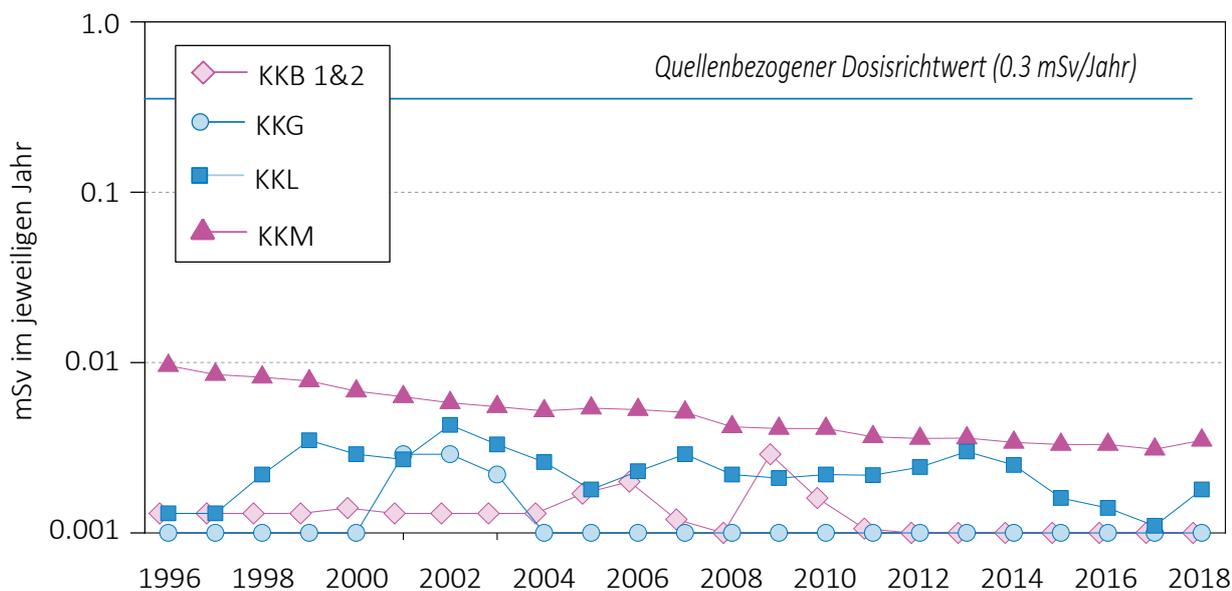


Fig 1.b (Teil 2):
Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre und das Abwasser im Jahr 2018 aufgeschlüsselt nach einzelnen Monaten.



Figur 2: Berechnete Dosen für die meistbetroffenen Personen (Erwachsene) in der Umgebung der schweizerischen KKW, d.h. eine erwachsene Person, die sich dauernd am kritischen Ort aufhält, ihre gesamte Nahrung von diesem Ort bezieht und nur Trinkwasser aus dem Fluss unterhalb des jeweiligen Kernkraftwerks konsumiert. An diesem Ort ist der Dosisbeitrag durch die Direktstrahlung aus den Kernkraftwerken vernachlässigbar. Werte kleiner als 0.001 mSv werden in der Figur als 0.001 mSv dargestellt.

Anlage/Block	Betrieb 2018	Typ	Leistung
KKB/Block 1	Leistungsbetrieb: 18.3-31.12. Stillstand: 1.1-18.3.	Druckwasserreaktor	365 MW
KKB/Block 2	Leistungsbetrieb: 1.1-26.6; 9.7-31.12. Revisionsstillstand: 26.6-9.7.	Druckwasserreaktor	365 MW
KKG	Leistungsbetrieb: 1.1.-2.6.; 23.6-31.12. Revisionsstillstand: 2.6.-23.6.	Druckwasserreaktor	985 MW
KKL	Leistungsbetrieb: 1.1.-15.9.; 03.11.-31.12. Revisionsstillstand: 16.9.-2.11.	Siedewasserreaktor	1'275 MW
KKM	Leistungsbetrieb: 1.1.-18.8.; 14.9.-31.12. Revisionsstillstand: 19.8.-13.9.	Siedewasserreaktor	373 MW

Figur 3: Betrieb der Kernanlagen 2018.

Tabelle 1:

Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2018 für die Kernkraftwerke und das Zentrale Zwischenlager Würenlingen und die daraus berechnete Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung. (Fussnoten siehe Text)

Ort	Medium	Art der Abgaben ¹	Bilanzierte Abgaben ²				Berechnete Jahresdosis ³		
			Messung	Normiert ^{1,2}	Limiten ⁴	Prozent der Limite	mSv/Jahr		
			Bq pro Jahr	Bq pro Jahr	Bq pro Jahr		Erw.	10j Kind	1j Kind
KKB1 + KKB2	Abwasser 3'200 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1.8·10 ⁸	-	4·10 ¹¹	<0.1%	<0.001	<0.001	<0.001
		Tritium	7.1·10 ¹²	-	7·10 ¹³	10 %	<0.001	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	3.2·10 ¹²	3.1·10 ¹²	1·10 ¹⁵	0.3%	<0.001	<0.001	<0.001
		Aerosole	1.6·10 ⁴	-	6·10 ⁹	<0.1%	<0.001	<0.001	<0.001
		Iod: ¹³¹ I	3.5·10 ⁶	-	4·10 ⁹	<0.1%	<0.001	<0.001	<0.001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	1.3·10 ¹⁰	-	-	-	<0.001	<0.001	<0.001
Dosis total						<0.001	<0.001	<0.001	
KKG	Abwasser 7'509 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1.2·10 ⁷	-	2·10 ¹¹	<0.1%	<0.001	<0.001	<0.001
		Tritium	1.7·10 ¹³	-	7·10 ¹³	25 %	<0.001	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	<2.4·10 ¹²	<2.5·10 ¹²	1·10 ¹⁵	<0.3%	<0.001	<0.001	<0.001
		Aerosole	3.3·10 ⁵	-	1·10 ¹⁰	<0.1%	<0.001	<0.001	<0.001
		Iod: ¹³¹ I	4.7·10 ⁴	-	7·10 ⁹	<0.1%	<0.001	<0.001	<0.001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	2.7·10 ¹⁰	-	-	-	<0.001	<0.001	<0.001
Dosis total						<0.001	<0.001	<0.001	
KKL	Abwasser 13'549 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1.2·10 ⁸	-	4·10 ¹¹	<0.1%	<0.001	<0.001	<0.001
		Tritium	5.0·10 ¹¹	-	2·10 ¹³	3 %	<0.001	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	4.6·10 ¹¹	-	2·10 ¹⁵	<0.1%	<0.001	<0.001	<0.001
		Aerosole	8.8·10 ⁶	-	2·10 ¹⁰	<0.1%	<0.001	<0.001	<0.001
		Iod: ¹³¹ I	1.0·10 ⁸	1.1·10 ⁸	2·10 ¹⁰	0.6 %	<0.001	<0.001	<0.001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	4.8·10 ¹¹	-	-	-	0.0018	0.0024	0.0040
Dosis total						0.0018	0.0024	0.0041	
KKM	Abwasser 2'347 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	6.9·10 ⁷	-	4·10 ¹¹	<0.1%	<0.001	<0.001	<0.001
		Tritium	1.1·10 ¹¹	-	2·10 ¹³	0.6%	<0.001	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	-	-	2·10 ¹⁵	<0.1%	<0.001	<0.001	<0.001
		Aerosole	1.1·10 ⁶	-	2·10 ¹⁰	<0.1%	0.0025	0.0024	0.0024
		Iod: ¹³¹ I	2.1·10 ⁶	-	2·10 ¹⁰	<0.1%	<0.001	<0.001	<0.001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	3.5·10 ¹¹	-	-	-	<0.001	0.0011	0.0019
Dosis total						0.0034	0.0036	0.0043	
ZZL	Abwasser 340 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	3.3·10 ⁸	-	2·10 ¹¹	<0.1%	<0.001	<0.001	<0.001
		Tritium	2.6·10 ¹⁰	-	-	-	<0.001	<0.001	<0.001
	Abluft	β-γ-Aerosole	2.7·10 ⁵	-	1·10 ⁹	<0.1%	<0.001	<0.001	<0.001
		α-Aerosole	1.0·10 ⁴	-	3·10 ⁷	-	<0.001	<0.001	<0.001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	1.2·10 ⁸	-	1·10 ¹²	<0.1%	<0.001	<0.001	<0.001
		Tritium	1.3·10 ¹⁰	-	1·10 ¹⁴	<0.1%	<0.001	<0.001	<0.001
Dosis total						<0.001	<0.001	<0.001	

Tabelle 2:

Zusammenstellung der Abgaben des Paul Scherrer Instituts im Jahr 2018 und der daraus berechneten Dosen für Einzelpersonen der Bevölkerung (Fussnoten siehe Text).

	PSI Ost				
	Hochkamin	Saphir, Proteus	Forschungslabor	Betriebs-Gebäude radioaktive Abfälle	Bund-zwischen-lager
Abgaben im Abwasser^{1,2} [Bq/a]					
Nuklidgemisch ohne Tritium	-	-	-	-	-
Tritium	-	-	-	-	-
Abgaben über die Abluft^{1,2} [Bq/a]					
Edelgase und andere Gase	2.0·10 ¹¹	-	-	-	-
β/γ-Aerosole, ohne Iod	2.3·10 ⁷	-	-	-	5.8·10 ⁴
α-Aerosole	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	1.5·10 ⁶	-	-	-	-
Tritium als HTO	3.2·10 ¹⁰	-	-	3.0·10 ¹⁰	8.7·10 ⁹
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	3.3·10 ⁶	-	-	4.7·10 ⁷	7.1·10 ⁶
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:					
Erwachsene	< 0.00015	< 0.00015	< 0.00015	< 0.00015	< 0.00015
Kind 10j	< 0.00015	< 0.00015	< 0.00015	< 0.00015	< 0.00015
Kleinkinder	< 0.00015	< 0.00015	< 0.00015	< 0.00015	< 0.00015
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert⁴	< 0.1%	< 0.1%	< 0.1%	< 0.1%	< 0.1%

	PSI West			Gesamtanlage des PSI ^{1,2}		
	Zentrale Fortluftanlagen	Injektor II	C-Labor	Abwasser 949 m ³	Abluft	Aequivalent-abgaben
Abgaben im Abwasser^{1,2} [Bq/a]						
Nuklidgemisch ohne Tritium	-	-	-	3.2·10 ⁸	-	8.4·10 ⁷
Tritium	-	-	-	8.4·10 ¹⁰	-	-
Abgaben über die Abluft^{2,4} [Bq/a]						
Edelgase und andere Gase	1.8·10 ¹⁴	2.8·10 ¹⁰	-	-	1.8·10 ¹⁴	7.7·10 ¹⁴
β/γ-Aerosole, ohne Iod	1.1·10 ¹⁰	5.1·10 ⁶	2.0·10 ⁴	-	1.1·10 ¹⁰	-
α-Aerosole	-	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	2.3·10 ⁷	-	-	-	8.5·10 ⁶	8.3·10 ⁶
Tritium als HTO	7.4·10 ¹¹	-	-	-	8.2·10 ¹¹	-
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	-	-	-	-	5.7·10 ⁷	-
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:						
Erwachsene	0.007	< 0.00015	< 0.00015	< 0.00015	< 0.007	< 0.007
Kind 10j	0.007	< 0.00015	< 0.00015	< 0.00015	< 0.007	< 0.007
Kleinkinder	0.007	< 0.00015	< 0.00015	< 0.00015	< 0.007	< 0.007
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert⁴	4.7 %	< 0.1%	< 0.1%	< 0.1%	< 5.0%	< 5.0%

Tabelle 3a:

Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 2018:

Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben.

Nuklid β/γ-Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
³ H	7.1·10 ¹²	1.7·10 ¹³	5.0·10 ¹¹	1.1·10 ¹¹	8.4·10 ¹⁰	2.6·10 ¹⁰
⁷ Be					2.8·10 ⁷	
²² Na					2.0·10 ⁶	5.7·10 ⁵
²⁴ Na	4.8·10 ⁵					
⁴⁴ Ti					1.8·10 ⁴	
⁴⁶ Sc					1.0·10 ⁵	
⁵¹ Cr	3.1·10 ⁵			6.3·10 ⁶	3.3·10 ⁵	2.0·10 ⁵
⁵⁴ Mn	1.1·10 ⁶		8.4·10 ⁶	1.4·10 ⁷	2.6·10 ⁶	1.0·10 ⁶
⁵⁶ Co					8.6·10 ⁴	
⁵⁷ Co					7.3·10 ⁵	
⁵⁸ Co	3.0·10 ⁶	9.3·10 ⁴		4.7·10 ⁶	3.9·10 ⁵	2.1·10 ⁴
⁶⁰ Co	5.4·10 ⁷	8.3·10 ⁵	1.1·10 ⁸	4.1·10 ⁷	1.1·10 ⁶	1.7·10 ⁷
⁶⁵ Zn	2.3·10 ⁵			1.8·10 ⁶	4.9·10 ⁶	
⁶⁷ Ga					6.9·10 ⁴	
^{69m} Zn		4.0·10 ⁴				
⁷⁵ Se					8.1·10 ⁴	
⁸³ Rb					1.2·10 ⁴	
⁸⁵ Sr					1.2·10 ⁴	
⁸⁸ Y					4.6·10 ⁴	
⁸⁹ Sr	1.6·10 ⁵			4.5·10 ³		
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	1.3·10 ⁶			2.5·10 ⁴	1.2·10 ⁷	1.2·10 ⁵
⁹⁵ Nb		9.1·10 ⁴				
^{99m} Tc	2.2·10 ⁴	1.1·10 ⁶				
^{110m} Ag	2.7·10 ⁶				2.4·10 ⁴	
¹¹¹ In					8.3·10 ⁴	
¹²² Sb	1.2·10 ⁵					
¹²⁴ Sb	1.1·10 ⁷	2.4·10 ⁵		1.5·10 ⁵	3.1·10 ⁵	8.4·10 ⁵
¹²⁵ Sb	1.8·10 ⁷					2.8·10 ⁷
^{123m} Te	1.0·10 ⁶	6.8·10 ⁶				
¹³² Te	1.6·10 ⁴	5.3·10 ⁵				
¹³¹ I	2.0·10 ⁶					
¹³² I		2.3·10 ⁶				
¹³³ I	2.4·10 ⁵					
¹³³ Ba					1.9·10 ⁴	
¹³⁴ Cs	1.2·10 ⁶				3.3·10 ⁶	5.1·10 ⁵
¹³⁷ Cs	8.1·10 ⁷		2.4·10 ⁶	1.1·10 ⁶	2.3·10 ⁸	2.8·10 ⁸
¹⁶⁰ Tb					3.3·10 ⁴	
¹⁶¹ Tb					3.6·10 ⁶	
¹⁶⁹ Yb					6.6·10 ⁴	
¹⁷² Lu					3.8·10 ⁵	
¹⁷³ Lu					1.8·10 ⁵	
¹⁷⁷ Lu					3.2·10 ⁷	
¹⁸⁵ Os					8.9·10 ⁴	
¹⁹⁵ Au					7.0·10 ⁵	
²⁰⁷ Pb					5.6·10 ⁴	
α-Strahler	*)	< 7.0·10⁴	2.0·10⁵	2.1·10⁴		*)
^{234/238} U					3.6·10 ⁴	
^{239/240} Pu	4.6·10 ³				2.2·10 ⁴	
²³⁸ Pu/ ²⁴¹ Am	2.8·10 ⁴				2.2·10 ⁴	
²³⁹ Np						
²⁴² Cm	5.7·10 ³					
^{243/244} Cm	6.3·10 ⁴					

*) Angabe umfasst für das KKB und ZZL das 4. Quartal 2017 bis und mit dem 3. Quartal 2018

Tabelle 3b:

Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, Edelgase und Iod 2018:
Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben.

Nuklid	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
Gase, Edelgase						
Tritium	5.7·10 ¹¹	5.7·10 ¹¹	4.2·10 ¹¹	2.7·10 ¹⁰	8.2·10 ¹¹	1.3·10 ¹⁰
¹⁴ C (CO ₂)	1.3·10 ¹⁰	2.7·10 ¹⁰	4.8·10 ¹¹	3.5·10 ¹¹	5.7·10 ⁷	1.2·10 ⁸
¹¹ C					2.8·10 ¹³	
¹³ N					2.9·10 ¹³	
¹⁵ O					1.2·10 ¹⁴	
¹⁸ F					9.2·10 ¹¹	
²⁴ Ne					1.6·10 ¹²	
⁴¹ Ar					4.1·10 ¹²	
⁸⁵ Kr			5.6·10 ¹⁰		2.0·10 ¹¹	
^{85m} Kr	1.1·10 ¹¹					
⁸⁸ Kr	1.9·10 ¹¹					
¹³³ Xe	1.6·10 ¹²		6.2·10 ¹⁰			
¹³⁵ Xe	1.3·10 ¹²		1.3·10 ¹¹			
^{135m} Xe			2.1·10 ¹¹			
EG-Aequiv.						
EG: β-total		< 2.4·10 ¹²				
Andere						
Iod						
¹²³ I					1.6·10 ⁷	
¹²⁵ I					8.4·10 ⁶	
¹³¹ I	3.5·10 ⁶	4.7·10 ⁴	1.1·10 ⁸	2.1·10 ⁶		
¹³³ I	2.4·10 ⁷					

von 2·10³ Bq/m³ normierte Abgabe aufgeführt.

Aerosole: Hier ist in jedem Fall die Summe der Radioaktivität ohne Normierung auf einen Referenzwert angegeben. Der Dosisbeitrag von Aerosolen mit Halbwertszeiten kleiner 8 Tagen ist bei den Kernkraftwerken vernachlässigbar.

Beim KKM ergibt sich der Hauptbeitrag zur Dosis durch die Strahlung der abgelagerten Aerosole, die im Jahre 1986 durch eine unkontrollierte Abgabe in die Umgebung gelangten. Die Abnahme des dadurch verursachten Dosisbeitrags über die Jahre ist in der Figur 2 deutlich erkennbar. Der leichte Anstieg in 2018 ist auf die Einführung neuer Dosisfaktoren für die externe Bodenstrahlung zurückzuführen. Der Dosisbeitrag der Aerosole, welche im Berichtsjahr abgegeben wurden, ist demgegenüber vernachlässigbar und liegt in der Größenordnung der anderen schweizerischen Kernkraftwerke.

Iod: Bei den Kernkraftwerken ist die Abgabe von ¹³¹I limitiert; somit ist bei den bilanzierten Abgaben nur dieses Iod-Isotop angegeben.

Beim PSI, bei dem andere Iod-Isotope nachgewiesen werden, ist die Abgabe für die einzelnen Abgabestellen und die Gesamtanlage als Summe der Aktivität der gemessenen Iod-Nuklide angegeben. Für die Gesamtabgabe wird zudem auch ein ¹³¹Iod-Aequivalent als gewichtete Summe der Aktivität der Iod-Nuklide angegeben, wobei sich der Gewichtungsfaktor aus dem Verhältnis des Ingestionsdosisfaktors des jeweiligen Nuklides zum Ingestionsdosisfaktor von ¹³¹I ergibt. Die Ingestionsdosisfaktoren sind der StSV entnommen. Für die Berechnung der Jahresdosis werden sowohl für die KKW wie für das PSI immer sämtliche verfügbaren Iod-Messungen verwendet, d.h. es ist beispielsweise für KKB auch der Beitrag von ¹³³I berücksichtigt.

Fussnoten zu den Tabellen 1 bis 3

[1] Bei der Art der Abgaben resp. den Bilanzierten Abgaben ist folgendes zu präzisieren:

Abwasser: Die Radioaktivität ist beim Vergleich mit den Abgabelimiten in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-Immissionsgrenzwert für Gewässer (IG_{Gw,ref}-Wert) von 10 Bq/l angegeben. Die Berechnung der IG_{Gw}-Werte für die einzelnen Nuklide ist dem Anhang 7 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. Die unnormierte Summe der Abwasserabgaben ist in der Spalte «Messung» angegeben.

Edelgase: Die Radioaktivität ist beim Vergleich mit den Abgabelimiten in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-Immissionsgrenzwert für die Luft (IG_{Lf,ref}-Wert) von 2·10³ Bq/m³ angegeben. Die Berechnung der IG_{Lf}-Werte für die Edelgasnuklide ist dem Anhang 7 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. Die unnormierte Summe der Edelgasabgaben ist in der Spalte «Messung» angegeben.

Beim KKG wird für die Bilanzierung der Edelgase eine β-total-Messung durchgeführt; für die Aequivalent-Umrechnung wurde in diesem Fall ein Gemisch von 80% ¹³³Xe, 10% ¹³⁵Xe und 10% ⁸⁸Kr angenommen.

Gase: Beim PSI handelt es sich dabei vorwiegend um die Nuklide ¹¹C, ¹³N, ¹⁵O und ⁴¹Ar. Deren Halbwertszeiten sind kleiner als zwei Stunden. Hier ist für die einzelnen Abgabestellen und das gesamte PSI die Summe der Radioaktivität dieser Gase und Edelgase ohne Normierung auf einen Referenzwert angegeben. Für die Gesamtanlage wird zusätzlich auch die auf den Referenz- IG_{Lf,ref}-Wert

Kohlenstoff ^{14}C : In den Tabellen ist der als Kohlendioxid vorliegende Anteil des ^{14}C , der für die Dosis relevant ist, angegeben. Die für ^{14}C angegebenen Werte basieren bei allen Werken auf aktuellen Messungen.

[2] Die **Messung der Abgaben** erfolgt nach den Erfordernissen der Reglemente «für die Abgaben radioaktiver Stoffe und die Überwachung von Radioaktivität und Direktstrahlung in der Umgebung des...» jeweiligen Kernkraftwerkes resp. des ZZL oder PSI. Die Messgenauigkeit beträgt ca. $\pm 50\%$. Abgaben unterhalb 0.1% der Jahresabgabelimite werden vom ENSI als nicht-relevant betrachtet und werden in der Spalte «Normiert» nicht ausgewiesen (-). Abgaben kleiner als 1'000 Bq werden in der Tabelle 3 nicht aufgeführt.

[3] Die **Jahresdosis** ist für Personen berechnet, die sich dauernd am kritischen Ort aufhalten, ihre gesamte Nahrung von diesem Ort beziehen und ihren gesamten Trinkwasserbedarf aus dem Fluss unterhalb der Anlage decken. Die Dosis wird mit den in der Richtlinie ENSI-G14 angegebenen Modellen und Parametern ermittelt. Dosiswerte kleiner als 0.001 mSv- entsprechend einer Dosis, die durch natürliche externe Strahlung in ca. zehn Stunden akkumuliert wird- werden in der Regel nicht angegeben. Beim PSI wird die Jahresdosis der Gesamtanlage als Summe über die Abgabestellen gebildet.

[4] **Abgabelimiten** gemäss Bewilligung der jeweiligen Kernanlage. Die Abgabelimiten wurden so festgelegt, dass die Jahresdosis für Personen in der Umgebung (vgl. Fussnote 3) für die Kernkraftwerke unter 0.3 mSv/Jahr respektive das Zentrale Zwischenlager in Würenlingen (ZZL) unter 0.05 mSv pro Jahr bleibt. Für das Paul Scherrer Institut (PSI) sind die Abgaben gemäss Bewilligung 6/2013 direkt über den quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0.15 mSv pro Jahr limitiert.

Tabelle 3c:

Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, Aerosole 2018:
Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben (Fussnoten siehe Text).

Nuklid β/γ -Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
^{38}S					$4.3 \cdot 10^8$	
^{39}Cl					$9.7 \cdot 10^9$	
^{51}Cr						
^{54}Mn		$5.8 \cdot 10^3$		$1.6 \cdot 10^5$		
^{57}Co		$3.6 \cdot 10^3$				
^{58}Co				$1.3 \cdot 10^5$		
^{60}Co	$1.2 \cdot 10^3$		$2.2 \cdot 10^5$	$7.2 \cdot 10^5$	$6.8 \cdot 10^5$	$2.7 \cdot 10^3$
^{65}Zn				$2.2 \cdot 10^4$		
^{77}Br					$2.1 \cdot 10^5$	
$^{80\text{m}}\text{Br}$					$1.8 \cdot 10^9$	
^{82}Br					$3.5 \cdot 10^8$	
^{89}Sr			$3.9 \cdot 10^5$			
^{90}Sr						
^{95}Nb				$3.9 \cdot 10^3$		
$^{99\text{m}}\text{Tc}$					$2.3 \cdot 10^7$	
^{103}Ru		$8.6 \cdot 10^3$				
$^{110\text{m}}\text{Ag}$		$1.3 \cdot 10^5$				
$^{123\text{m}}\text{Te}$		$9.1 \cdot 10^4$				
^{125}Sb						
^{131}I (Aerosol)		$4.3 \cdot 10^3$	$7.0 \cdot 10^6$			
^{134}Cs						
^{136}Cs						
^{137}Cs	$1.5 \cdot 10^4$			$3.1 \cdot 10^4$		$3.2 \cdot 10^3$
^{140}Ba			$5.5 \cdot 10^5$			
^{140}La			$6.4 \cdot 10^5$			
^{141}Ce		$1.4 \cdot 10^4$				
^{144}Ce		$7.7 \cdot 10^4$				
^{181}Re					$3.9 \cdot 10^7$	
^{182}Re					$1.1 \cdot 10^8$	
$^{182\text{m}}\text{Re}$					$2.5 \cdot 10^6$	
^{183}Re					$5.6 \cdot 10^6$	
^{182}Os					$1.3 \cdot 10^8$	
^{183}Os					$1.3 \cdot 10^8$	
$^{183\text{m}}\text{Os}$					$2.1 \cdot 10^8$	
^{185}Os					$1.0 \cdot 10^7$	
^{185}W					$2.9 \cdot 10^8$	
^{192}Au					$7.5 \cdot 10^8$	
^{193}Au					$6.5 \cdot 10^7$	
^{194}Au					$2.2 \cdot 10^5$	
^{192}Hg					$4.3 \cdot 10^8$	
$^{193\text{m}}\text{Hg}$					$1.4 \cdot 10^8$	
^{194}Hg					$2.2 \cdot 10^5$	
^{195}Hg					$5.1 \cdot 10^8$	
$^{195\text{m}}\text{Hg}$					$5.5 \cdot 10^7$	
$^{197\text{m}}\text{Hg}$					$6.9 \cdot 10^7$	
^{203}Hg					$4.5 \cdot 10^6$	
Nicht spezifizerte						$7.4 \cdot 10^4$
α -Aerosole	$4.6 \cdot 10^3$	$4.6 \cdot 10^4$		$2.2 \cdot 10^4$		$3.3 \cdot 10^3$

8.2

Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen

B. Bucher, R. Habegger, J. Löhle

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Industriestrasse 19, Brugg

Zusammenfassung

Die Ortsdosis, respektive die Ortsdosisleistung durch externe Strahlung werden bei den Kernanlagen und beim PSI mit dem MADUK-Messnetz (siehe Kapitel 8.3) und mit passiven Dosimetern (Thermolumineszenz-Dosimeter, TLD und Environmental Direct Ion Storage-Dosimeter, EDIS) in der Umgebung sowie am Arealzaun überwacht. Zusätzlich dazu führt das ENSI vierteljährlich stichprobenweise Dosisleistungsmessungen am Arealzaun sowie bei Bedarf spezielle Messkampagnen durch. In der Umgebung der Kernanlagen wurden dabei keine signifikanten Erhöhungen der Ortsdosis festgestellt, welche durch den Betrieb der Anlagen verursacht wurde. Die Messungen am Arealzaun bei KKL, KKM und PSI zeigten die erwarteten leicht erhöhten Ortsdosisleistungen.

Ergebnisse 2018

Die Ortsdosisleistung ist im Nahbereich (beispielsweise am Arealzaun) der Siedewasserreaktoren in Mühleberg und in Leibstadt durch Direkt- und Streustrahlung aus dem Maschinenhaus erhöht. Diese Strahlung resultiert aus dem radioaktiven Zerfall des kurzlebigen Stickstoffnuklids ^{16}N , welches im Reaktor produziert und bei Siedewasserreaktoren mit dem Dampf in die Turbine im Maschinenhaus getragen wird. Weiter können Abfalllager zu einer erhöhten Ortsdosis am Zaun beitragen.

Am Zaun des KKM wurden bei stichprobenweise vierteljährlich vom ENSI durchgeführten Messungen Dosisleistungen zwischen etwa $0.08 \mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und $0.2 \mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Auf ein Jahr hochgerechnet würde basierend auf dem maximalen Momentanwert am meist exponierten Ort eine Dosiserhöhung von ca. 1.1 mSv (ohne natürlichen Untergrund) resultieren. Die vom KKM ausgewerteten Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun ergeben für das Berichtsjahr nach Subtraktion des natürlichen Untergrundes von ca. 0.7 mSv eine Dosiserhöhung von etwa 1.1 mSv .

Am Zaun des KKL wurden bei vierteljährlichen Stichproben des ENSI während des Leistungsbetriebes Ortsdosisleistungen zwischen $0.06 \mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und $0.16 \mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes und unter Berücksichtigung der Betriebszeit am meist exponierten Ort einer Dosiserhöhung von ca. 0.9 mSv pro Jahr. Die höchste, mit den TLD am Zaun ermittelte Jahresdosis (nach Subtraktion des natürlichen Untergrundes von 0.6 mSv) beträgt 1.1 mSv .

Auf Grund der stichprobenweise vom ENSI gemessenen Ortsdosisleistung am Zaun des Paul Scherrer Instituts, Areal Ost ergibt sich hochgerechnet auf ein Jahr eine Ortsdosis von 0.3 mSv ohne natürlichen Untergrund. Im Jahr 2018 betrug der höchste, mit einem Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun des PSI ermittelte Wert ca. 0.23 mSv (nach Subtraktion des natürlichen Untergrundes von ca. 0.6 mSv).

Beim KKB und KKG wurde am Zaun weder mittels TLD resp. EDIS noch bei den vierteljährlichen Stichproben des ENSI eine signifikante Erhöhung der Ortsdosis über dem natürlichen Untergrund festgestellt.

Beim Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) konnte weder aus den stichprobenweise durchgeführten Dosisleistungsmessungen noch aufgrund der am Zaun positionierten TLD und Neutronendosimeter eine signifikante Erhöhung der Ortsdosisleistung festgestellt werden.

Die Messungen aller Betreiber und des ENSI gaben keinen Hinweis auf eine Verletzung der nach Art. 79 Absatz 2 der Strahlenschutzverordnung anzuwendenden Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Kraftwerksareals von 0.02 mSv pro Woche für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 0.1 mSv pro Woche für andere Bereiche.

8.3 MADUK

Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke

B. Bucher, R. Habegger, J. Löhle

Eidg. Nuklearsicherheitsinspektorat, Industriestrasse 19, Brugg

Zusammenfassung

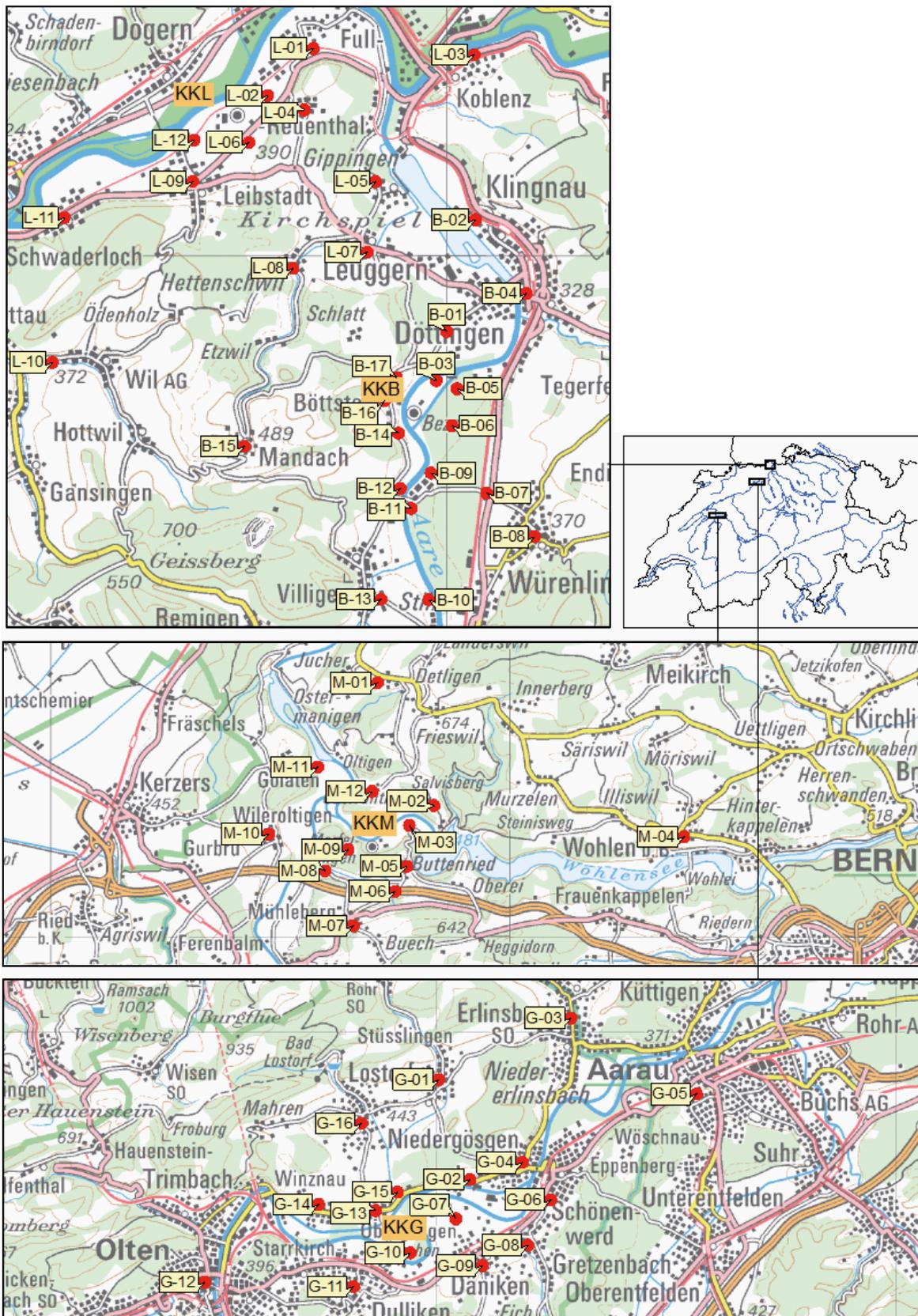
Das MADUK-System (Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke) misst und überwacht die Dosisleistung in der Umgebung der Kernkraftwerke ganzjährig rund um die Uhr. Es dient der Beweissicherung für die Behörden und zur Schaffung von Transparenz gegenüber der Öffentlichkeit. Ebenso ermöglicht es das Erkennen von Betriebsstörungen und Unfällen, da Erhöhungen gegenüber den natürlichen Dosiswerten im ENSI automatisch angezeigt werden.

Die Messwerte im Jahr 2018 lagen im üblichen Rahmen wie in früheren Jahren. Alle registrierten Erhöhungen waren bis auf eine Ausnahme auf Washout-Effekte natürlicher Radionuklide zurückzuführen. Bei der Station M-06 in Mühleberg wurde am 15. Juni um 09:50 Uhr ein einzelner erhöhter Ortsdosisleistungsmesswert von 296 nSv/h registriert. Ein Zusammenhang mit dem Betriebsverhalten von KKM konnte aufgrund der Emissionsdaten und der Routineausbreitungsrechnungen ausgeschlossen werden.

Übersicht

Das MADUK-Netz zur Messung der Dosisleistungen besteht aus insgesamt 57 Immissionsmessstationen in der Umgebung der vier Kernkraftwerke. Die Geiger-Müller-Zählrohre in den Sonden ermitteln die Gamma-Dosisleistung im Messbereich von 10 nSv/h (Niederdosiszählrohre) bis 10 Sv/h (Hochdosiszählrohr). Die MADUK-Zentrale des ENSI verarbeitet und archiviert die Daten, sorgt im Bedarfsfall für eine sofortige Alarmierung der ENSI-Notfallorganisation und sichert die Daten langfristig. Des Weiteren sorgen verschiedene Subsysteme für den Datenaustausch mit externen und internen Partnern: Nationale Alarmzentrale (NAZ) in Zürich, Kernreaktorfernüberwachung Baden-Württemberg sowie die Systeme ADAM und JRODOS/LASAT im ENSI. Die Darstellung B.1 zeigt die Standorte der der MADUK-Messsonden, welche das gesamtschweizerische Messnetz zur Radioaktivitätsüberwachung komplettieren.

Das MADUK-System wurde im Laufe des Jahres 1993 aufgebaut und ab Frühling 1994 in den operationellen Betrieb überführt. Da das System die Dosisleistung in der Umgebung der Kernkraftwerke ganzjährig rund um die Uhr misst und überwacht, dient es der Beweissicherung für die Behörden und zur Schaffung von Transparenz gegenüber der Öffentlichkeit. Erhöhungen gegenüber den natürlichen Dosisleistungswerten werden im ENSI automatisch angezeigt. Bei einem Störfall unterstützt MADUK die Notfallorganisation bei der Bestimmung des betroffenen Gebietes und bei der Beurteilung möglicher Massnahmen. Zudem trägt MADUK mit einem schnellen Datenaustausch zur erfolgreichen Zusammenarbeit mit den involvierten Behörden bei.



Figur 1:
Die vier Messringe von MADUK. Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.

Die Daten von MADUK können mit entsprechender Software im ENSI und in den Kernkraftwerken visualisiert werden. Auf der Internetseite www.ensi.ch unter Notfallschutz/Messwerte Radioaktivität sind alle seit 1994 archivierten Tages-, Stunden- und Zehnminutenmittelwerte der MADUK Stationen abrufbar.

Systeminstandhaltung und -ergänzung

Im Jahr 2018 wurde die Hardware der ANPA-/EMI-Erfassungsrechner in den vier Kernkraftwerksstandorten ersetzt und das Betriebssystem auf den aktuellen Stand gebracht. Für die Erneuerung der MADUK-Stationen erfolgte die WTO-Ausschreibung, welche Ende Jahr mit der Vertragsunterzeichnung erfolgreich abgeschlossen werden konnte. Die Umsetzung erfolgt in den Jahren 2019 und 2020.

Systemverfügbarkeit und Störungen

Die Systemverfügbarkeit ist bei MADUK von besonderer Bedeutung, da das System eine kontinuierliche Überwachung gewährleisten muss, die auch von der Öffentlichkeit wahrgenommen wird. Mit der Kenngrösse «Systemverfügbarkeit» wird die Einsatztauglichkeit des Gesamtsystems MADUK beurteilt: Systemstörungen, die zu wesentlichen Nutzungseinschränkungen des Systems geführt haben, werden als Ausfallzeit in Stunden erfasst.

Die permanente Übertragung der Anlageparameter erreichte insgesamt wiederum eine hohe Verfügbarkeit. Im Berichtsjahr führten geplante Unterhaltsarbeiten seitens der Werke zu Unterbrüchen von 1.5 Stunden bei KKG und 2.8 Stunden bei KKM. Der Ersatz der ENSI-Erfassungsrechner in den Werken konnte bei KKG und KKM ohne Unterbrüche durchgeführt werden, bei KKB1, KKB2 und KKL waren die Unterbrüche kürzer als eine Stunde. Ein defektes Kabel des Kommunikationsproviders verursachte für KKB1 und KKB2 einen Ausfall der Datenübertragung der ANPA- und EMI-Daten in die MADUK-Zentrale über 68 Stunden. Aufgrund der Datenhaltung vor Ort konnten die Daten nachträglich vollständig übernommen werden. Aufgrund eines Fehlers im Erfassungstreiber der MADUK-Zentrale für KKL wurden während 28.6 Stunden nur Nullwerte archiviert. Die korrekten Daten konnten nachträglich archiviert werden. Ein ähnlicher Fehler führte bei KKG zu einem Ausfall der Datenübernahme von einer Stunde. Bei KKM wurde zudem ein Unterbruch in der Datenübernahme von 1.7 Stunden registriert.

Die Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Störungen an den Messstationen mit Störungsdauer, permanentem Datenverlust und Ursache der Störung.

Tabelle 1:

Auflistung der Störungen bei den MADUK-Messstationen.

Station	Störungsdauer [h]	Permanenter Datenverlust [h]	Ursache
L-06	6.7	-	Stromunterbruch
B-14	9.5	9.5	Blockierter Datenlogger
L-05	2.0	2.0	Defekte Messsonde
M-08	67.3	67.3	Defekte Messsonde
M-01	2.6	2.6	Defekte Messsonde
B-01	20.5	20.5	Defekte Messsonde
M-02	7.3	7.3	Blockierter Datenlogger
M-10	10.0	10.0	Blockierter Datenlogger
G-03	251.8	251.8	Defektes Netzteil

Die Stationselektronik lief auch im 2018 grösstenteils zuverlässig. Es wurden im Vergleich zum Vorjahr deutlich weniger blockierte Datenlogger registriert. Die Station G-03 fiel aufgrund eines defekten Netzteils über die Weihnachtstage und Neujahr aus. Die Reparatur konnte erst anfangs Januar 2019 ausgeführt werden. Es verbleibt eine Datenlücke von 251.8 Stunden.

2018 waren wiederum diverse Kommunikationsunterbrüche zu den Messstationen von insgesamt 491.5 Stunden zu verzeichnen, deren Ursachen nicht immer ermittelt werden konnten. Insgesamt 408 Stunden bzw. je 68 Stunden pro Station entfallen auf den gleichzeitigen Kommunikationsunterbruch zu den Messstationen B-03, B-05, B-06, B-09, B-11 und B-12 aufgrund einer defekten Kommunikationsleitung, die auch für den oben erwähnten Unterbruch der ANPA- und EMI-Daten von KKB verantwortlich war. Bei der Station G-09 wurde bei Sanierungsarbeiten am Gebäude mit einer Kernbohrung die Kommunikationsleitung durchtrennt. Dies führte zu einem Kommunikationsunterbruch von 50.3 Stunden. Bei der Station B-16 war nach Wartungsarbeiten des Kommunikationsproviders während 22.8 Stunden keine Datenübertragung zwischen Station und Zentrale möglich. Bei allen Kommunikationsstörungen konnten die Daten nachträglich lückenlos archiviert werden.

Im Berichtsjahr lag die gemäss Managementhandbuch des ENSI bestimmte Systemverfügbarkeit bei 99.9% (Verfügbarkeit der ANPA- und EMI-Daten eingerechnet). Die Verfügbarkeit der Dosisleistungsdaten aller MADUK-Stationen im Archiv betrug 99.93%.

Qualitätssicherung

Die Aufgaben im Bereich der Qualitätssicherung basieren auf dem Qualitätsmanagementsystem des ENSI. Dadurch ist gewährleistet, dass alle Aufgaben im Zusammenhang mit dem Betrieb, der Wartung und der Instandhaltung/Erneuerung qualitätsgesichert und nachvollziehbar bearbeitet werden. Die wesentlichen qualitätssichernden Massnahmen werden im Folgenden beschrieben.

Gemäss Art. 2 der Verordnung des EJPD über Messmittel für ionisierende Strahlung (StMmV) wird jede MADUK-Sonde vor ihrem ersten Einsatz geeicht. Die Eichung hat eine dreijährige Gültigkeit. Das Ansprechvermögen der Sonden wird zwischen den Eichungen mit halbjährlichen Funktionstests geprüft. Bei den Funktionstests werden mit Hilfe einer Prüfquelle die Resultate der Niederdosis- und Hochdosis-Zählrohre überprüft. Mit einer ^{137}Cs -Quelle werden erhöhte Werte bei jeder Sonde während ca. 40 Minuten produziert und mit Sollwerten verglichen. Gleichzeitig wird diese Sondenfunktionskontrolle auch für die Überprüfung der Datenübermittlung, der korrekten Archivierung im MADUK-Datenarchiv sowie der Alarmauslösung gemäss den festgelegten Schwellenwerten benutzt. Im Jahr 2018 wurden zwei Funktionsprüfungen durchgeführt. Bei beiden Funktionsprüfungen erfüllten alle Sonden inklusive die Reservesonden die Prüfkriterien.

Als weitere qualitätssichernde Massnahme wurden auch im Jahr 2018 Messungen mittels In-Situ-Gammaspektrometrie bei den Sonden der Messringe Beznau und Mühleberg durchgeführt. Die Messwerte lagen im Bereich der früheren Jahre. Ausser ^{137}Cs vom Fallout aufgrund der bisherigen Atombombentests und des Tschernobyl-Unfalls konnten keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen werden.

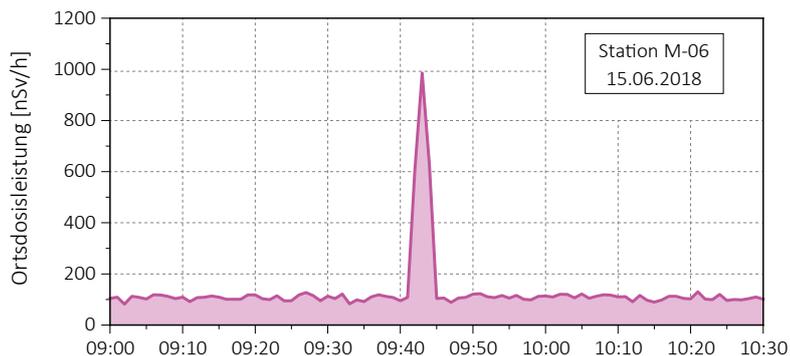
Messergebnisse

Im Jahr 2018 wurden insgesamt 26 Verletzungen des Nettodosisleistungsschwellenwertes von 50 nSv/h registriert (Tabelle 2). Davon waren 25 aufgrund von gleichzeitig registriertem Niederschlag und/oder dem für Radonfolgeprodukte typischen Abklingverhalten auf Washout von natürlichen Radionukliden zurückzuführen. Die Schwellenwertverletzung vom 15. Juni bei der Station M-06 entsprach nicht diesem typischen Muster. Um 09:50 Uhr lag der 10-Minuten-Mittelwert der Ortsdosisleistung bei 298 nSv/h, derjenige der Nettodosisleistung bei 184 nSv/h. Die 1-Minutenwerte zeigten einen Maximalwert von 985 nSv/h (Figur 2) und weisen insgesamt nur drei erhöhte Messwerte auf. Die Ergebnisse der routinemässig durchgeführten Ausbreitungsrechnungen für KKM zeigten zum entsprechenden Zeitpunkt eine Ausbreitung in Richtung Südwest.

Tabelle 2:

Auflistung der Nettodosisleistungsschwellenwertüberschreitungen im Jahr 2018.

Datum	Station	Dauer [h]	Max. NDL [nSv/h]	Max. ODL [nSv/h]
21.05.2018 19:40	B-04	0.2	52	156
21.05.2018 19:40	L-03	0.7	73	170
22.05.2018 20:30	L-09	0.5	57	169
22.05.2018 20:40	L-10	0.3	64	179
22.05.2018 20:20	L-11	1.0	76	191
22.05.2018 20:20	L-12	0.7	68	169
04.06.2018 19:40	G-14	0.5	62	192
04.06.2018 19:40	G-15	0.3	52	173
04.06.2018 19:40	G-16	0.2	68	182
08.06.2018 20:10	M-04	0.3	54	149
09.06.2018 19:30	L-08	0.2	51	185
15.06.2018 09:50	M-06	0.2	184	296
03.07.2018 07:30	M-04	0.3	53	186
03.07.2018 10:20	B-10	0.3	56	199
17.07.2018 13:40	B-02	0.5	57	151
17.07.2018 13:50	B-01	0.2	54	159
17.07.2018 20:30	M-04	0.5	57	157
20.07.2018 15:20	G-12	0.3	51	155
17.08.2018 16:40	G-12	0.7	66	167
17.08.2018 16:30	L-12	0.3	55	255
17.08.2018 16:30	L-06	0.3	64	231
17.08.2018 16:30	L-10	0.3	114	306
17.08.2018 16:30	B-15	0.3	76	202
13.09.2018 17:00	G-12	0.5	61	157
18.09.2018 21:00	L-10	1.2	100	260
27.10.2018 20:40	M-01	0.3	52	185

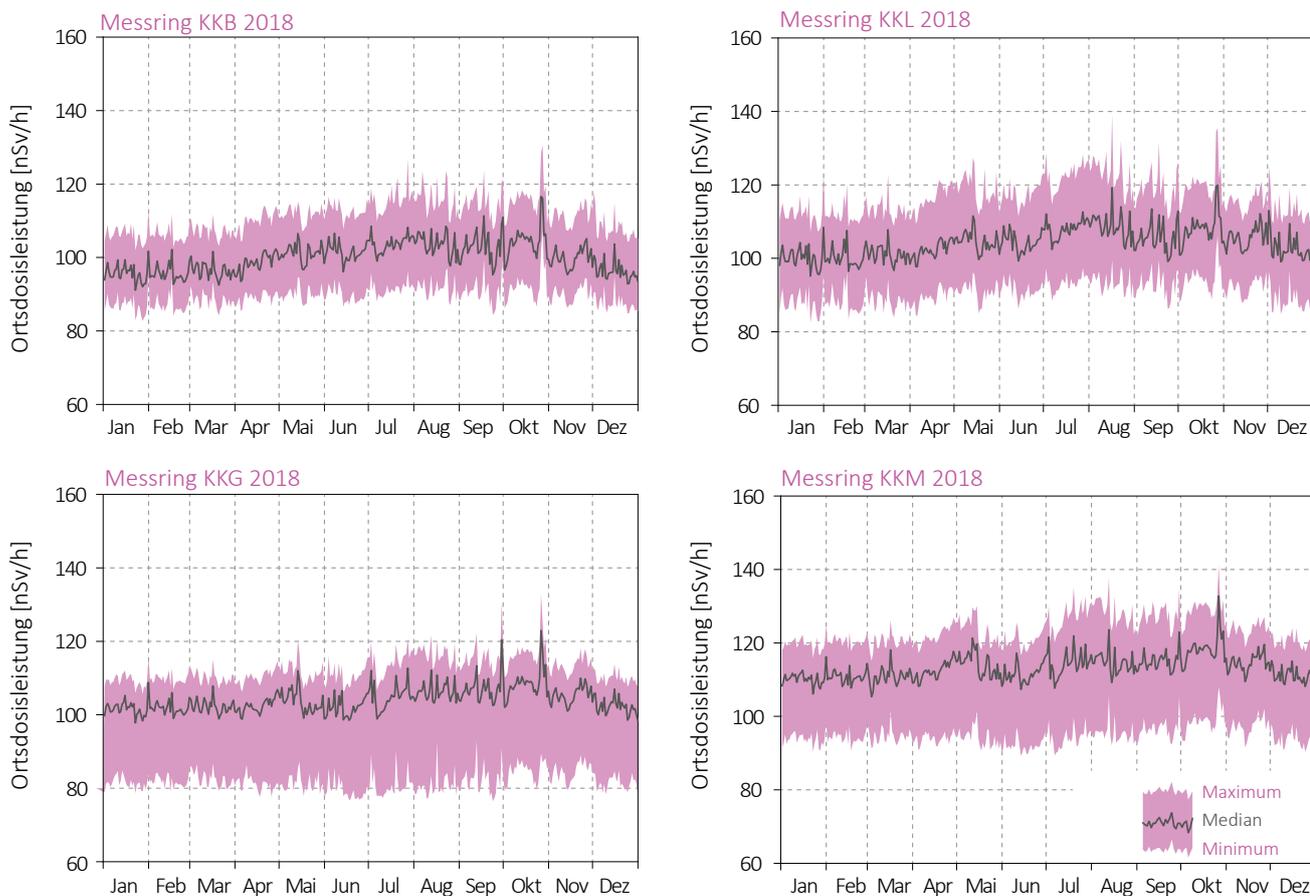


Figur 2:
Verlauf der gemessenen 1-Minuten-Messwerte an der Station M-06.

Die Station M-06 liegt in Richtung Südost von KKM. Ein Zusammenhang mit dem Betriebsverhalten von KKM, auch aufgrund der Emissionsdaten, konnte nicht hergestellt werden. Zum Zeitpunkt der Erhöhung befanden sich in unmittelbarer Nähe zur Messsonde ein Baustelleninstallationsplatz sowie eine Baustelle mit Rotlichtanlage auf der angrenzenden Strasse. Die Ursache für die Erhöhung konnte nicht abschliessend bestimmt werden, am wahrscheinlichsten ist eine Person, die sich zuvor einer Strahlentherapie oder PET-Untersuchung unterziehen musste.

Erhöhte Ortsdosisleistungswerte, die auf Abgaben der Kernkraftwerke zurückzuführen waren, wurden keine festgestellt.

Die Figur 3 zeigt die Maxima, die Minima und die Medianwerte der Tagesmittelwerte der jeweiligen Messringe im Berichtsjahr in den Umgebungen der Kernkraftwerke.



Figur 3:
Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKB, KKG, KKL und KKM im Jahr 2018.

8.4

Überwachung des zentralen Zwischenlagers (ZWILAG)

M. Jäggi, P. Kramer, H. Hauswirth, M. Heule
Paul Scherrer Institut, Villigen

Zusammenfassung

Seit 1997 führt das PSI im Rahmen der Immissionsüberwachung Radionuklidmessungen an Waldbodenproben und Staubfangplatten aus der Umgebung des Zwischenlagers für radioaktive Abfälle (ZWILAG Würenlingen) durch. Die Staubfangplatten sind mit Vaseline beschichtet und werden γ -spektrometrisch ausgewertet, wobei anthropogene Radionuklide wie ^{241}Am und ^{137}Cs sowie natürliche Radionuklide wie ^7Be , ^{210}Pb gemessen werden. Bei den Bodenproben folgt nach der γ -spektrometrischen Messung eine radiochemische Trennung zur Bestimmung von α - und β -Strahlern (^{90}Sr , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , und ^{244}Cm). Die Ergebnisse der γ -Spektrometrie zeigen einen deutlich abnehmenden Trend für das anthropogene Radionuklid ^{137}Cs von ca. 100 - 150 Bq/kg (im Jahr 1997) auf ca. 10 - 50 Bq/kg (2017-2018). Diese Abnahmen sind mit dem radioaktiven Zerfall (Halbwertszeit von ^{137}Cs beträgt 30.17 Jahre) und mit einer begrenzten Aufenthaltszeit in der oberen Bodenschicht zu erklären. Die Abnahmen für die anthropogenen Radioisotope ^{90}Sr und $^{239+240}\text{Pu}$ sind ähnlich signifikant, zumal diese Radionuklide schon sehr viel früher (Beginn der 60er Jahre des zwanzigsten Jahrhunderts) als Fallout der A-Bombentest in die Bodenschichten eingetragen wurden. So sanken die Aktivitätskonzentrationen für ^{90}Sr von 6 - 10 Bq/kg (1997) auf 1 - 3 Bq/kg und diejenigen für $^{239+240}\text{Pu}$ von 0.4 - 0.9 Bq/kg (1997) auf 0.2 - 0.8 Bq/kg im Jahr 2018. Die konstanten Isotopenverhältnisse von $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ (ca. 0.03) und $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ (ca. 0.4) zeigen deutlich, dass die gemessenen Werte für die Aktiniden den oberirdisch durchgeführten Kernwaffentests vor ca. 60 Jahren zuzuschreiben sind. In den Bodenproben wurden neben den anthropogenen Radionukliden auch typische Aktivitätskonzentrationen der U- und Th-Zerfallsreihen von 10 - 25 Bq/kg über die Gammastrahlung der Zerfallsprodukte von ^{226}Ra und ^{228}Ra nachgewiesen. Für das ebenfalls natürlich vorkommende Radioisotop ^{40}K wurden Aktivitätskonzentrationen zwischen 210 und 290 Bq/kg gemessen.

Einleitung

Das Zwischenlager (ZWILAG AG) für radioaktive Abfälle aus Kernkraftwerken wurde im Jahr 1999 in unmittelbarer Nähe zum Paul Scherrer Institut erstellt und anschliessend in Betrieb genommen. Um potentielle, geringfügige Radionuklid-Emissionen in der Umgebung des Areals aus Abgaben aus der Anlage feststellen zu können, wurden vor der Inbetriebnahme im Rahmen des Projektes Beweissicherung umfangreiche Radionuklid-Messungen an Bodenproben in der unmittelbaren Umgebung des Areals durchgeführt. (Details in [1]). Diese Analysen dienten der Erfassung der Konzentrationen kosmogener (z.B. ^7Be), terrestrischer (^{40}K sowie Radionuklide aus den U- und Th-Zerfallsreihen) und insbesondere anthropogener Radioisotope (^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{244}Cm und ^{131}I) resultierend aus Aerosol-Fallout infolge von

oberirdischen Kernwaffentests der 60er Jahre und der Chernobyl-Reaktorkatastrophe im Jahr 1986. Seit der Durchführung dieser Studie zur Beweissicherung werden im Routinebetrieb einmal jährlich an 4 Erhebungs-orten Waldbodenproben aus der oberen Schicht (0 - 5 cm) erhoben und im Labor auf ihren Radionuklid-Gehalt untersucht. Für die kontinuierliche Überwachung des Luftpfades wurden zusätzlich 4 Staubfangplatten an der Umzäunung des ZWILAG angebracht.

Radiochemische Trennmethoden (Boden)

Nach der Probenerhebung werden die Bodenproben zunächst getrocknet, gesiebt und in Aliquote von je ca. 30 g aufgeteilt. Vor der Analyse werden ^{243}Am - und ^{242}Pu -Tracer hinzugegeben. Nach der Nass- und Trocken-Veraschung wird die Probe in 6 M HCl unter Kochen während 1 Stunde ausgelaugt, so dass die oberflächlich adsorbierten Fallout-Produkte in Lösung gehen. Durch die Zugabe von H_2O_2 (Oxidationsmittel) beim Auslaugen, liegt das Plutonium vorwiegend als Pu^{4+} vor. Die Lösung, welche die Fraktionen von Pu, Am und Cm, aber auch U und Th enthält, wird sodann von der festen Phase über Filtration getrennt.

Diese Leach-Lösung wird auf eine DGATM- und eine Anionenaustauscher-Kolonnen (Bio-Rad AG 1-X2, 100-200 mesh) gegeben und durch Zugabe von HNO_3 und HCl-Waschlösungen werden potentiell bei der α -Spektrometrie interferierende, natürliche Radionuklide abgetrennt (z.B. α -Emission des natürlichen Radionuklids ^{228}Th interferiert mit dem künstlichen Radionuklid ^{238}Pu bei 5.4 MeV). Im folgenden Schritt wird die Pu-Fraktion durch Reduktion von Pu^{4+} zu Pu^{3+} mit einer HI/HCl-Lösung eluiert. Die durch die Bio-Rad-Kolonnen gelaufene Fraktion mit Am und Cm wird über 2 zusammengesteckte Kolonnen geführt, einer U/TEVATM-Kolonnen zur Retention von U und Th und einer DGATM-Kolonnen, die Am und Cm adsorbiert. Die Elution von Am/Cm erfolgt mit einer schwach-salzsäuren NaNO_2 Lösung. Da Am in sehr geringer Konzentration vorliegt, ist ein weiterer Purifikationsschritt, die Trennung von den Lanthanoiden mit einer TEVA-Säule notwendig. Die Fraktionen von Pu bzw. Am+Cm werden anschliessend eingedampft, kalziniert und in einer Na_2SO_4 - NaHSO_4 -Pufferlösung aufgenommen, die zur elektrolytischen Abscheidung von Actinoiden verwendet wird. Nach der Elektrodeposition werden die Messpräparate über 3 Tage mit hochauflösender α -Spektrometrie gemessen (alle Details in [1]).

Das Radionuklid ^{90}Sr (reiner β -Strahler) wird nach dem Leaching und einer Vorkonzentration via Oxalat-Fällung auf einer Sr-Resin-Kolonnen in 8 M HNO_3 -Medium fixiert und mit verdünnter Salpetersäure eluiert, eingedampft und in 2 ml Toluolsulfonsäure gelöst. Die Lösung wird mit der Szintillationsflüssigkeit Ultima GoldTM LLT vermischt und anschliessend im Flüssigszintillations-Spektrometer gemessen.

Staubfangplatten

Die 4 Staubfangplatten, eine pro Himmelsrichtung, befinden sich entlang der Umzäunung des ZWILAG-Areals. Die Probenerhebung erfolgt monatlich, d.h. die Staubfangplatten werden jeweils ausgewechselt. Im Labor wird die Vaseline von der Kunststoffplatte abgezogen und in einem Metallschälchen eingeschmolzen. Mittels hochauflösender Gamma-Spektrometrie werden Photonen-emittierende Radioisotope wie ^7Be , ^{241}Am , ^{137}Cs und ^{131}I gemessen. Die γ -Messung dauert 15 Stunden.

Niederschlag

In einem 14-tägigen Turnus wird das in diesem Zeitraum anfallende Niederschlagswasser aus dem Niederschlagssammler beim ZWILAG-Areal entnommen und ein neuer Probenbehälter platziert. 10 ml dieser Wasserproben werden für die Tritium-Messung verwendet und grossvolumige Monatsmischproben (ideal 6 Liter) werden für die Langzeit Gamma-Spektrometrie genommen. Gemessen werden anthropogene Radionuklide, wie ^{137}Cs für welches bei den Langzeitmessungen über 2 Tage Nachweisgrenzen von 0.04 Bq/Liter erreicht werden.



Figur 1 :
Staubfangplatte am Klingnauer
Stausee (Bild: P. Kramer)

Resultate und Diskussion

Die Resultate der Radionuklid-Messungen in Bodenproben sind in Tabelle 1 für die anthropogenen Radioisotope (^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am und ^{131}I) und natürlichen terrestrischen Isotope aus den U- und Th-Zerfallsreihen (^{226}Ra , ^{228}Ra) zusammengefasst.

Dargestellt ist der Streubereich der Probenmessungen aus den 4 Bodenentnahmestellen um das ZWILAG-Areal. Die Aktivitäten sind über die Zeit äusserst stabil und liegen auf sehr tiefem Niveau. Die Aktivitäten gewisser Nuklide liegen tiefer als die Nachweisgrenze des verwendeten Messverfahrens. Die typischen Aktivitätskonzentrationen von $^{239+240}\text{Pu}$ liegen derzeit zwischen 0.2 und 0.8 Bq/kg, diejenigen von ^{241}Am zwischen 0.1 und 0.3 Bq/kg. In Spuren ist noch ^{238}Pu nachweisbar (0.01 - 0.03 Bq/kg), während die Werte für das Spaltprodukt ^{90}Sr etwas höher sind (<1 - 3 Bq/kg). Signifikant darüber liegen die Resultate für ^{137}Cs (10-50 Bq/kg). Der Grund hierfür ist der Beitrag von Fallout-Caesium aus dem Chernobyl-Reaktorunfall. Über die Isotopenverhältnisse von $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ (im Mittel 0.4) und $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ (0.03 ± 0.01) kann gefolgert werden, dass der Beitrag der anthropogenen Actinoiden ausschliesslich aus den atmosphärischen Kernwaffentests vor ca. 60 Jahren stammt [1,2]. Tabelle 1 zeigt den Vergleich der Aktivitätskonzentrationen der Fallout-Radioisotope der letzten Jahre. Ebenfalls eingetragen sind die Werte für ^{226}Ra (als Mass für natürlich vorkommendes, primordiales ^{238}U) und ^{228}Ra (als Mass für ^{232}Th). Diese Werte liegen konstant zwischen 10 - 30 Bq/kg und zeigen keinen Trend mit der Zeit, da diese Radionuklide fest in den Kristallgittern der Bodenminerale eingebaut sind und im säkularen Gleichgewicht mit ihren langlebigen Mutternukliden stehen. Wenn man die Aktivitätskonzentrationen über die spezifischen Aktivitäten in Massenkonzentrationen umrechnet, ergeben sich für ^{238}U 2-3 ppm und für ^{232}Th 5-9 ppm, d.h. typische Werte für Böden und Gesteine der Erdkruste in der Schweiz.

Weniger aufwändig ist die Auswertung der Staubfangplatten. Mit der monatlichen Kontrolle ist praktisch eine kontinuierliche Überwachung möglich. Seit Beginn der Probennahme lagen die Werte für ^{137}Cs und ^{241}Am immer unter den Nachweisgrenzen von 0.3 bzw. 0.4 Bq/m². Die tiefe Nachweisgrenze für ^{241}Am von 0.4 Bq/m² ergibt sich aufgrund der Verwendung eines hochauflösenden Gamma-Spektrometers mit Be-Eintrittsfenster.

Bei den Regenwasserproben werden typischerweise ^3H -Aktivitäts-Konzentrationen von 1-12 Bq/Liter nachgewiesen, mit der Gammaskopimetrie konnten seit 1997 noch nie anthropogene Radionuklide wie ^{137}Cs oder ^{131}I nachgewiesen werden. Die Nachweisgrenze dieser Radionuklide liegt jeweils bei 0.03 Bq/Liter.

Tabelle 1:

Wertebereich für anthropogene Fallout-Isotope (^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am und ^{131}I) und natürlich vorkommende terrestrische Isotope (^{226}Ra , ^{228}Ra) im Verlauf der letzten Jahre (2014 - 2018) in Bodenproben Umgebung ZWILAG. Alle Werte in Bq/kg Trockengewicht.

Isotop	2014	2015	2016	2017	2018
^{90}Sr	1 - 3	1 - 3	<1 - 2	<1 - 2	<1 - 2.5
^{131}I	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
^{134}Cs (1)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
^{137}Cs	20 - 60	10 - 60	10 - 50	10 - 50	10 - 50
^{238}Pu	0.01 - 0.03	0.01 - 0.03	0.01 - 0.03	0.01 - 0.03	0.01 - 0.03
$^{239+240}\text{Pu}$	0.1 - 0.7	0.1 - 0.7	0.2 - 0.8	0.2 - 0.8	0.2 - 0.8
^{241}Am	0.1 - 0.3	0.1 - 0.3	0.1 - 0.3	0.1 - 0.3	0.1 - 0.3
^{226}Ra	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30	10 - 24
^{228}Ra	20 - 40	20 - 40	20 - 40	20 - 40	13 - 25

(1) Die Halbwertszeit von ^{134}Cs beträgt nur 2.06 Jahre, d.h. das Radioisotop konnte in den Jahren 2014-2018 als Fallout-Isotop nach dem Chernobyl-Ereignis von 1986 nicht mehr nachgewiesen werden.

Literaturliste

- [1] Eikenberg, J., Bajo, S., Hitz, J., Beer, H., Gann, C., Wyer, L und Ziegler, J. (2002) Spezialnuklid-Analysen für die Beweissicherung ZWILAG AG 1997-2001: Abschlussbericht der Immissionsmessungen. PSI-Bericht Nr. 02-15.
- [2] UNSCAER (2000), Sources and effects of ionising radiation. Report to the General Assembly, Volume 1, Annex C, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York.

8.5

Les installations nucléaires et l'environnement

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

Section radioactivité dans l'environnement, URA / OFSP, Berne

Résumé

Les méthodes de mesure, d'une grande sensibilité, mises en œuvre dans le cadre de la surveillance de la radioactivité au voisinage des centrales nucléaires ont permis de mettre en évidence les traces des rejets atmosphériques (^{14}C dans les feuillages) et des rejets liquides (^{60}Co et ^{54}Mn dans les sédiments) de ces installations. A noter qu'avec la diminution des activités rejetées dans l'Aar par la centrale de Mühleberg, les isotopes du cobalt ou le ^{54}Mn ne sont plus mesurables dans les eaux de l'Aar. La contribution du rayonnement direct a également été détectée en certains points de la clôture des centrales de Leibstadt et de Mühleberg. Les doses qui en résultent pour la population avoisinante sont toutefois restées nettement inférieures aux limites réglementaires et donc, sans danger pour la santé.

Hormis ces quelques exemples, les résultats des mesures environnementales sont similaires à ceux relevés dans les endroits situés hors de l'influence des installations nucléaires. Ils montrent que la radioactivité d'origine naturelle prédomine et que les contaminations détectables proviennent principalement des essais nucléaires des années 60 (^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$ et ^{241}Am) ainsi que de l'accident de Tchernobyl (^{137}Cs).

Introduction

Dans le but de préserver la santé de l'homme et l'environnement au voisinage des centrales nucléaires, l'OFSP poursuit depuis de longues années un programme spécifique de prélèvements d'échantillons et de mesures de la radioactivité. Celui-ci commence au terme source, par des analyses effectuées en parallèle par l'exploitant, l'IFSN et l'OFSP sur divers échantillons en phase de rejet (filtres à aérosols, à iode, gaz, eaux de rejet). Les exploitants sont par ailleurs tenus de mesurer le bilan de leurs émissions et de le communiquer chaque mois aux autorités.

La surveillance se poursuit par la mesure des immissions des centrales nucléaires (concentrations radioactives effectivement mesurées dans l'environnement). Tous les compartiments environnementaux sont examinés, de l'air jusqu'aux denrées alimentaires, en passant par les précipitations, le sol, l'herbe, les eaux superficielles et les sédiments. Des mesures sur site (spectrométrie gamma in situ) complètent ces analyses en permettant d'évaluer directement la radioactivité déposée au sol. Ce programme de surveillance, coordonné par l'OFSP, englobe non seulement les propres mesures de l'Office mais aussi celles des laboratoires cantonaux (denrées alimentaires), de l'Institut de radiophysique (mesures alpha et bêta), du laboratoire de Spiez (^{90}Sr dans les eaux de rejet), du PSI (dosimètres thermoluminescents, aéroradiométrie etc.), de l'EAWAG (Aar et Rhin), de l'université

de Berne (^{14}C et ^{85}Kr) et du LUBW (Baden-Württemberg), conformément au programme germano-suisse autour de la centrale nucléaire de Leibstadt. L'IFSN met également à disposition de l'OFSP un accès direct à son réseau MADUK, mesurant en continu le débit de dose ambiante au voisinage des centrales nucléaires. L'OFSP se doit ensuite de procéder à l'examen critique de l'ensemble de ces données pour évaluer de manière pertinente l'influence des centrales nucléaires sur la population avoisinante et l'environnement. Le présent chapitre résume l'ensemble des résultats obtenus dans le cadre de ce programme de surveillance des immissions au voisinage des installations nucléaires. Le tableau 1 indique les chapitres à consulter pour accéder aux résultats plus détaillés relatifs à un compartiment de l'environnement particulier ou un radionucléide spécifique.

Les immissions des centrales nucléaires étant parfois difficilement mesurables dans l'environnement, l'estimation de la dose au public repose avant tout sur les calculs effectués à partir des émissions des installations. En effet, les niveaux de radioactivité à la source permettent une détection plus aisée et plus exhaustive des radionucléides rejetés. Leur impact sur l'environnement et l'homme est ensuite déterminé sur la base de modèles de transfert, basés sur des hypothèses conservatrices. En complément, les mesures dans l'environnement servent à vérifier ces modèles et à établir un bilan local réaliste de la radioactivité naturelle et artificielle.

Méthodologie

Dans le cas d'un suivi de l'environnement, deux aspects peuvent être pris en compte : l'un radioécologique qui consiste à rechercher les meilleurs indicateurs de la contamination du milieu et l'autre dosimétrique, qui met l'accent sur ce qui peut contribuer aux doses de la population. La surveillance des installations nucléaires s'oriente sur ces deux aspects. Les méthodes de prélèvement et de traitement sont prescrites de manière à assurer une reproductibilité et à viser à concentrer un maximum de radioactivité dans un minimum de volume afin de pouvoir détecter la présence de radionucléides à très bas niveaux.

Résultats

Mesures à la source (émissions)

Les mesures parallèles de l'exploitant, de l'IFSN et de l'OFSP sur des échantillons liquides et gazeux prélevés en phase de rejet ainsi que le contrôle des rejets déclarés mensuellement aux autorités ont confirmé que les 4 centrales nucléaires suisses, à savoir Beznau (KKB 1 et 2), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) et Mühleberg (KKM) ainsi que l'institut Paul Scherrer (PSI) et l'entrepôt de stockage intermédiaire de déchets radioactifs (ZWILAG), situés sur le même site, ont respecté les limites réglementaires fixées pour les émissions en 2018 (voir Chap. 8.1).

La figure 1 présente l'impact des rejets sur la population (adulte) avoisinante en termes de doses entre 1981 et 2018. L'augmentation significative de 1986 au voisinage de la centrale nucléaire de Mühleberg est due à un rejet non contrôlé de poussières radioactives dans l'atmosphère. À partir des mesures de terre et d'herbe effectuées par la suite par la commission fédérale de surveillance de

Tableau 1

Tableau récapitulatif indiquant les chapitres du présent rapport à consulter pour accéder aux résultats détaillés de la surveillance du voisinage des installations nucléaires en fonction du compartiment environnemental (milieu) ou du radionucléide d'intérêt.

Milieu/Isotope	Chapitre
Exposition ambiante	8.2 - 8.3
Air/Aérosols (émetteurs γ)	4.1 - 4.2
Précipitations (γ , ^3H)	4.1
Milieu aquatique	4.4
Mesures in situ	3.1
Sol et herbe (γ , ^{90}Sr)	4.7
Sol (Pu, ^{241}Am)	7.2
^{14}C dans les feuillages	7.1
Denrées alimentaires	5

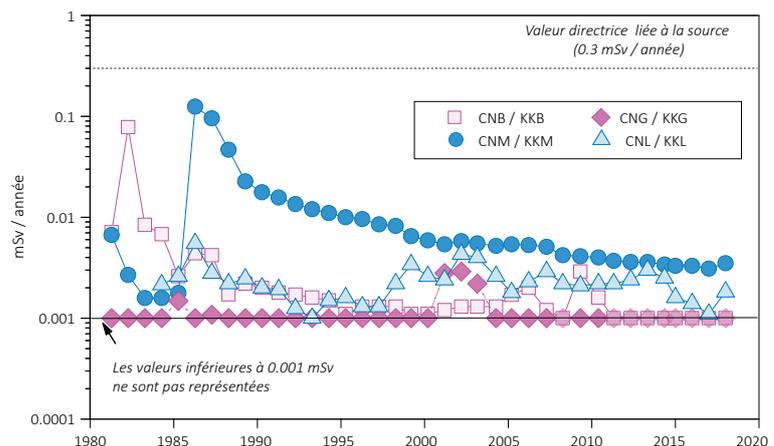


Figure 1:

Dose (calculée) due aux émissions des centrales nucléaires accumulée par la personne (adulte) la plus exposée dans le voisinage de chacune des centrales pour chaque année de 1981 à 2018 (données IFSN). La valeur directrice de dose liée à la source de 0.3 mSv/an (rayonnement direct compris) est représentée à titre de comparaison.

la radioactivité de l'époque, l'activité rejetée en septembre 1986 avait pu être estimée à 11 GBq (50% de ^{134}Cs , 40% de ^{137}Cs , 7% de ^{60}Co et quelques 3% de ^{65}Zn) et donc inférieure à la limite annuelle de 19 GBq. Comme le montre la figure 1, l'impact de ce rejet très localisé a constamment diminué depuis. En tenant compte des rejets des années précédentes, les doses dues aux émissions des centrales nucléaires reçues par les personnes adultes les plus exposées se sont échelonnées en 2018 entre < 0.001 mSv pour KKB et KKG, env. 0.002 mSv pour KKL et env. 0.003 pour KKM. Dans le cas des petits enfants (< 1 an), ces doses atteignent env. 0.004 mSv par an au voisinage de KKL et KKM. Pour ces installations, la contribution majeure provient des rejets atmosphériques : essentiellement du ^{14}C pour Leibstadt avec, en plus, à Mühleberg la contribution rémanente des résines rejetées en 1986. Notons que les doses reçues par les personnes les plus exposées vivant au voisinage des centrales nucléaires citées plus haut ont été calculées sur la base des rejets effectifs, en appliquant des modèles de dispersion et en tenant compte des temps de séjour, des habitudes alimentaires et de nombreux paramètres biologiques, physiologiques et environnementaux (voir directive G14 de l'IFSN pour plus de détails sur les modèles et paramètres utilisés).

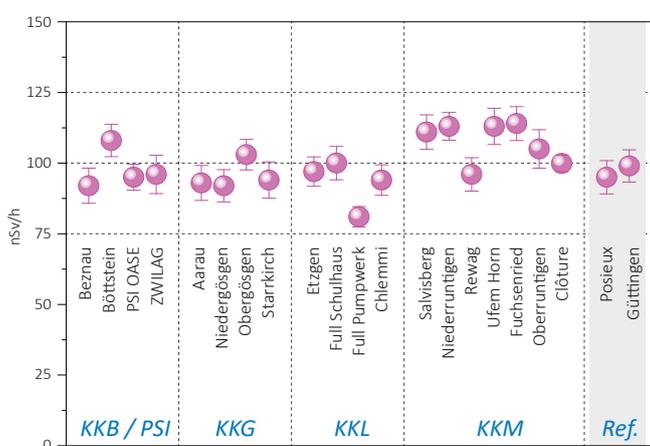


Figure 2: Contrôles du débit d'équivalent de dose ambiante $H^*(10)$ effectués en 2018 par l'OFSP au voisinage des installations nucléaires à l'aide d'une chambre d'ionisation placée à 1m du sol. Les valeurs mesurées à Posieux et Güttingen sont représentées à titre de comparaison (grisé).

Mesures de l'exposition ambiante

L'exposition ambiante au voisinage des installations nucléaires est surveillée en permanence par le réseau MADUK ainsi qu'à l'aide de dosimètres thermoluminescents (TLD) et par des mesures périodiques effectuées par l'IFSN à la clôture des installations. Les résultats de cette surveillance ont mis en évidence une contribution clairement mesurable du rayonnement direct en certains points de la clôture des réacteurs à eaux bouillantes, à savoir, Leibstadt et Mühleberg, ainsi que, dans une moindre mesure, au PSI (voir Chapitre 8.2). A Mühleberg, l'évaluation des TLD disposés à la clôture de la centrale a montré une élévation de la dose ambiante annuelle de 1.1 mSv (après soustraction du bruit de fond naturel qui s'élève à 0.7 mSv/an). La dose annuelle supplémentaire la plus élevée enregistrée à la clôture de la centrale de Leibstadt à l'aide des TLD atteint également 1.1 mSv (après soustraction du bruit de fond naturel de 0.6 mSv/an). Ces valeurs respectent l'Art.79 de l'ORaP sur la limitation des doses ambiantes en dehors des secteurs contrôlés et surveillés. En effet, cet article stipule que la

dose ambiante ne doit pas dépasser 0.02 mSv par semaine aux endroits situés à l'extérieur de ces secteurs où peuvent séjourner durablement des membres du public. Cette valeur peut être dépassée jusqu'à 5 fois (0.1 mSv/semaine) dans les endroits où personne ne séjourne durablement, comme c'est le cas à la clôture des centrales nucléaires. Il convient de relever qu'il s'agit ici de dose ambiante et non de dose à la personne, puisque le temps de séjour n'est pas considéré. Ces valeurs ne sont donc pas à mettre en relation avec la valeur directrice de dose liée à la source de 0.3 mSv/an puisqu'aucun membre du public ne réside durant de longues périodes en ces endroits.

Mesures dans le milieu atmosphérique

La surveillance du milieu atmosphérique comprend la mesure de la radioactivité dans les aérosols et les précipitations par l'OFSP et le PSI ainsi que l'analyse des dépôts sur plaques de vaseline par l'exploitant.

L'année 2018 a été une année de transition pour la surveillance de l'air (aérosols) au voisinage des centrales nucléaires. La plupart des stations du nouveau réseau automatique de mesure de la radioactivité dans l'air, URAnet aero (voir chapitre 4.2), dédiées à la surveillance de ces installations étaient déjà en fonction, mais le réseau n'a été officiellement mis en service qu'en automne 2018. Les anciens collecteurs à moyen débit (FWP) situés à proximité des centrales nucléaires ont donc été maintenus jusqu'en décembre 2018. Ces anciens collecteurs ont été démontés début 2019 et ne sont aujourd'hui plus en fonction. Si les limites de détection atteintes avec le réseau automatique de mesure URAnet aero sont environ 1'000 fois supérieures à celles atteintes après la mesure des filtres aérosols à moyens débit en laboratoire, il faut rappeler que le premier réseau fournit un résultat toutes les 12h, alors que les aérosols étaient collectés sur les filtres pendant

1 mois, puis mesurés pendant 1 à 2 jours en laboratoire, pour atteindre les performances mentionnées. Ce dispositif n'était pas assez réactif pour la surveillance de l'air au voisinage des centrales nucléaires. Par ailleurs, les limites de détection atteintes avec les sondes de mesure du réseau URANet aero après 12 h (p.ex 1 mBq/m³ pour le ¹³⁷Cs) sont très largement inférieures aux valeurs limite d'immissions selon l'ORaP (p.ex. 8.5 Bq/m³ pour le ¹³⁷Cs) et sont donc parfaitement compatibles avec les objectifs de surveillance fixés. Le rôle du réseau n'est en effet pas de mesurer les traces de radioactivité présentes dans l'environnement, rôle assuré par les stations du réseau HVS (High Volume Sampler), mais de mesurer en permanence les immissions dans l'air et permettre une évaluation réaliste des doses reçues par la population dans un délai compatible avec la survenue d'un incident.

Aucun radionucléide d'origine artificielle n'a pu être mis en évidence par le réseau URANet aero en 2018. Les activités du ¹³⁷Cs sont en effet restées inférieures à la limite de détection d'env. 1 mBq/m³ (pour une mesure de 12h). Les résultats 2018 des mesures mensuelles des filtres aérosols des collecteurs à moyen débit des environs des centrales nucléaires ainsi que du PSI ont confirmé la prédominance des radionucléides naturels ⁷Be et ²¹⁰Pb, avec des valeurs comprises respectivement entre 0.4 et 6.1 et entre 0.1 et 2.4 mBq/m³ (mesures OFSP et PSI). Le seul radionucléide d'origine artificielle détectés sur les filtres aérosols à moyen débit est le ¹³⁷Cs (valeur maximale de 1.4 ± 0.5 µBq/m³) et provient de la remise en suspension d'anciennes contaminations (essais d'armes atomiques des années 50 et 60 ainsi que l'accident de Tchernobyl). Ces concentrations sont comparables à celles enregistrées sur les sites de référence.

Aucun autre radionucléide d'origine artificielle n'a été décelé dans les filtres aérosols du voisinage des centrales nucléaires suisses en 2018. Toutefois des traces de ²⁴Na, radionucléide artificiel de courte période (demi-vie de 15h) produit par exemple dans les accélérateurs de particules, ont sporadiquement été mesurées sur les filtres à grand débit (HVS) de la station de Klingnau, située à quelques km de l'Institut Paul Scherrer. La concentration maximale mesurée s'élève à 71 ± 37 µBq/m³ et ne représente qu'une infime fraction de la valeur limite d'immissions dans l'air fixée dans l'ORaP à 48 Bq/m³.

Les activités des émetteurs gamma d'origine artificielle dans les échantillons de pluie collectés aux environs des centrales nucléaires de Mühleberg, Leibstadt, Gösgen et Beznau ainsi que ceux du voisinage du PSI et du ZWILAG sont toutes restées inférieures aux limites de détection, qui se situent entre de 0.4 à 3.0 mBq/l par exemple pour le ¹³⁷Cs.

Les résultats des mesures du tritium (³H) dans les échantillons mensuels de précipitations des environs des installations nucléaires sont résumés dans le tableau 2. Les concentrations de tritium mesurées dans les pluies du voisinage des centrales nucléaires et du ZWILAG sont généralement restées proches des seuils de détection de 1 à 2 Bq/l avec ponctuellement des valeurs légèrement plus élevées, notamment au voisinage de KKB. Une concentration mensuelle de tritium 84 Bq/l a été mesurée au voisinage du PSI en mars 2018. Si cette valeur est significativement plus élevée que celles habituellement mesurées dans les stations de référence, elle n'a que peu d'impact radiolo-

Tableau 2:

Tritium dans les précipitations au voisinage des installations nucléaires en 2018.

Lieu	Valeur min/max	Médiane
	(Bq/l)	(Bq/l)
Niederruntigen * (environs KKM)	< 2 - 3.1	-
Niedergösgen * (environs KKG)	< 2 - 2.6	-
Full (environs KKL) *	< 2 - 5.3	-
Beznau (environs KKB) **	< 1.7 - 19.2	5.6
PSI **	2.3 - 84	8.8
ZWILAG **	< 1.7 - 7.9	3.4

* mesures OFSP / ** mesures PSI

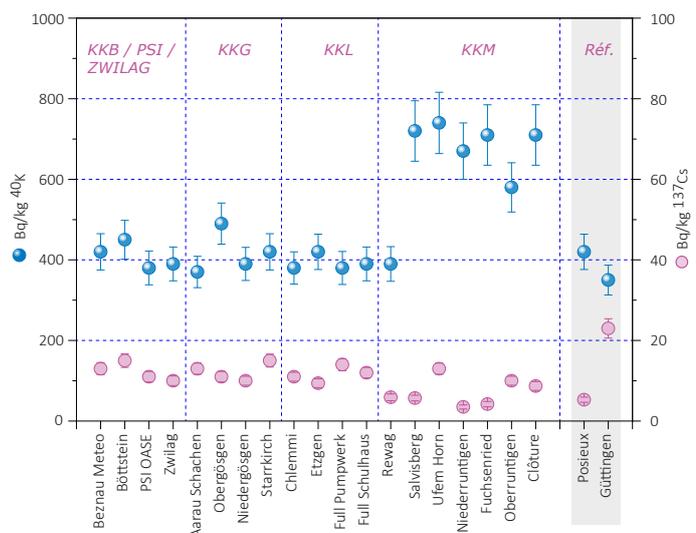


Figure 3:

¹³⁷Cs et ⁴⁰K (naturel) dans les sols secs et tamisés (2mm) analysés par l'OFSP en 2018 (couche 0-5 cm). Les valeurs mesurées à Posieux et Güttingen sont représentées à titre de comparaison (grisées).

gique puisque qu'une telle concentration ne représente que 0.4% de la valeur limite d'immissions fixée dans l'ORaP à 20'000 Bq/l pour le ^3H dans les eaux accessibles au public.

Pour le reste, un impact des rejets atmosphériques des centrales nucléaires est avant tout perceptible pour le ^{14}C . Les mesures de ce radionucléide dans les feuillages, poursuivies depuis de nombreuses années par l'université de Berne, ont ainsi mis en évidence en 2018 une augmentation maximale, par rapport à la valeur de référence pour la Suisse, de 94 pour mille aux environs de la centrale de Leibstadt et de 91 pour mille aux environs de la centrale de Mühleberg. Ces valeurs, en particulier pour Leibstadt, sont bien inférieures à celles enregistrées au cours des années précédentes. Les doses supplémentaires qui en résultent par ingestion de denrées alimentaires locales sont ainsi très faibles, de l'ordre de 1 micro-Sv par an. L'intérêt des mesures de ^{14}C se situe aussi dans l'utilisation de ce traceur atmosphérique pour affiner la modélisation de la dispersion atmosphérique.

Mesures dans le milieu terrestre

L'impact des rejets atmosphériques sur le milieu terrestre est avant tout déterminé par des mesures dans l'herbe et le sol, qui constitue un excellent intégrateur de pollution et permet de tenir compte des phénomènes d'accumulation à long terme. Les résultats enregistrés en 2018 pour les échantillons de sol et de plantes prélevés au voisinage des installations nucléaires montrent à nouveau que la radioactivité d'origine naturelle prédomine et que la radioactivité d'origine artificielle (^{137}Cs , ^{90}Sr , Pu et Am) provient principalement des essais nucléaires des années 60 et de l'accident de Tchernobyl. La figure 3 présente à titre d'exemple la contamination rémanente en ^{137}Cs dans les sols prélevés par l'OFSP au voisinage des installations nucléaires en 2018. Afin de caractériser les sites du point de vue des contributions individuelles à l'exposition externe du public, l'OFSP procède depuis les années 80 à des mesures par spectrométrie gamma in situ. Les résultats correspondants confirment les résultats précédents et montrent que les valeurs enregistrées au voisinage des installations nucléaires ne se distinguent pas de celles mesurées sur les sites de référence.

Afin de pouvoir évaluer l'impact radiologique éventuel des travaux de désaffectation de la centrale nucléaire de Mühleberg qui débuteront début 2020, un programme de mesures complémentaires a été initié en 2017 par l'IFSN et l'OFSP pour une durée de 3 ans. La situation radiologique au voisinage de la centrale nucléaire de Mühleberg est généralement bien connue étant donné que le site fait l'objet d'une surveillance régulière depuis le début de la période d'exploitation de la centrale. Toutefois, des radionucléides spéciaux, qui n'ont jamais ou sporadiquement été analysés dans les échantillons environnementaux en régime d'exploitation sont susceptibles d'être émis ou de devenir prépondérants au cours des travaux de désaffectation. Ce programme comprend donc l'analyse de radionucléides spéciaux (^{63}Ni , émetteurs alpha, ^3H) dans le milieu terrestre (sol, denrées alimentaires) et aquatique (sédiments), mais également des mesures in situ supplémentaires, sur des sites situés à proximité immédiate de la centrale. En effet, contrairement à un rejet éventuel par voie atmosphérique tel qu'il pourrait se produire en période d'exploitation, l'éventuel impact des travaux de désaffectation devrait être plus localisé dans un périmètre restreint. Les résultats de l'ensemble de ce programme de mesures « Point zéro Désaffectation » fera l'objet d'un rapport détaillé qui sera publié à l'issue des 3 ans de surveillance renforcée.

Les denrées alimentaires constituent le prochain maillon susceptible de transférer les radionucléides jusqu'à l'homme. Les résultats des mesures de la radioactivité dans les aliments, coordonnées par l'OFSP en étroite collaboration avec les laboratoires cantonaux, n'ont pas révélé de marquage attribuable à l'exploitation des centrales nucléaires. Les mesures additionnelles de l'OFSP, en particulier celles du programme germano-suisse au voisinage de Leibstadt dans les produits agricoles et les poissons ont confirmé ce constat, puisqu'aucun émetteur gamma d'origine artificielle, hormis des traces de ^{137}Cs attribuable à d'anciennes contaminations (valeurs voisines des limites de détection), n'a été décelé dans ces échantillons. Les résultats des mesures de ^{90}Sr effectuées par l'Institut de Radiophysique dans des échantillons de lait et de céréales prélevés au voisinage des centrales nucléaires ainsi que de fruits et légumes prélevés au voisinage de Leibstadt ne diffèrent pas de ceux enregistrés ailleurs sur le plateau suisse.

Mesures dans le milieu aquatique

L'EAWAG procède à des analyses mensuelles d'échantillons d'eau de l'Aar et du Rhin collectés en continu, et de manière proportionnelle au débit, aux stations de Hagneck/BE (en aval de KKM), Klingnau (aval de KKB) et Pratteln (aval KKL). Depuis la réduction significative des rejets par la centrale de Beznau 1 il y a une

dizaine d'années, la majeure partie des produits d'activation tels que le ^{54}Mn , le ^{58}Co et le ^{60}Co était rejetée dans les eaux fluviales par la centrale de Mühleberg. Mais depuis 2016 les activités rejetées (hors tritium) par la centrale nucléaire de Mühleberg ont à leur tour significativement baissé à tel point qu'elles sont depuis 2017 inférieures à celles rejetées par les centrales de Beznau et de Leibstadt. A noter que depuis 2016 toutes les centrales nucléaires suisses respectent la valeur cible de rejet de 1GBq/an pour les rejets de substances radioactives (hors tritium) dans les cours d'eau. Comme corolaire à cette diminution des rejets, aucune trace de ^{54}Mn ou des isotopes du cobalt n'a plus été mise en évidence dans les échantillons d'eau de l'Aar ou du Rhin, que ce soit à Hagneck, Klingnau ou Pratteln depuis 2016.

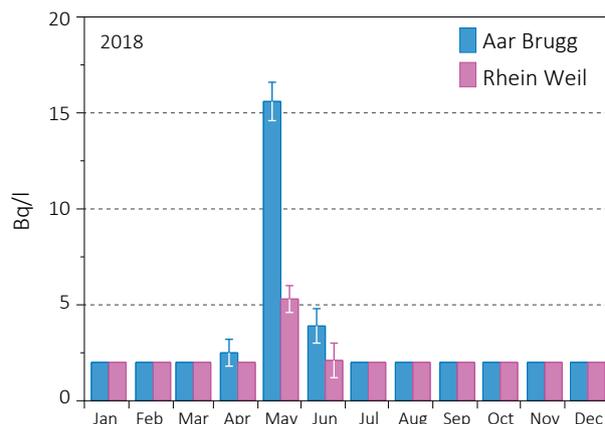


Figure 4: Suivi du tritium dans les échantillons mensuels d'eau de l'Aar à Brugg/AG et du Rhin prélevés à Weil/D en 2018.

Le ^{137}Cs , présent dans certains échantillons d'eau de l'Aar et du Rhin, est essentiellement dû à la remobilisation des dépôts de Tchernobyl et des essais d'armes atomiques des années 60; il n'existe ainsi pas de corrélation, pour cet isotope, entre les activités rejetées par les centrales et les valeurs mesurées dans les eaux.

On notera qu'en raison d'adaptations techniques de la station de surveillance (BAFU/METAS) de Hagneck, il n'a pas été possible de collecter des échantillons d'eaux de l'Aar dans cette station aux mois de mars, avril et août 2018. Par conséquent, les mesures des radionucléides pour les mêmes périodes sont manquantes.

Les concentrations mensuelles en ^3H enregistrées en 2018 dans les eaux de l'Aar à Brugg/AG ainsi que celles du Rhin prélevées près de Weil/D, en aval de Bâle, sont généralement restées inférieures à la limite de détection de 2 Bq/l à l'exception de la période mai-juin, où, comme chaque année, on constate une légère augmentation (voir Figure 4) en raison de rejets plus importants d'eau contenant du tritium par la centrale nucléaire de Gösigen, avant la révision.

Les résultats des mesures journalières de très bas niveau du tritium dans les eaux de l'Aar en amont et en aval de Mühleberg effectuées par l'Université de Berne pour une durée de 3 ans avant le début des travaux de désaffectation de la centrale sont détaillés au chapitre 4.6.

Les traces des rejets liquides, et en particulier de ^{54}Mn et de ^{60}Co ont pu être sporadiquement mises en évidence dans les échantillons mensuels de sédiments prélevés dans l'Aar à Hagneck ainsi qu'à Klingnau. Dans les sédiments prélevés dans le Rhin à Pratteln, seul le ^{60}Co a sporadiquement pu être détecté. Comme en 2017 et contrairement aux années précédentes, aucune trace de ^{58}Co n'a été mise en évidence dans les échantillons de sédiments prélevés dans l'Aar et le Rhin en 2018. Les résultats obtenus dans le cadre de la surveillance des émetteurs gamma dans les sédiments reflètent donc également la diminution significative des rejets dans le milieu aquatique par les centrales nucléaires.

Si le ^{137}Cs est également présent dans pratiquement tous les échantillons de sédiment de l'Aar (Hagneck et Klingnau) et du Rhin (Pratteln), il n'existe pas, pour les raisons citées plus haut, de corrélation générale avec les rejets des centrales nucléaires.

Comme chaque année, un échantillon de plantes aquatiques a été prélevé dans chacune des stations de surveillance en 2018: en plus des traces habituelles de ^{137}Cs provenant de la remobilisation d'anciens dépôts, les échantillons prélevés en octobre à Hagneck et Klingnau ont présenté un faible marquage en ^{60}Co (1.2 Bq/kg et 3.5 Bq/kg resp.) et pour l'échantillon de Hagneck en ^{54}Mn (0.8 Bq/kg). De faibles traces de ^{131}I ont par ailleurs pu être mises en évidence dans les sédiments prélevés à Klingnau, mais dans ce cas une origine médicale est probable. Aucun émetteur gamma d'origine artificielle autre que le ^{137}Cs n'a par contre été mesuré dans l'échantillon de plantes aquatiques prélevé à Pratteln.

Les analyses des poissons prélevés dans l'Aar et le Rhin en aval de KKM, KKB et KKL en 2018 n'ont révélé la présence d'aucun émetteur gamma d'origine artificielle. Le constat est le même pour l'examen des eaux des nappes phréatiques, à l'exception de traces non quantifiables de ^{137}Cs dans l'échantillon prélevé à Döttingen.

Situation radiologique du site démantelé de l'ancienne centrale expérimentale de Lucens

(site soustrait à la législation sur les installations nucléaires)

La surveillance du site de l'ancienne centrale expérimentale de Lucens effectuée par l'Institut de Radiophysique (IRA) sur mandat de l'OFSP comprend la mesure de la radioactivité (émetteurs gamma, tritium (^3H) et ^{90}Sr) dans les eaux provenant du bassin de contrôle (BdC) et de la chambre de contrôle (CdC). Le bassin de contrôle est un bassin de collecte dans lequel sont réunies les eaux de drainage provenant des 9 drains principaux du système de drainage; la chambre de contrôle est située juste avant le rejet dans la Broye (voir Figure 5). Les prélèvements sont effectués à l'aide de collecteurs automatiques et envoyés à l'IRA par un membre du personnel du dépôt de conservation des objets culturels du Canton de Vaud, qui occupe maintenant l'ancienne cave des machines.

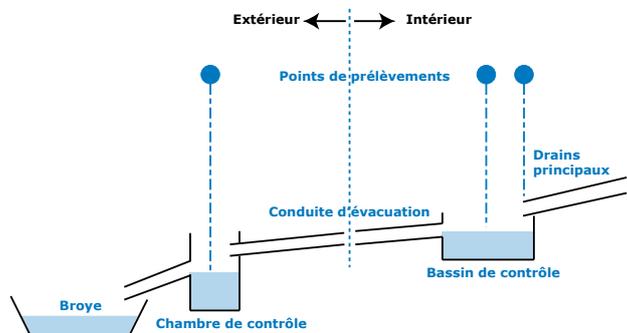


Figure 5 :
Représentation schématique du système de drainage de l'ancienne centrale expérimentale de Lucens.

En 2018, l'IRA a poursuivi ses analyses selon le programme usuel. Pour la mesure des émetteurs gamma et du tritium, les échantillons d'eaux collectés toutes les 4 h aussi bien par le collecteur automatique de la CdC que de celui du BdC sont réunis

pour former un mélange mensuel pour chaque site. Une aliquote de ce mélange est ensuite envoyée à l'IRA pour analyse. Aucun émetteur gamma d'origine artificielle n'a pu être mis en évidence dans ces échantillons en 2018. Les résultats montrent en effet que les activités du ^{60}Co , ^{134}Cs et ^{137}Cs sont restées inférieures aux limites de détection de 0.2 à 0.5 Bq/l.

Les mélanges mensuels de la chambre de contrôle et du bassin de contrôle sont distillés puis le ^3H est mesuré par scintillation liquide. Les valeurs moyennes de la concentration en tritium mesurées en 2018 dans les échantillons du BdC et de la CdC se sont élevées à 6.8 ± 0.6 Bq/l et 6.5 ± 0.7 Bq/l respectivement. Ces valeurs sont en constantes diminutions depuis le début de la surveillance en 2001 (excepté les valeurs ponctuellement plus élevées enregistrées fin 2011 et début 2012 et qui avaient nécessité la mise en place d'un programme spécifique), ce qui est attendu compte tenu de la décroissance radioactive (demi-vie du tritium = 12.32 ans).

Pour la mesure du ^{90}Sr , deux échantillons mensuels sont mélangés, aussi bien pour la chambre de contrôle que pour le bassin de contrôle. Aucune activité supérieure à la limite de détection de 8 mBq/l n'a été mise en évidence en 2018.

Conclusions

L'impact des installations nucléaires suisses sur l'environnement a été faible en 2018.

Les doses résultant du fonctionnement des centrales nucléaires pour la population avoisinante sont restées nettement inférieures aux limites réglementaires. Les calculs effectués à partir des rejets effectifs et du rayonnement direct en se basant sur des modèles de transfert jusqu'à l'homme indiquent que l'impact dosimétrique des centrales nucléaires n'a pas dépassé la valeur directrice liée à la source de 0.3 mSv par an. Les calculs de dose effectués de manière indépendante par le PSI et les autorités de surveillance ont montré que les doses pour la population avoisinante générées par le centre de recherche sont également restées nettement inférieures à la valeur directrice liée à la source fixée à 0.15 mSv/an pour l'ensemble du site PSI/ZWILAG.

Les mesures effectuées dans tous les compartiments environnementaux ont mis en évidence un faible marquage du milieu : la détection du rayonnement direct, du ^{14}C issu des rejets atmosphériques et des produits d'activation présents dans les rejets liquides témoigne d'un fonctionnement normal de ces installations dans l'année sous revue.

Même si les expositions du public, du fait des rejets des installations nucléaires, conduisent à des doses très faibles par rapport à celles d'origine naturelle ou médicale, le principe de précaution implique de poursuivre les contrôles et les études avec le plus de précision possible pour répondre aux différents objectifs à la fois d'ordre scientifique, réglementaire et d'information du public.

8.6

CERN - Rejets et environnement (Mesures CERN)

F. Malacrida et P. Vojtyla

CERN - Organisation européenne pour la Recherche nucléaire, Unité santé et sécurité au travail et protection de l'environnement (HSE), Genève

Résumé

Les résultats du programme de surveillance du CERN combinés aux calculs de dose pour les populations des groupes de référence ont démontré, à l'instar des années précédentes, que, pour 2018, l'Organisation a respecté la limite de 0.3 mSv/a fixée dans la réglementation du CERN [1]. La dose efficace délivrée aux membres du public Suisse a été inférieure à 0.014 mSv, soit 5% de la limite. Cette dose a été principalement induite par le rayonnement diffusé et les émissions atmosphériques de radioéléments de courtes demi-vies. A l'exception de quelques échantillons prélevés dans deux cours d'eau, aucun radioélément n'a été détecté dans le cadre du programme de surveillance des immissions. Le marquage de l'environnement induit par les activités du CERN demeure faible.

Le CERN

Le CERN, l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire, est l'un des plus grands et des plus prestigieux laboratoires scientifiques du monde. Le CERN a son siège à Genève et ses installations sont situées d'un côté et de l'autre de la frontière franco-suisse. Il a pour mission la recherche fondamentale en physique des particules afin de découvrir les constituants et lois de l'Univers. Il utilise des instruments scientifiques complexes pour sonder les constituants ultimes de la matière: les particules fondamentales. En étudiant ce qui se passe lorsque ces particules entrent en collision, les physiciens appréhendent les lois de la nature. Les instruments qu'utilise le CERN sont des accélérateurs et des détecteurs de particules. Les accélérateurs portent des faisceaux de particules à des énergies élevées pour les faire entrer en collision avec d'autres faisceaux ou avec des cibles fixes. Les détecteurs, eux, observent et enregistrent les résultats de ces collisions.

La Figure 1 présente le complexe des accélérateurs du CERN de manière schématique. Pour un complément d'information, se référer au site web du CERN www.cern.ch.

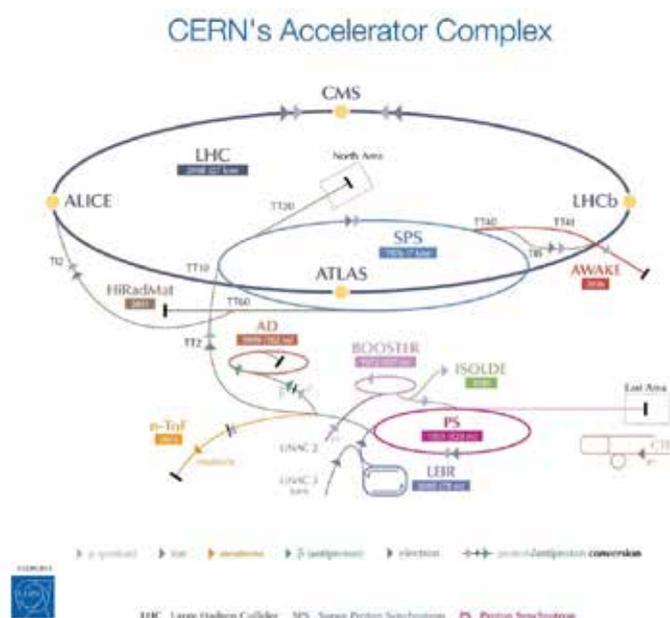


Figure 1:
Le complexe des accélérateurs du CERN (voir Glossaire en fin de chapitre).

Aspects environnementaux

L'interaction de particules de hautes énergies avec la matière génère des radiations ionisantes et produit des nucléides instables, c'est-à-dire radioactifs. Ces interactions se produisent entre autres lorsque les particules se percutent entre-elles ou percutent des cibles fixes, ainsi que lors de l'extraction et de la collimation des faisceaux. Les accélérateurs sont blindés et les plus puissants d'entre eux sont situés profondément sous terre, de telle manière à ce que seule une fraction infime des rayonnements traverse ces protections; ce type de rayonnement est nommé rayonnement diffusé. Les tunnels des accélérateurs et les zones expérimentales nécessitent d'être ventilés et une fraction de la radioactivité produite dans l'air peut être émise dans l'atmosphère par le biais de cheminées. De manière similaire, l'eau de refroidissement des systèmes ainsi que l'eau d'infiltration des tunnels souterrains doivent être évacuées. Ces effluents peuvent contenir des substances radioactives. Conséquemment, le rayonnement diffusé, les effluents gazeux et liquides sont surveillés en continu (voir ci-dessous).

En termes d'impact environnemental, le risque radiologique induit par des installations mettant en jeu des accélérateurs est très faible. Maintenir un faisceau de particules en orbite requière une instrumentation parfaitement ajustée et la moindre dérive, un événement normal et récurrent, engendre des pertes concertées de faisceau. Ces écarts sont immédiatement détectés et, en fonction de leur amplitude, peuvent conduire à un arrêt automatique quasi instantané des machines. Les radionucléides produits sont principalement des émetteurs gamma et beta de relativement courtes demi-vies et de faibles radiotoxicités. Pour plus d'information, se référer au site: voisins.web.cern.ch/fr/radiation.

Lorsque les accélérateurs sont arrêtés, l'émission atmosphérique de gaz de demi-vies courtes et le rayonnement diffusé cessent. Néanmoins, les composantes des tunnels, des machines, des cibles et des détecteurs sont sensiblement marquées par leur exposition au faisceau; celles-ci contiennent donc des radionucléides produits par activation. L'eau d'infiltration des tunnels peut donc toujours potentiellement se charger en radionucléides lors de sa percolation, avant d'être évacuée vers les eaux de surface. De la même manière, des traces de radionucléides peuvent être mesurées dans l'air, lorsque par exemple le tritium dégage des composantes précitées. L'installation ISOLDE peut par ailleurs continuer d'émettre des petites quantités d'iode ou de gaz radioactifs. Ces derniers sont provisoirement stockés dans des cuves en vue de leur décroissance avant rejet et seule une fraction des quantités initialement récoltées sont émises.

Programme de surveillance

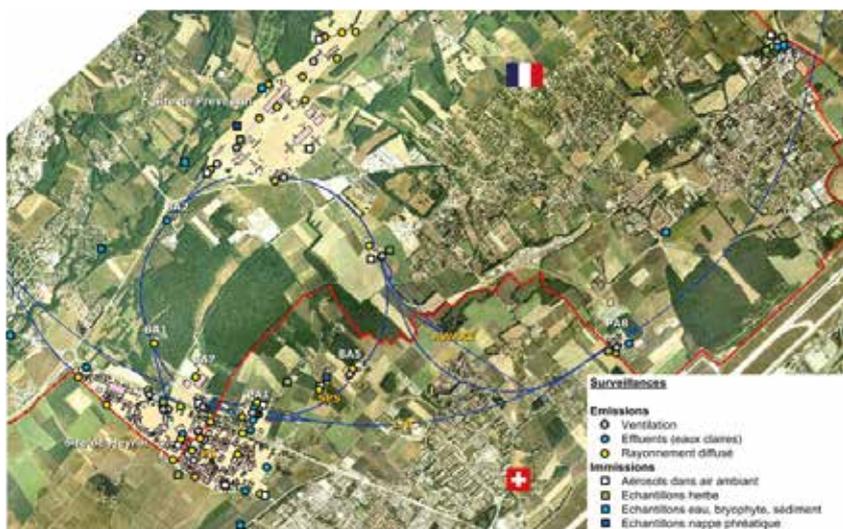


Figure 2: Région frontalière franco-suisse : sites de Meyrin et de Prévessin du CERN, implantation de l'anneau du Super synchrotron à proton (SPS) et du Grand collisionneur d'hadrons (LHC), situation des stations de surveillance et lieux d'échantillonnage du CERN; ceux qui concernent le territoire suisse y sont tous représentés, excepté le point de collecte des échantillons dans la rivière l'Allondon qui est hors-carte.

Le CERN, en tant que responsable de ses installations, se doit de réaliser son propre programme de surveillance environnemental, qui est élaboré en tenant compte des sources d'émission avérées et potentielles. Des stations de surveillance du rayonnement diffusé se situent aux lieux où ces rayonnements ont pu être observés ou prédits par des calculs. Chaque station est équipée d'une chambre d'ionisation argon dédiée à la mesure en continu des photons et des particules chargées et pénétrantes, comme les muons, ainsi que d'un moniteur de neutrons. En 2018, 40 stations de ce type étaient en opération. Les points d'extraction d'air, d'où des substances radioactives peuvent être émises, sont équipés de stations de surveillance qui mesurent en continu les radionucléides gazeux à demi-vie courte et échantillonnent les aérosols sur des filtres périodiquement analysés en laboratoire. En 2018, 40 stations étaient en

opération. De manière similaire, les points de rejet des eaux claires qui sont déversées dans les eaux de surfaces (rivières) sont équipés de stations de surveillance de l'eau (13 stations en 2018); les eaux claires incluent les eaux de refroidissement des circuits secondaires, les eaux d'infiltration des tunnels et les eaux météoriques. Ces stations mesurent en continu les radionucléides de demi-vies courtes et collectent des échantillons d'eau analysés périodiquement en laboratoire. Deux stations contrôlent indépendamment les eaux de refroidissement et d'infiltration du SPS et du LHC.

Les niveaux de rayonnement diffusé mesurés ainsi que le bilan des rejets vers l'atmosphère et les cours d'eau sont utilisés pour quantifier l'impact dosimétrique, par le biais de modèles environnementaux et radiologiques reconnus [3, 4]. La surveillance des émissions est complétée par la surveillance des immissions, qui est un processus impliquant la collecte d'échantillons environnementaux et leur analyse en laboratoire. Les résultats doivent corrélérer avec les prédictions, confirmant ainsi qu'aucun rejet incontrôlé n'a été effectué et que les modèles utilisés sont adéquats. Cette surveillance implique également un échantillonnage en continu des aérosols contenus dans l'air ambiant (11 stations), des échantillons d'herbe (12 points d'échantillonnage), d'eau, de bryophytes (mousses) et de sédiments dans les cours d'eau (14 points), de l'eau des nappes phréatiques (14 points), ainsi que des échantillons de produits d'agriculture locaux, tels que p. ex. blé, graines de tournesol, asperges et vin.

Les positions des stations de surveillance des émissions et du rayonnement diffusé ainsi que les points de collecte des échantillons destinés à être mesurés en laboratoire dans le cadre de la surveillance des immissions sont présentés en Figure 2.

Résultats 2018

Activités du CERN et opération des accélérateurs en 2018

L'opération des machines a redémarré à partir de fin mars et a duré jusqu'à mi-décembre. Toutes les installations étaient en fonctionnement.

Rayonnement diffusé

La principale source de rayonnement diffusé du site de Meyrin est le complexe du PS. Une petite fraction des neutrons produits dans les accélérateurs peut diffuser à travers le blindage, gagner en hauteur et interagir avec les composants de l'air. Une partie d'entre eux vont être redirigés vers le sol. Ce phénomène dit du skyshine contribue à une faible hausse de l'équivalent de dose ambiant. Quant aux doses photons nettes enregistrées en barrière des sites, ces dernières sont à la fois d'origines anthropique (activités du CERN) et naturelle. La fraction d'origine anthropique est induite d'une part par le rayonnement diffusé (p. ex. muons) et d'autre part par les photons émis par les gaz de demi-vies courtes rejetés par les installations (voir ci-dessous). La fraction d'origine naturelle provient majoritairement de précipitations qui impliquent un lessivage (washout) des radioéléments naturels présents dans l'air, tels que les filles du radon. Lorsque ces radioéléments sont ramenés au sol, l'équivalent de dose ambiant y est sensiblement plus élevé.

La Figure 3 présente les doses équivalentes ambiantes nettes, telles que mesurées par les moniteurs de rayonnement diffusé localisés aux abords des sites situés en Suisse.

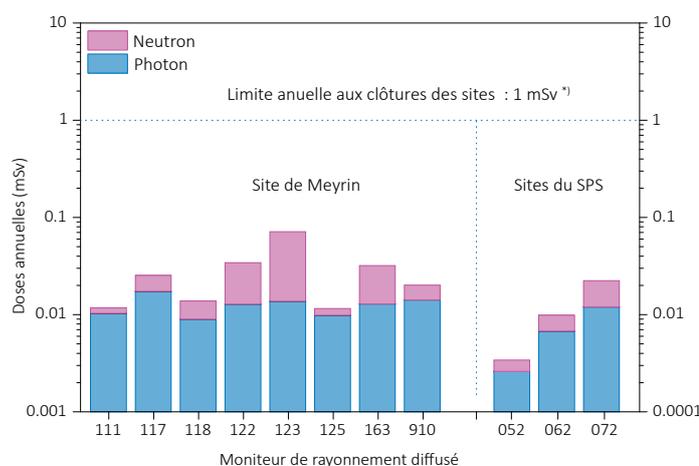


Figure 3: *Equivalent de dose ambiant annuel net enregistré par les moniteurs de rayonnement diffusé (CERN, 2018). * Limite définie dans la réglementation du CERN.*

Tableau 1:
Rejets radioactifs dans l'air en 2018.

Origine du rejet	¹¹ C, ¹³ N, ^{14,15} O, ⁴¹ Ar	⁷ Be aérosol	Bêta aérosol	Tritium	¹³¹ I
	TBq	MBq	MBq	GBq	MBq
LINAC 4	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
PS BOOSTER	0.50	48	1.0	1.9	< LD
ISOLDE via MEDICIS*	0.006	0.004	< LD	0.004	0.043
ISOLDE	8.6	2.1	0.7	5.7	250
Anneau principal PS	0.84	< LD	< LD	5.3	< LD
TT70 transfert PS-SPS	0.16	< LD	< LD	3.3	< LD
n-TOF	4.4	0.54	0.001	55	18
East Area	1.1	12	0.53	0.11	< LD
TT10 injection PS-SPS	3.6	33	1.5	8.9	< LD
SPS BA5	0.039	< LD	< LD	2.1	< LD
HIRADMAT	0.007	0.001	< LD	4.3	< LD
LHC Machine Secteurs 2->1, 8->1	3.3	< LD	0.002	< LD	< LD
LHC Expiriment ATLAS	0.006	< LD	0.002	< LD	< LD

* Les réservoirs de gaz de l'installation ISOLDE rejettent ponctuellement leur contenu, après décroissance, via la cheminée de rejet de l'installation MEDICIS.

Rejets de substances radioactives dans l'atmosphère

Les rejets de substances radioactives par les cheminées dans l'atmosphère qui concernent le territoire suisse sont résumés au Tableau 1. Dû à la faible hauteur des cheminées ainsi qu'aux courtes demi-vies des radionucléides émis, l'impact reste local et est minime. Les radionucléides se répartissent en cinq catégories : les gaz radioactifs de demi-vie courtes ¹¹C, ¹³N, ¹⁴O, ¹⁵O et ⁴¹Ar ; le ⁷Be ; l'activité bêta total (majoritairement ³²P et ³³P), le tritium (³H) ainsi que les isotopes de l'iode, représentés par l'¹³¹I. Cette dernière catégorie est produite par irradiation de cibles composées d'éléments lourds, telles qu'exploitées par les expériences ISOLDE et n-TOF.

Rejets de substances radioactives dans les cours d'eau

Les effluents du CERN sont rejetés dans plusieurs cours d'eau qui rejoignent finalement le bassin du lac Léman ou le Rhône. Cependant, l'impact des rejets dans chaque cours d'eau doit être déterminé spécifiquement, car les membres du public ne peuvent être exposés aux immissions dans plusieurs cours d'eau à un moment donné. Les radionucléides rejetés se répartissent en trois catégories :

- le tritium sous forme aqueuse (HTO),
- l'activité bêta totale imputable en grande majorité au ²²Na,
- les rejets d'émetteurs de positrons de demi-vie courte (¹¹C, ¹³N, ^{14,15}O) et
- le ²⁴Na avec une demi-vie de 15 heures.

Le Tableau 2 présente les rejets de 2018, mais seulement pour les points de rejet où des radionucléides en concentrations supérieures aux limites de détection ont été mesurés. L'indice bêta global résiduel, c'est-à-dire corrigé pour la présence de ⁴⁰K naturel dans l'eau, est attribué au ²²Na exclusivement. Par conséquent, les rejets déclarés en bêta/gamma (²²Na) sont surestimés car une fraction ou la totalité de l'indice bêta global résiduel est en réalité induit par des radionucléides d'origines naturelles (p. ex. descendants de l'uranium).

Surveillance des immissions

Le Béryllium-7 (⁷Be) est un radioélément faiblement radiotoxique, produit dans l'air par les particules de haute énergie. Il possède une grande affinité aux aérosols, ce qui permet de l'utiliser comme marqueur de rejets dans l'atmosphère de particules radioactives en suspension dans l'air provenant des accélérateurs (voir Tableau 1). Cependant, ce radioélément est également produit naturellement par les rayonnements

Tableau 2 :

Rejets radioactifs dans les cours d'eau en 2018.

Origine du rejet	Tritium	Bêta/ gamma (²² Na)	¹¹ C, ¹³ N, ^{14,15} O	²⁴ Na	Rejeté dans:
	GBq	MBq	GBq	GBq	
Site de Prévessin, SPS	110	87	2.8	0.56	Le Lion (F)
Site de Meyrin Sud-est	1.1	16	<LD	<LD	Nant d'Avril (CH)
Site de Meyrin Sud-Ouest	0.067	1.2	<LD	<LD	Nant d'Avril (CH)
Site de Meyrin Ouest	0.54	0.59	<LD	<LD	Le Lion (F)
Site SPS BA6 + site LHC PA1	< LD	68	17	<LD	Nant d'Avril (CH)
Site LHC PA7	0.15	3.0	n.m.*	n.m.*	Affluent du Marquet (F/CH)
CNGS, rejet par le site du LHC PA8	2.2	3.2	<LD	<LD	Le Nant (F)

** n.m. : dû à un problème technique relatif à l'échantillonnage en continu, les données ne sont pas disponibles pour 2018. Noter qu'aucun radionucléide de demi-vie courte n'avait été identifié par le passé.

cosmiques en atmosphère. Aux latitudes moyennes, la concentration en ⁷Be dans l'air varie au cours de l'année, avec des maximums en début d'été et en été, lorsque la tropopause, une couche se situant entre la troposphère et la stratosphère, se rompt. L'air provenant de la stratosphère, riche en radioéléments produits par rayonnements cosmiques, est alors injecté dans la troposphère. Les pluies influencent aussi la concentration naturelle en ⁷Be, car elles précipitent les aérosols en suspension dans l'air. La Figure 4 montre la concentration de ⁷Be dans l'air ambiant collecté dans deux types de stations :

- des stations situées au CERN pouvant capter des rejets d'accélérateurs et
- une station de référence très éloignée des accélérateurs (HVS Posieux/FR).

Les valeurs mesurées proches et loin des sites du CERN ont toutes corrélées, prouvant ainsi que la majeure partie de l'activité en ⁷Be mesurée est d'origine naturelle. La mesure de l'échantillonneur d'aérosols à haut volume situé au LHC-PA7 a été suffisamment sensible pour détecter le ²²Na naturel, aussi produit par rayonnement cosmique. Les quantités mesurées, soit < 0.001 mBq/m³, correspondent à celles mesurées avant que le LHC ne soit en opération. Les mesures des filtres d'aérosols de la station de surveillance des émissions du LHC PA7 n'ont pas mis de ²²Na en évidence.

Concernant l'environnement aquatique, des radionucléides ont été mesurés dans les échantillons ponctuels prélevés dans les rivières le Lion (F) et dans le ruisseau du Nant à Ferney-Voltaire (F) (voir Tableau 3). Les échantillons consistaient en de l'eau, des bryophytes et des sédiments. Les bryophytes sont d'excellents bioaccumulateurs de pollution. Alors que la mesure de l'eau de rivière est une valeur instantanée, ces végétaux, qui peuvent être assimilés à des collecteurs, permettent d'identifier des radionucléides ayant été présents dans l'eau.

Aucun autre radionucléide provenant du CERN n'a pu être détecté dans les autres échantillons d'eau, de bryophytes et de sédiments. Tous les échantillons susmentionnés ont été collectés en septembre. Bien que les radionucléides aient été mesurés dans des échantillons provenant du territoire français, ils sont mentionnés dans ce présent rapport car le Lion (F) rejoint l'Allondon (F/CH), qui termine son cours dans le Rhône

Tableau 3 :

Concentrations en radioéléments mesurés dans les échantillons ponctuellement prélevés dans les cours d'eau récepteurs des effluents du CERN en 2018. Les valeurs des concentrations mesurées dans les solides sont exprimées en (Bq/kg) masses sèches.

Origine de l'eau	Cours d'eau	Municipalité	³ H	⁵⁴ Mn	⁵⁸ Co	⁵⁴ Mn
			Bq/l	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg
Site de Prévessin	Le Lion	Bugnon (F)	740 ± 40	210 ± 25	3 ± 2	0.2 ± 0.1
Zone Nord via	Le Lion	St-Genis (F)	3 ± 2	11 ± 3	< 0.3	< 0.2
SPS BA2 (F)	L'allondon	Moulin Fabry (F)	7 ± 2	3 ± 2	< 0.3	< 0.2
Ancienne expérience						
CNGS (zone AWAKE) via LHC PA8 (F)	Le Nant	Ferney-Voltaire (F)	3 ± 2	< 0.2	< 0.3	< 0.2

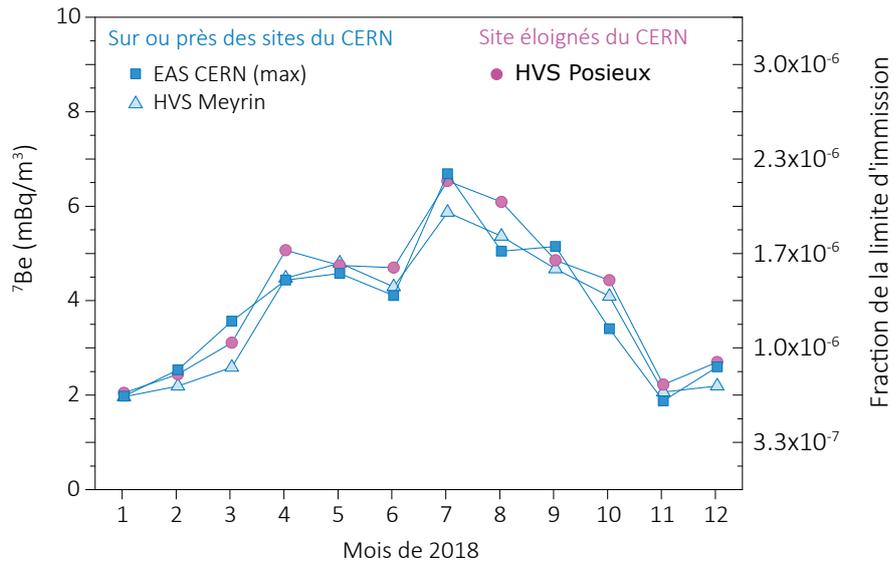


Figure 4: Concentrations mensuelles moyennes mesurées en ⁷Be mesurées par le biais des stations d'échantillonnage des aérosols des sites du CERN. Pour les stations EAS CERN, seule la valeur maximale est représentée. Ces valeurs corréleront avec celles mesurées par le biais de deux échantillonneurs OFSP à haut débit, soit les HVS Meyrin et HVS Posieux, le premier se situant sur le site CERN de Meyrin et le second à Posieux/Fribourg [5].

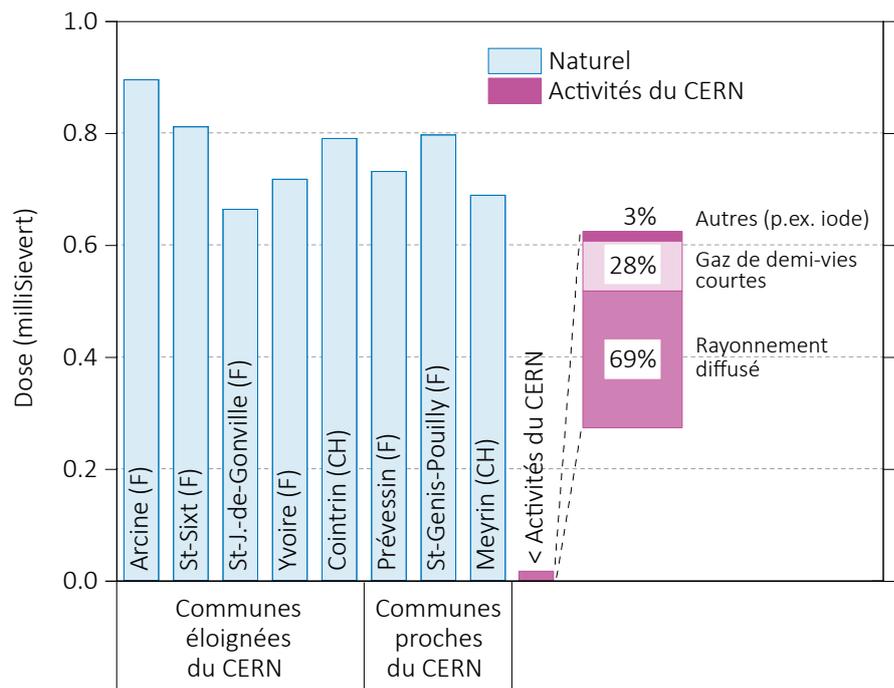


Figure 5: Contribution à la dose annuelle des activités du CERN sur le site CERN de Meyrin, comparée aux variations des doses externes naturelles dans des communes françaises et suisses situées à proximité. La contribution du CERN de 0.014 mSv doit être comparée à la valeur limite de dose de 0.3 mSv définie dans la réglementation du CERN [1].

(CH/F), tandis que le Nant (F) est un affluent du Gobé-Vengeron (F/CH) qui se déverse dans le lac Léman (CH). Le Nant d'Avril (CH), dont le flux est principalement alimenté par les eaux de rejet du CERN durant les périodes sèches, fait depuis 1998 l'objet de contrôles réguliers par l'Institut Forel de l'Université de Genève, mandaté par l'Office Fédéral de la Santé Publique (se référer au chapitre 8.7).

En dehors des sédiments et bryophytes susmentionnés, aucun radionucléide produit au CERN n'a pu être mis en évidence dans les autres échantillons environnementaux; le marquage de l'environnement par des radionucléides produits au CERN peut donc être considéré comme faible.

Impact radiologique

La dose efficace reçue par les membres du groupe de référence pour le site de Meyrin du CERN en 2018 a été calculée à partir des équivalents de dose ambiante mesurés aux barrières du site et des activités des substances rejetées dans l'air et l'eau, en utilisant un modèle de dispersion amélioré basé sur les directives [3, 4]. La dose efficace totale de 0.014 mSv est principalement induite par le rayonnement diffusé et par les rejets en gaz de demi-vies courtes. Ces paramètres contribuent à hauteur de 97% à la dose et sont surveillés en continu, garantissant ainsi un temps de réaction optimal en cas de dégradation de fonctionnement des installations. Noter qu'il n'a pas été possible de tenir compte de l'éloignement du groupe de population de référence par rapport au site de Meyrin dans le calcul de la dose efficace induite par le rayonnement diffusé. Conséquemment, la dose efficace est très probablement surestimée.

Le groupe de population de référence exposé aux rejets d'effluents liquides dans le Nant d'Avril a reçu une dose inférieure à 0.0005 mSv.

Conclusions

- Les résultats du programme de surveillance effectué par le CERN, combinés aux calculs de dose pour les populations des groupes de référence ont démontré, pour l'année 2018 et à l'instar des années précédentes, que l'Organisation a largement respecté la valeur limite de 0.3 mSv/a fixée dans la réglementation du CERN [1];
- Des radionucléides ont été détectés dans des échantillons prélevés dans deux rivières. Les valeurs de concentration sont restées inférieures aux limites d'immission applicables [2]. De fait, le marquage de l'environnement par les activités du CERN demeure faible.
- De manière à confronter l'impact dosimétrique des activités du CERN aux valeurs typiques d'expositions naturelles, la figure 5 compare la dose susmentionnée de 0.014 mSv avec la dose équivalente annuelle mesurée en plusieurs localités proches et éloignés des sites CERN.

Références

- [1] Code F Rev., Radioprotection – Manuel de radioprotection, CERN (2006).
- [2] Ordonnance sur la radioprotection (ORaP), 814.501, Berne (2017), Annexe 3.
- [3] Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN), Calcul de l'exposition aux radiations ionisantes dans l'environnement due à l'émission de substances radioactives par les installations nucléaires, IFSN-G14/f rév.1 (2009).
- [4] Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, Safety Reports Series No. 19, IAEA, Vienna (2001).
- [5] S. Estier et al, Surveillance de la radioactivité dans l'environnement : Résultats des mesures 2018 de la section URA, Office fédéral de la santé publique, Unité de direction Protection des consommateurs, Division radioprotection, Berne (2019)

Glossaire

AD	Décélérateur d'antiprotons
AWAKE	Advanced WAKEfield Experiment
GNGS	CERN Neutrino to Gran Sasso
CLIC	Compact Linear Collider, projet impliquant un collisionneur linéaire
CTF3	CLIC Test Facility, installation de test pour le projet CLIC
HIRADMAT	Hi Irradiation to Materials, tests d'irradiations de matériaux
ISOLDE	Isotope Separator On-Line Device- Séparateur de radio-isotopes en ligne
LEIR	Low Energy Ion Ring, stockage des ions lourds avant leur accélération par le PS
LHC	Large Hadron Collider- Grand collisionneur d'hadrons
LINAC2	Accélérateur linéaire pour les protons, injecteur du PSB
LINAC3	Accélérateur linéaire d'ions lourds, injecteur du LEIR
LINAC4	Accélérateur linéaire pour les protons, en cours de test
MEDICIS	Medical Isotopes Collected from ISOLDE – Isotopes médicaux collectés d'ISOLDE
n-TOF	neutron Time-Of-Flight, expérience impliquant une source de neutrons de spallation
PSB	Proton Synchrotron Booster- accélérateur injecteur pour le PS et pour l'ISOLDE
PS	Synchrotron à protons
SPS	Super synchrotron à protons

8.7

Environnement du CERN

(mesures OFSP)

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

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

J.-L. Loizeau, Ph. Arpagaus

Département F.-A. Forel des sciences de l'environnement et de l'eau,
Université de Genève, Bd Carl-Vogt 66, Genève

Résumé

Parallèlement aux mesures de contrôle effectuées par l'unité santé et sécurité au travail et protection de l'environnement (HSE) du CERN, l'Office Fédéral de la Santé Publique (OFSP) met en œuvre, de manière indépendante, un programme de surveillance de la radioactivité et des doses de rayonnements au voisinage du centre de recherche. L'ensemble des mesures effectuées par l'OFSP en 2018 n'a pas révélé d'impact notable des installations du CERN sur l'environnement et la population avoisinante. Même si des traces de radionucléides, produits dans les installations du centre de recherche, ont pu être détectées, les activités maximales enregistrées sont restées nettement inférieures aux limites suisses et leur impact radiologique peut être considéré comme minime.

Programme de surveillance de l'OFSP

L'OFSP surveille l'environnement du CERN de manière indépendante par les mesures suivantes (territoire suisse uniquement, à l'exception de la dosimétrie d'ambiance):

- Dosimétrie d'ambiance du rayonnement gamma ainsi que des neutrons sur une base trimestrielle (13 dosimètres à thermoluminescence-TLD- évalués par l'IRA) et mesures instantanées de l'équivalent de dose ambiant effectuées par l'OFSP sur 9 sites limitrophes du CERN et 9 sites de référence distants.
- Aérosols: mesure continue par spectrométrie gamma des aérosols déposés sur un filtre déroulant par le moniteur URAnet et spectrométrie gamma hebdomadaire des filtres d'un collecteur à haut débit.
- Eaux du Rhône à Chancy (mesures gamma et tritium) et du Nant d'Avril (mesures spectrométriques de l'eau et des sédiments effectuées par l'Institut Forel, mesure du tritium par l'OFSP).
- Sols (spectrométrie gamma in situ et en laboratoire) et végétaux ainsi que certains produits locaux (comme le ^3H dans le vin).

A noter qu'après l'arrêt hivernal pour maintenance, les installations du CERN ont redémarré fin mars et ont fonctionné jusqu'à mi-décembre 2018.

Mesures de l'exposition ambiante

Treize sites ont été surveillés en 2018, 5 d'entre eux étant situés dans l'enceinte du centre de recherche (côtés suisse et français) et 7 sur le parcours du LHC. En plus de l'équivalent de dose ambiant résultant du rayonnement gamma, la dose des neutrons a également été évaluée.

Les résultats de ces mesures, effectuées par l'Institut de Radiophysique (IRA) sur mandat de l'OFSP, ont montré que les doses des photons enregistrées au cours de l'année 2018 sont restées partout proche de l'irradiation naturelle (environ 0.2 mSv par trimestre).

Les doses des neutrons sont généralement restées faibles ou inférieures à la limite de détection de 0.02 mSv par trimestre sauf en trois points. Ainsi, sur le site de Prévessin, en particulier à proximité du Hadron stopper, une valeur de 0.8 mSv a été enregistrée aussi bien au 2^{ème} qu'au 3^{ème} trimestre 2018. Ces valeurs sont nettement supérieures à celles enregistrées habituellement en ce point. Au 4^{ème} trimestre, la dose des neutrons a baissé, mais avec 0.25 mSv est restée supérieure à l'irradiation naturelle. Par ailleurs, les doses de neutrons enregistrées en deux points situés à l'intérieur de l'enceinte du site de Meyrin, à proximité du synchrotron à protons (PS) et du booster du PS (PSB) étaient également supérieures à l'irradiation naturelle au 2^{ème} ainsi qu'au 3^{ème} trimestre. Les doses observées sont cependant restées peu élevées (maximum de 0.157 mSv par trimestre) par rapport aux valeurs atteintes par le passé (jusqu'à environ 1 mSv).

Les relevés instantanés réalisés par l'OFSP à l'aide d'une chambre d'ionisation (Figure 1) en septembre 2018 sur 9 sites du voisinage proche du CERN et 9 sites distants n'ont par ailleurs montré aucune influence du centre de recherche sur l'exposition ambiante due au rayonnement gamma. Les valeurs du débit d'équi valent de dose ambiant ($H^*(10)$) pour les gammas se sont échelonnées entre 86 et 116 nSv/h et se situent dans le domaine de variation de l'irradiation naturelle (moyenne des sites limitrophes: 100 ± 4 nSv/h; moyenne des sites distants 102 ± 11 nSv/h).

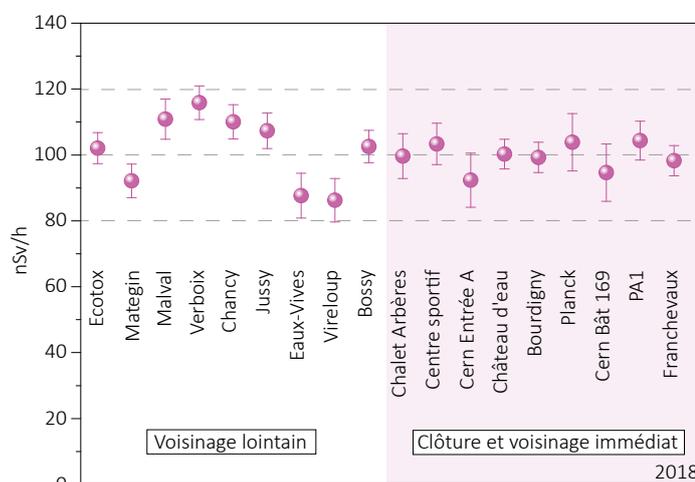


Figure 1: Mesures du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ effectuées par l'OFSP en 2018 à l'aide d'une chambre d'ionisation placée 1 m au-dessus du sol.

Mesures dans le milieu atmosphérique

Même si le nouveau réseau automatique de surveillance de la radioactivité dans l'air, URANet, n'a été officiellement mis en service qu'en septembre 2018, la station de mesure située au CERN est déjà opérationnelle depuis début 2017. Les nouveaux moniteurs spectrométriques permettent de mesurer en continu les concentrations individuelles des différents émetteurs gamma présents dans l'air (aérosols) (voir chapitre 4.2). Si les concentrations du ^{214}Pb et du ^{214}Bi , descendants du radon, sont clairement mesurables, les concentrations des émetteurs gamma d'origine artificielle sont toutes restées inférieures aux limites de détection (de l'ordre de 1 à 3 mBq/m³ pour le ^{137}Cs pour un temps de mesure de 12h) en 2018. Le moniteur d'iode gazeux également installé sur le site du CERN, pour la surveillance de l' ^{131}I gazeux n'a révélé aucune valeur supérieure à la limite de détection de 50-60 mBq/m³.

Les résultats des mesures hebdomadaires des filtres aérosols à haut débit (HVS) du CERN ont confirmé, comme les années précédentes, la prédominance des radioéléments d'origine naturelle, tels que ^7Be et ^{210}Pb (cf figure 2). Le cas du ^7Be est toutefois particulier de par sa double origine: naturelle et anthropogénique (production dans les tunnels du CERN). Le tableau 1 ne montre toutefois pas de différence notable entre les concentrations de ^7Be mesurées en 2018 dans les filtres aérosols de la station du CERN et celles enregistrées dans les stations situées hors de son influence.

Tableau 1 :

Concentrations du ^7Be mesurées en 2018 dans les filtres aérosols de la station à haut débit au CERN et comparaison avec les stations situées hors influence.

Station de collection à haut débit	Valeur min/max (mBq/m ³)	Moyenne (mBq/m ³)
CERN (Meyrin/GE)	1.4 - 6.8	3.8 ± 1.7
Posieux/FR	1.2 - 8.0	4.1 ± 1.9
Klingnau/AG*	1.0 - 7.4	3.8 ± 1.6
Güttingen/TG	1.3 - 7.3	4.0 ± 1.6
Cadenazzo/TI	0.8 - 8.4	4.6 ± 1.8

Des traces de ^{22}Na , également d'origine naturelle, sont régulièrement détectées (valeurs comprises entre 0.1 et 0.7 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$).

En ce qui concerne les radioéléments d'origine artificielle, des traces de ^{137}Cs provenant de la remise en suspension des retombées des essais nucléaires des années 50 et 60 ainsi que de l'accident de Tchernobyl ont, comme partout en Suisse, été détectées à plusieurs reprises, mais les activités sont restées très faibles (valeur maximale de $0.7 \pm 0.2 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$).

Les seuls radio-isotopes attribuables aux activités du CERN sporadiquement mis en évidence dans les filtres aérosols en 2018 sont le ^{24}Na (valeur maximale de $110 \pm 45 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$) et le ^{131}I (valeurs comprises entre 0.3 ± 0.2 et $2.0 \pm 0.5 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$). Ces radionucléides, d'une

demi-vie de 15h pour le ^{24}Na et de 8 jours pour le ^{131}I , sont produits dans les accélérateurs de particules du centre de recherche (l' ^{131}I est produit par les installations ISOLDE et nTOF, voir chap. 8.6).

Notons encore que l'impact radiologique de ces traces de ^{24}Na et de ^{131}I est tout à fait négligeable, puisque les concentrations les plus élevées enregistrées en 2018 pour ces radionucléides ne représentent qu'environ 0.0002% des limites d'immissions définies pour chacun de ces radionucléides dans l'air selon l'Ordonnance sur la radioprotection. L'identification d'un aussi faible niveau de radioactivité nécessite des méthodes extrêmement sensibles, comme celles mises en œuvre par l'OFSP.

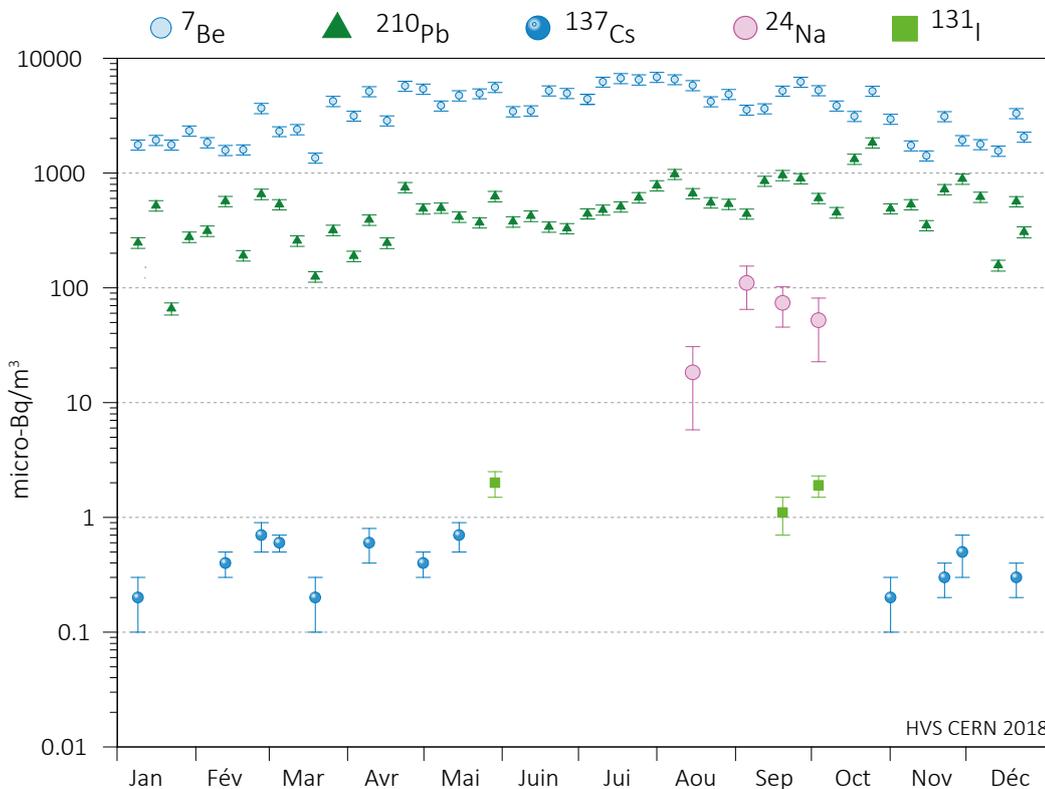


Figure 2 : Concentrations de divers radioisotopes (naturels et artificiels) mesurées dans les aérosols collectés chaque semaine à la station à haut débit située au CERN en 2018.

Mesures dans le milieu terrestre

Les mesures par spectrométrie gamma in situ permettent de distinguer les contributions d'origine naturelle et artificielle à l'exposition externe du public. La figure 3 montre que les valeurs mesurées au voisinage du centre de recherche sont tout à fait comparables à celles relevées dans des sites hors de son influence, tel que Posieux/FR (pour plus de détails sur les mesures in situ, se référer au chapitre 3.1). Seuls les résultats enregistrés au point de mesure situé à l'intérieur de la clôture du centre de recherche (BAT 588) s'en distinguent légèrement. En effet, d'infimes traces d' ^{41}Ar , un gaz rare de demi-vie inférieure à 2 heures produit dans les accélérateurs du centre de recherche, ont pu être enregistrées dans l'air sur ce site. La présence de ^{22}Na était également clairement visible sur le spectre in situ enregistré sur ce même site. Comme le ^7Be , le ^{22}Na est produit dans la stratosphère par rayonnement cosmique, mais peut également être produit par les installations du CERN. Il n'est pas possible de déterminer avec certitude la part attribuable aux activités du CERN, mais ce radionucléide n'a pas été mis en évidence aux points de mesure situés à l'extérieur de la clôture du centre de recherche.

Les analyses en laboratoire sur des échantillons de sol, d'herbes et autres produits locaux prélevés au voisinage proche du centre de recherche ont confirmé ce constat. Les résultats sont typiques de ceux obtenus dans des échantillons comparables du Plateau suisse. Outre la détection permanente des radioéléments d'origine naturelle, dont les concentrations prédominent, on y détecte encore les traces des injections artificielles des essais nucléaires des années 50 et 60 et dans une moindre mesure de l'accident de Tchernobyl.

Mesures dans le milieu aquatique

Les échantillons mensuels d'eau du Rhône prélevés à Chancy/GE n'ont pas présenté de radioactivité gamma d'origine artificielle mesurable en 2018. Les concentrations en tritium dans ces échantillons étaient par ailleurs toutes inférieures à la limite de détection de 2 Bq/l.

Le programme de surveillance du Nant d'Avril conduit le département F.-A. Forel des sciences de l'environnement et de l'eau à l'initiative de l'OFSP depuis 1999 a été poursuivi. Les résultats des mesures effectuées dans le cadre de ce programme a fait l'objet d'un rapport spécifique¹.

24 échantillons d'eau ont été prélevés (échantillonnage proportionnel au débit effectué à l'aide d'un collecteur automatique) dans le Nant d'Avril entre le 4 décembre 2017 et le 30 novembre 2018, avec une intégration des prélèvements de 2.4 à 20.4 jours. Suite à une panne de l'échantillonneur, la période du 18 au 28 août 2018 est manquante.

Les échantillons d'eau sont acidifiés pour éviter toute adsorption d'éléments à la surface des récipients, avant d'être filtrés à 1.2 μm . Les filtres sont séchés à l'air et pesés. Le filtrat est évaporé à sec et le résidu repris dans de l'acide nitrique. Les résultats des mesures sur les eaux et les filtres sont ensuite agrégés pour obtenir un résultat global sur l'eau (eau brute). Les eaux ayant été acidifiées avant traitement, la répartition des radionucléides entre l'eau et les particules ne correspond plus à celle existant dans la rivière.

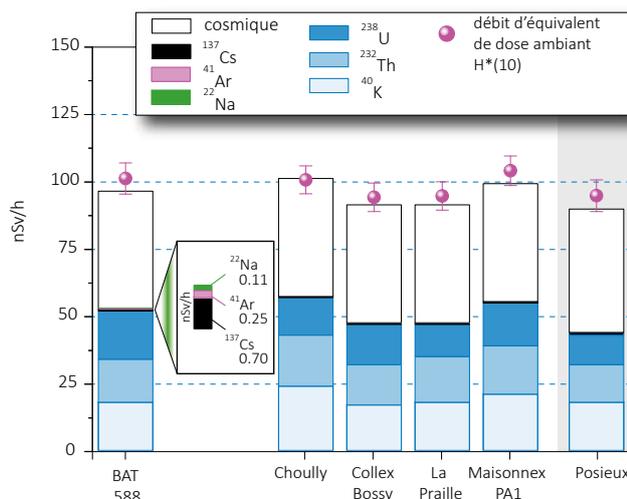


Figure 3 :

Contributions individuelles au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ calculées à partir des spectres in situ (distribution supposée homogène des radionucléides dans le sol) mesurés au voisinage du CERN en 2018. La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ avec chambre d'ionisation est également représentée.

¹ J.-L. Loizeau et Ph. Arpagaus, Rapport N°19 sur les mesures de la radioactivité dans le Nant d'Avril (Genève), Décembre 2017 – Novembre 2018; Département F.-A. Forel des sciences de l'environnement et de l'eau, Université de Genève (Janvier 2019)

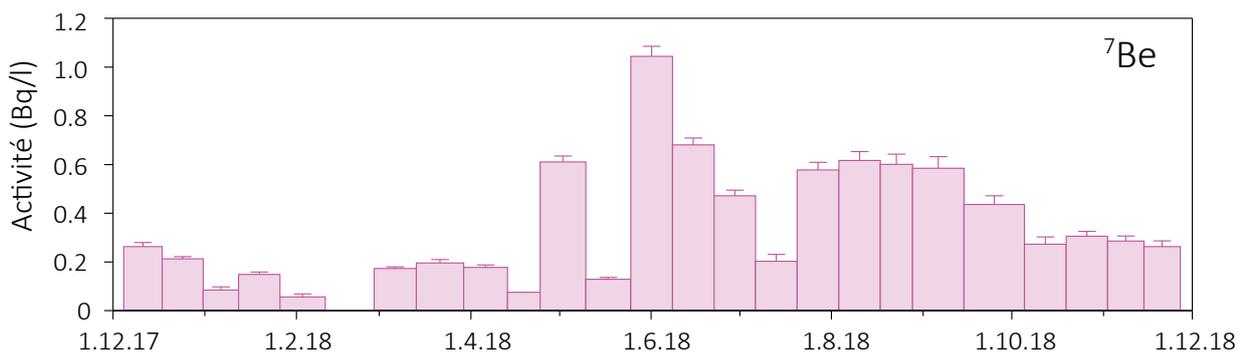


Figure 4 :
Activités du ^7Be mesurées dans les eaux brutes du Nant d'Avril entre décembre 2017 et novembre 2018.

En dehors du ^{40}K et des isotopes des séries primordiales (^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th), seuls 3 radioisotopes ont été détectés dans les échantillons d'eau brute. Les activités maximales sont celles du ^7Be , avec une moyenne de 0.35 Bq/l lorsque l'isotope est présent. La plus forte activité spécifique de ^7Be (1.04 ± 0.04 Bq/L) a été mesurée entre le 25 mai et le 08 juin 2018 (voir figure 4).

L'échantillonnage des eaux ayant été réalisé en fonction du débit, il est possible d'estimer le flux d'un isotope en multipliant les débits (exprimés en $\text{m}^3/\text{période}$) par l'activité spécifique du radionucléide. Le flux annuel

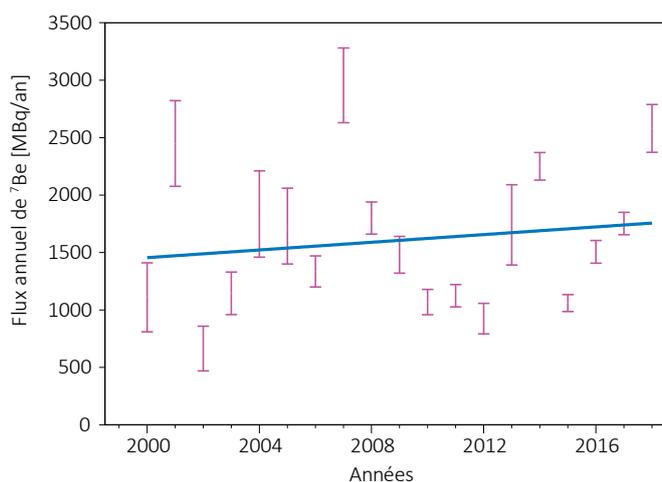


Figure 5 :
Estimation des flux annuels minimum et maximum de ^7Be dans le Nant d'Avril (données Département F.-A. Forel)

estimé de ^7Be pour la période 2017- 2018 est ainsi de 2'370 MBq/an au minimum et de 2'790 MBq/an au maximum. Ces valeurs se situent dans les valeurs hautes des périodes de mesure précédentes (fig. 5).

Le deuxième radionucléide mis en évidence dans les eaux du Nant d'Avril est le ^{137}Cs (maximum de 15 mBq/l). Ce radionucléide a été détecté exclusivement sur les particules (mesuré sur les filtres), ce qui montre qu'il est fortement associé à celles-ci, malgré une acidification de l'échantillon. Le ^{137}Cs provient de l'érosion des sols, qui entraîne des particules contaminées par les retombées des essais nucléaires dans l'atmosphère et de la catastrophe de Tchernobyl.

Finalement, des traces de ^{22}Na ont été mesurées dans les 2 échantillons d'eaux du Nant d'avril prélevés en mars 2018, avec des activités (valeur maximale de 5 mBq/l) très proches de la limite de détection.

A noter que la mesure du tritium par l'OFSP dans les échantillons mensuels d'eaux du Nant d'avril n'a pas mis en évidence de concentrations supérieures à la limite de détection de 2 Bq/l.

Tableau 2 :
Résumé des résultats des mesures effectuées par l'Institut F.-A. Forel dans les sédiments du Nant d'Avril durant la période décembre 2017 à novembre 2018 (13 échantillons analysés).

Isotope	Min- Max	Moyenne	Médiane
	[Bq/kg]	[Bq/kg]	[Bq/kg]
^7Be	725 - 1'715	1'154	1'218
^{137}Cs	5.6 - 9.6	7.4	7.5

L'analyse des sédiments prélevés mensuellement dans le Nant d'Avril a révélé la présence de ^7Be et de ^{137}Cs dans tous les échantillons. Les activités mesurées pour ces deux isotopes sont résumées dans le tableau 2. Aucun autre émetteur gamma d'origine artificielle n'a pu être décelé dans les échantillons de sédiments au cours de la période sous revue.

Afin de mettre en évidence d'éventuelles augmentations des immissions radioactives dans le milieu aquatique dues au fonctionnement du LHC, des sédiments et des bryophytes sont par ailleurs prélevés une fois par an aux 8 principaux points de rejets des eaux du LHC et analysés par le département F.-A. Forel. En 2018, le LHC a fonctionné régulièrement depuis la mi-mars jusqu'à la fin novembre. Les activités spécifiques mesurées dans les échantillons de sédiments prélevés aux 8 points

de rejet (période d'échantillonnage du 21.09 au 19.10.2018), se sont échelonnées, en 2018, entre 184 et 1'822 Bq/kg pour le ^7Be et entre 4.0 et 9.5 Bq/kg pour le ^{137}Cs . Pour les bryophytes, les résultats montrent des activités spécifiques en ^7Be variant entre 63 et 3'553 Bq/kg et entre 3.7 et 4.1 Bq/kg pour le ^{137}Cs . La figure 6 permet de comparer ces résultats avec ceux obtenus en 2005, 2006 et 2008 alors que le LHC n'était pas encore en fonction (programme point zéro LHC). Si aucun nouveau radionucléide n'a été décelé par rapport aux mesures effectuées dans le cadre du programme point zéro LHC, la concentration de ^7Be enregistrée au point de rejet PA6 en 2018 est relativement élevée (3'553 Bq/kg) dans les bryophytes, ainsi que dans les sédiments (1'882 Bq/kg); toutefois, en ce qui concerne les sédiments, de telles valeurs pour le ^7Be ont déjà été mesurées à plusieurs reprises par le passé au point PA1 qui correspond au site de surveillance du Nant d'avril (tableau 2), suivi depuis près de 20 ans. La valeur de 3'553 Bq/kg dans les bryophytes en revanche est la plus élevée mesurée jusqu'à présent, dépassant les maximums variant entre 2'200 et 2'700 Bq/kg enregistrés ces dernières années. Cette valeur élevée de ^7Be dans les bryophytes, prélevés le 21.09.2018, est probablement à mettre en relation avec les valeurs assez élevées de ^7Be mesurées dans le Nant d'Avril entre fin juillet et mi-septembre 2018 (figure 4), soit juste avant le prélèvement. On remarque également que cette année compte parmi celles dont le flux de ^7Be dans le Nant est le plus élevé (figure 5).

En résumé, si l'on exclut le ^7Be , puisque les résultats des mesures effectuées ne peuvent mettre en évidence une origine anthropique, le seul radionucléide potentiellement attribuable aux activités du centre de recherche décelé en traces dans le milieu aquatique en 2018 est le ^{22}Na dans les eaux. D'autres radioéléments produits par les installations du CERN tels que ^{57}Co , ^{58}Co , ^{60}Co , mis en évidence par le passé dans le Nant d'Avril, n'ont été retrouvés ni dans les eaux, ni dans les sédiments, ni dans les bryophytes mesurés pour contrôler les immissions du LHC.

Conclusions

Le programme de surveillance mené de manière indépendante par l'OFSP, en collaboration avec le département F.-A. Forel, a montré que l'impact radiologique des activités du CERN sur l'environnement et la population avoisinante a été très faible en 2018.

L'ensemble des résultats ont montré la prédominance des radioéléments d'origine naturelle. La détection de traces de radionucléides attribuables aux activités du CERN, comme le ^{24}Na , l' ^{41}Ar et le ^{131}I dans l'air, n'a été possible que grâce à la mise en œuvre de techniques de prélèvement et de mesure d'une très grande sensibilité, dépassant le cadre des contrôles réglementaires. Les activités maximales des radioisotopes artificiels provenant des activités du CERN mesurées dans l'environnement ne représentent en effet que d'infimes fractions des valeurs limites fixées par la législation suisse en radioprotection.

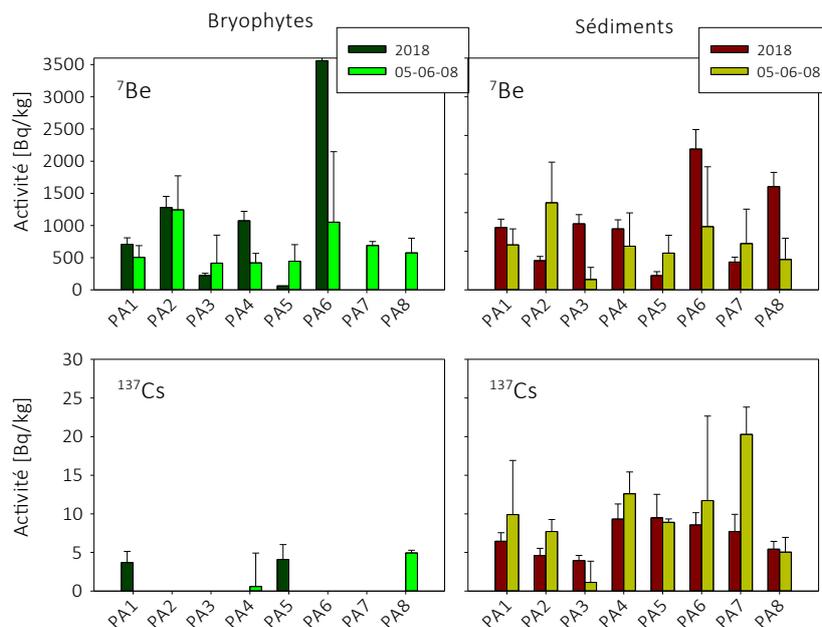


Figure 6 : Activités du ^7Be et du ^{137}Cs dans les bryophytes et les sédiments aux points de rejet du LHC (PA1 à PA8) en 2018 comparées aux valeurs moyennes des résultats des campagnes de mesures effectuées en 2005, 2006 et 2008 (valeurs 05-06-08), avant la mise en service du LHC. Il n'y a pas d'échantillon de bryophytes aux points 7 et 8.

2018



Chapitre / Kapitel 9

Industrien und Spitäler
Industries et hôpitaux

9.1

Emissionen der Betriebe

Flavia Danini Fischer

Suva, Abteilung Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz, Bereich Physik/Strahlenschutz, Luzern

Zusammenfassung

Der Einkauf von radioaktiven Stoffen sowohl in den Produktionsbetrieben wie auch in den Forschungsbetrieben variiert im Allgemeinen stark je nach Auftragslage und Forschungsschwerpunkt. In den letzten Jahren wurde jedoch ein deutlicher Rückgang beim Einsatz von mit ^{14}C markierten Stoffen festgestellt. Sämtliche Abgabelimiten wurden im Berichtsjahr eingehalten.

Überwachte Betriebe

Die Suva betreut als Aufsichtsbehörde folgende Betriebe, die mit offenen radioaktiven Stoffen arbeiten:

Produktionsbetriebe (Total 3 Betriebe)

Radioaktive Stoffe werden benötigt für die Produktion von:

- Radioaktiv markierten Verbindungen für die Forschung (^3H , ^{14}C)
- Kalibrierquellen (^{90}Sr , ^{147}Pm , ^{204}Tl).
- Tritiumgaslichtquellen (^3H)

Die Produktion von tritiumhaltiger Leuchtfarbe wurde im Verlauf von 2008 eingestellt.

Tabelle 1:

Einkauf radioaktiver Stoffe 2008- 2018.

	Isotope	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	Einheit
Produktionsbetriebe	^3H	12.75	7.31	10.54	5.74	4.07	7.53	15.11	10.03	6.31	7.58	7.62	PBq
	^{14}C	0	0	0.07	0	0.74	0.58	0.19	1.33	0.34	0.35	0	TBq
	^{147}Pm	0	0	0	0	0	13.03	5.76	0.07	1.55	15.26	19.66	TBq
Leuchtfarbenbetriebe	^3H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09	TBq
Forschungsbetriebe	^3H	7.6	7.6	3.8	7.6	0.2	11.4	18.8	11.4	15.5	22.8	8.7	TBq
	^{14}C	21.3	17.1	41.3	53.9	158.9	76.0	192.6	200.6	132.5	207.3	171.9	GBq
	^{32}P	0.3	0.9	0.5	0.9	0.9	1.4	1.0	1.4	1.6	2.1	7.9	GBq
	^{35}S	0	1.4	1.4	2.4	2.4	3.7	2.0	0.8	3.8	3.5	5.9	GBq
	^{51}Cr	0	0	0.3	0.1	0	0	0	0	3.2	3.8	3.5	GBq
	^{125}I	0.5	0.3	0.3	0.1	0.1	14.1	12.1	15.7	16.3	17.5	1.2	GBq
Analytische Laboratorien	^{125}I	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	GBq
	^{14}C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96.8	MBq

Leuchtfarbenbetriebe

Seit 2009 wird keine Tritiumleuchtfarbe auf Zeiger und Zifferblätter von Uhren und Instrumenten mehr aufgetragen.

Forschungsbetriebe (Total 39 Betriebe)

Es sind dies Unternehmungen der chemischen Industrie, die unter anderem Stoffwechseluntersuchungen mit radioaktiv markierten Stoffen durchführen.

Medizinisch-analytische Laboratorien (Total 6 Betriebe)

Für Hormonbestimmungen werden sogenannte Radioimmunoassay Kits (Ria-Kits) mit ^{125}I eingesetzt.

In Tabelle 1 sind bei der Sparte der Produktionsbetriebe auch die für den Handel eingekauften radioaktiven Stoffe aufgeführt (^{147}Pm).

Resultate

Im Berichtsjahr 2018 haben sämtliche Betriebe die Abgabelimite eingehalten. In den Tabellen 2a und 2b sind die Jahresabgabewerte der Basler Chemie an die Abluft und das Abwasser mit den entsprechenden Abgabelimite zusammengefasst. Der Synthesebetrieb bei Novartis wurde im Verlauf von 2016 eingestellt. Dies führte dazu, dass in diesem Betrieb keine Abgaben an die Abluft mehr gemessen wurden. Die bei Novartis aufgeführten Abgaben an das Abwasser resultierten hauptsächlich aus dem Rückbau der Syntheselabors. Tabelle 3 gibt die Aktivitätsmengen an, die gemäss Art. 116 der Strahlenschutzverordnung in einem bewilligten Ofen verbrannt wurden.

Die Tritium-Abgaben der beiden grossen Produktionsbetriebe, sowie die Tritium-Messungen in der Umgebung der Firma RC Tritec AG sind in den Figuren 1a, 1b und 1c graphisch dargestellt. Der erhöhte Abgabewert von 2010 ans Abwasser bei RC Tritec AG ist zurückzuführen auf die Umbauarbeiten in den Labors, welche in diesem Jahr stattgefunden haben. Die damals bei der Dekontamination angefallenen wässrigen radioaktiven Flüssigkeiten wurden unter Einhaltung der in der Bewilligung festgehaltenen Abgabelimite ins Abwasser abgeleitet.

Die Emissionsmessungen werden durch den Betrieb durchgeführt und durch Kontrollmessungen der Suva überprüft. Die Proben der Umgebungsüberwachung werden von der Suva analysiert. In Tabelle 4 sind die bewilligten Jahresabgabelimite der beiden grossen Produktionsbetriebe zusammengefasst.

Tabelle 2a:

Abgabe radioaktiver Stoffe an die Abluft während des Jahres 2018 (GBq).

	Abgaben an die Abluft (GBq)		Abgabelimite (GBq)	
	^3H	^{14}C	^3H	^{14}C
Hoffmann-La Roche AG	52.32 (org.) 0 (Gas)	2.34	120 (org.) 2'000 (Gas)	80
Novartis Pharma AG	0 (org.) 0 (Gas)	0	500 (org.) 4'000 (Gas)	60

Tabelle 2b:

Abgabe radioaktiver Stoffe an das Abwasser während des Jahres 2018 (GBq).

	Abgaben an das Abwasser (GBq)		Abgabelimite (GBq)	
	^3H	^{14}C	^3H	^{14}C
Hoffmann-La Roche AG	2.93	0.05	80	40
Novartis Pharma AG	1.59	0.0017	300	30

Tabelle 3:

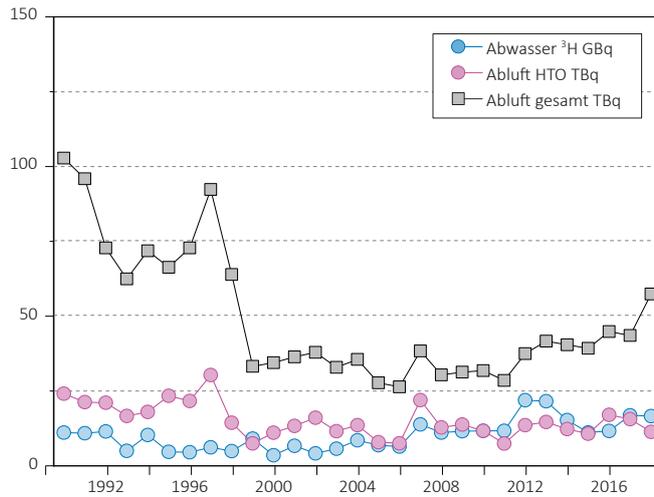
Verbrennung in bewilligtem Ofen (Valorec Services AG, Basel während des Jahres 2018 (GBq).

	^3H (GBq)	^{14}C (GBq)	^{35}S (GBq)
Verbrennungen in Ofen	884.8	39.1	0
Bewilligungslimite	4'000	450	8.0

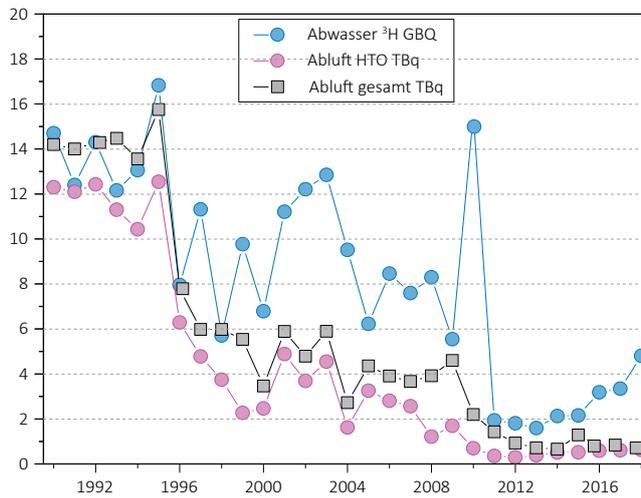
Tabelle 4:

Jahresabgabelimite der Produktionsbetriebe.

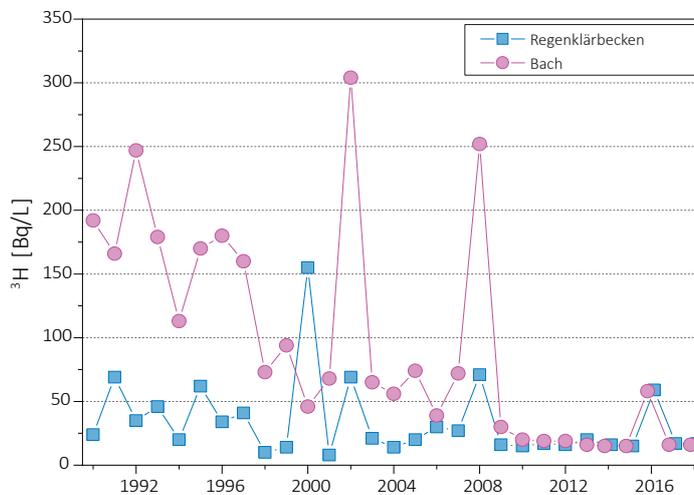
	Abwasser	Abluft	
	^3H	^3H (HT)	^3H (HTO)
MB-Microtec AG, Niederwangen / BE	40 GBq	370 TBq	37 TBq
RC-Tritec AG, Teufen / AR	20 GBq	15 TBq	20 TBq



Figur 1a :
 mb-microtec ag, Niederwangen/BE: Jahreswerte der Emissionen.
 Die Emissionsmessungen werden durch den Betrieb durchgeführt und durch Kontrollmessungen der Suva überprüft.



Figur 1b :
 RC Tritec AG, Teufen/AR: Jahreswerte der Emissionen.
 Die Emissionsmessungen werden durch den Betrieb durchgeführt und durch Kontrollmessungen der Suva überprüft.



Figur 1c :
 RC-Tritec AG, Teufen/AR: Umgebungsüberwachung von Tritium.
 Die Proben der Umgebungsüberwachung werden von der Suva analysiert.

9.2

Emissionen der Spitäler

R. Linder, N. Stritt, Th. Flury

Sektion Forschungsanlagen und Nuklearmedizin, BAG, Bern

Zusammenfassung

Der Umsatz der zur Therapie verwendeten Radionuklide in den nuklearmedizinischen Instituten ist gegenüber dem vorhergehenden Jahr einzig bei Luthetium-177 (^{177}Lu) ansteigend. Bei allen anderen therapeutisch genutzten Radionukliden ist der Verbrauch rückläufig. Dies insbesondere auch für den Alpha-Strahler Radium-223 (^{223}Ra) zur Behandlung von Patienten mit Prostatakarzinom, wo der Umsatz im vorhergehenden Jahr noch ansteigend war. Die Abgabe von Radionukliden ans Abwasser aus stationären Behandlungen ist erneut gegenüber dem Vorjahr um rund 25% gesunken. Dies kann mit dem geringeren Umsatz an ^{131}I sowie der Erhöhung der Aktivität bei der Entlassung von Patienten aufgrund der revidierten Strahlenschutzgesetzgebung begründet werden. Die Abgabe der zu diagnostischen Zwecken verwendeter Radionuklide wie Technetium-99m ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) oder Fluor-18 (^{18}F) ans Abwasser unterliegt keiner systematischen Kontrolle, da die Immissionsgrenzwerte für diese kurzlebigen Radionuklide unter den gegebenen Umständen nicht überschritten werden können.

Ausgangslage

Spitäler und Institute, die offene radioaktive Quellen zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken am Menschen applizieren sind verpflichtet, den Umsatz, den Zweck der Applikation, sowie die Abgabemenge kontaminierter Abwässer an die Umwelt der Aufsichtsbehore BAG jährlich zu melden. Die gemeldeten Daten werden durch das BAG ausgewertet und dienen später zur Festlegung von Aufsichtsschwerpunkten.

Therapeutische Anwendung von Radionukliden

^{131}I , das zur Schilddrusentherapie verwendet wird, kann den Patienten bis zu einer Aktivität von 200 MBq ambulant verabreicht werden (mit Sonderbewilligung im Einzelfall bis 400 MBq). Bei höheren Aktivitäten werden die Patienten mindestens für die ersten 48 Stunden in speziellen Therapiezimmern isoliert und dürfen erst entlassen werden, wenn eine Dosisleistung von $10\ \mu\text{Sv/h}$ in einem Abstand von 1 m unterschritten wird. Diese Entlassungsdosisleistung wurde mit der Inkraftsetzung der revidierten Strahlenschutzverordnung per 1. 1. 2018 von 5 auf $10\ \mu\text{Sv/h}$ erhöhet. Durch die verkürzte Stationierung der Patienten verringern sich auch die Abgaben von ^{131}I aus den Therapiestationen ans Abwasser. Die Ausscheidungen der hospitalisierten Therapiepatienten werden in speziell dafür vorgesehenen Abwasserkontrollanlagen gesammelt und erst nach dem Abklingen unterhalb der bewilligten Abgabelimite an die Umwelt (Abwasser) abgegeben.

Andere Radionuklide wie zum Beispiel ^{90}Y , ^{177}Lu oder ^{223}Ra werden bei Patienten mit einer Tumorerkrankung zur Schmerzlinderung und Therapie verwendet sowie bei rheumatischen Erkrankungen zur Entzündungshemmung und Schmerzlinderung in Gelenke appliziert. Die Applikation erfolgt ambulant oder stationär je nach medizinischer Indikation und applizierter Aktivität.

Tabelle 1:
Applikationen radioaktiver Stoffe zu therapeutischen Zwecken 2018 in MBq.

	Spital	^{131}I amb.	^{131}I stat.	^{186}Re	^{169}Er	^{90}Y	^{177}Lu	^{223}Ra
AG-40.2	Kantonsspital Aarau AG	400			30	1'110		408
AG-579.2	Kantonsspital Baden AG		134'990			12'370	25'900	
BE-32.2	Klinik Linde AG	1'400						
BE-138.2	Klinik Engeried							223
BE-284.12	Inselspital		272'501	148	111	3'145	460'600	329
BL-158.2	Kantonsspital Baselland	380				555		3
BL-315.2	Kantonsspital Liestal	385						177
BS-30.2	St. Claraspital	1'739				4'270		60
BS-350.1	Universitätsspital Basel		182'373	925	37	28'850	2'492'600	138
FR-103.2	HFR Hôpital fribourgeois		56'000			380		131
GE-200.3	HUG		127'383			77'954		28
GE-752.3	Hôpital de la Tour							101
GE-1633.1	GRGB Santé SA	400						109
GR-54.2	Kantonsspital Graubünden	1'535	62'465	55		3'145		108
LU-1.2	Hirslanden-Klinik St. Anna	199	57'001	74		40'929		
LU-527.11	Luzerner Kantonsspital LUKS					54'666		463
NE-169.6	Hôpital Neuchâtelois	1'746						64
SG-195.3	Kantonsspital St. Gallen		143'797			2'405	302'002	
SO-29.6	Bürgerhospital Solothurn	400	32'330			370		72
SO-143.4	Kantonsspital Olten							17
TG-46.2	Spital Thurgau AG		45'452		37	777		126
TG-53.2	Spital Thurgau AG					740		
TI-453.6	Ospedale Regionale Bellinzona e Valli	1'200	127'340			7'000	14'800	288
TI-482.4	Ospedale Civico	1'800			111	1'110		
VD-129.2	Clinique de la Source	2'687						111
VD-206.2	Hôpital de la Riviera							185
VD-784.4	Genolier Swiss Medical Network							74
VD-832.14	CHUV		270'844			96'676	348'700	100
VS-125.1	RSV Hôpital du Valais		42'180					
VS-532.1	Affidea CIV					185		
ZH-57.4	Stadtspital Waid	3'276			53			
ZH-117.2	Klinik Hirslanden			422	37	86'990		169
ZH-348.7	Universitätsspital Zürich		334'258	333	259	43'921	270'983	123
ZH-352.3	Kantonsspital Winterthur	1'168	112'838	111		79'740		328
ZH-1171.13	Stadtspital Triemli		254'281	100		32'826		400
	Gesamte Schweiz 2018	18'715	2'256'032	2'168	675	580'114	3'915'585	4'334

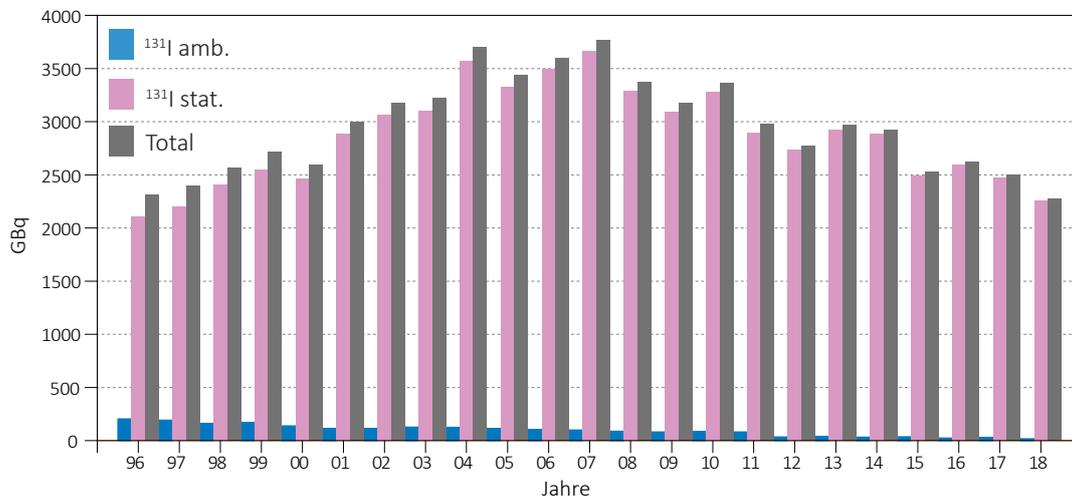
Abgabe radioaktiver Stoffe ans Abwasser

Die für einen Betrieb bewilligte Abgabeaktivität radioaktiver Stoffe ans Abwasser richtet sich nach Art. 24 Abs. 2 der Strahlenschutzverordnung. Danach darf die Aktivitätskonzentrationen in öffentlich zugänglichen Gewässern im Wochenmittel die in Anhang 7 StSV festgelegten Immissionsgrenzwerte für Gewässer (IG_{GW}) nicht überschreiten. Die in der Praxis durch das BAG bewilligte Abgabelimite für ¹³¹I beruht auf den Angaben bezüglich der gesamten Abwassermenge des jeweiligen Betriebs und der zusätzlichen Verdünnung in der Abwasserkläranlage. Die Einhaltung der oben erwähnten Abgabelimiten gewährleistet, dass die geltenden Immissionsgrenzwerte in öffentlichen Gewässern zu keiner Zeit überschritten werden. Werden andere Nuklide als Jod-131 (¹³¹I) über die Abwasserkontrollanlage an die Umwelt abgegeben (⁹⁰Y, ¹⁷⁷Lu) wird dieser Anteil in ¹³¹I Äquivalente umgerechnet und in die Abgabeaktivität mit einbezogen. Die Spitäler sind verpflichtet, die Abgaben radioaktiver Abwässer so gering wie möglich zu halten und dazu laufend organisatorische und technische Optimierungsmassnahmen vorzunehmen.

Tabelle 2:

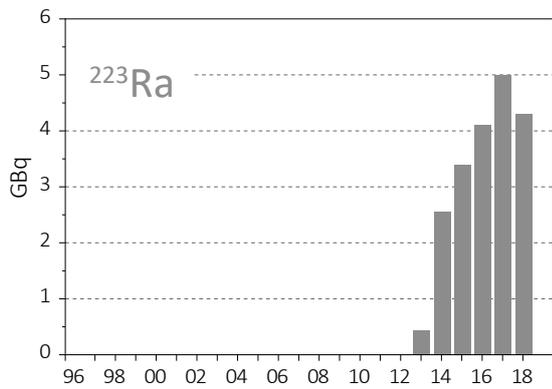
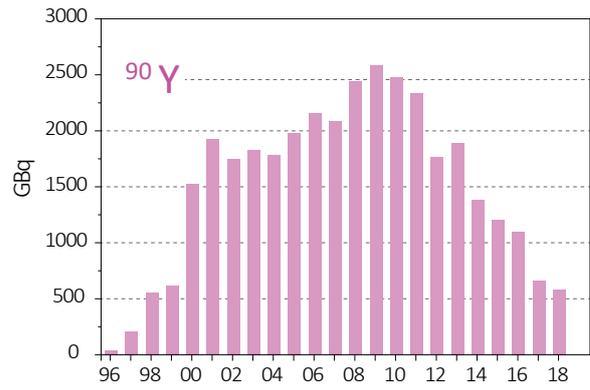
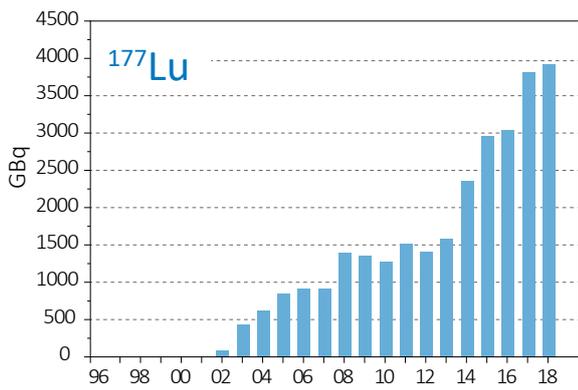
Abgabe von ¹³¹I aus Abwasserkontrollanlagen ans Abwasser 2018 in MBq.

Abgabe MBq/Monat Nuklearmedizin	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Total 2018
KS Chur	4.5	17.9	8.8	5.7	1.0	1.0	3.8	4.7		2.8	2.4		52.5
BS Solothurn		1.2				7.5		1.7					10.5
OR Bellinzona	1.4		4.7										6.1
KS St. Gallen	1.6	3.6	5.1	4.7	0.5	0.3		0.1	0.5	0.3	3.5		20.1
Triemli Zürich		0.8	1.0	1.7	0.9	2.3	2.2	1.1	3.8	1.1	2.3		17.2
HFR Fribourg	4.0				1.0						1.0		6.0
HU Genève		32.4				0.8			7.9				41.1
RSV Sion		3.8	2.3	3.8		0.3	1.6	1.2		0.1	1.3		14.4
KS Baden	0.4	3.2	13.1	14.3	34.6	15.1	6.7	28.9	23.8	23.4	13.8		177.2
CHUV Lausanne	36.4	58.4	32.0					0.7		0.2			127.7
US Basel	311.1	232.4	271.8	269.6	422.5	220.4	373.1	310.0	244.8	243.4	297.2	90.4	3'286.7
KS Winterthur										9.0			9.0
US Zürich													
St. Anna Luzern	2.8					0.7	7.6	0.7		1.4			13.1
Insel Bern	1.0	5.8	20.1	73.6	24.2	50.1	46.8	17.3	5.8	8.1	3.2	64.6	320.6
Spital Münsterlingen		1.2		4.5			9.0						14.7
Gesamte Schweiz 2018 MBq													4'116.8

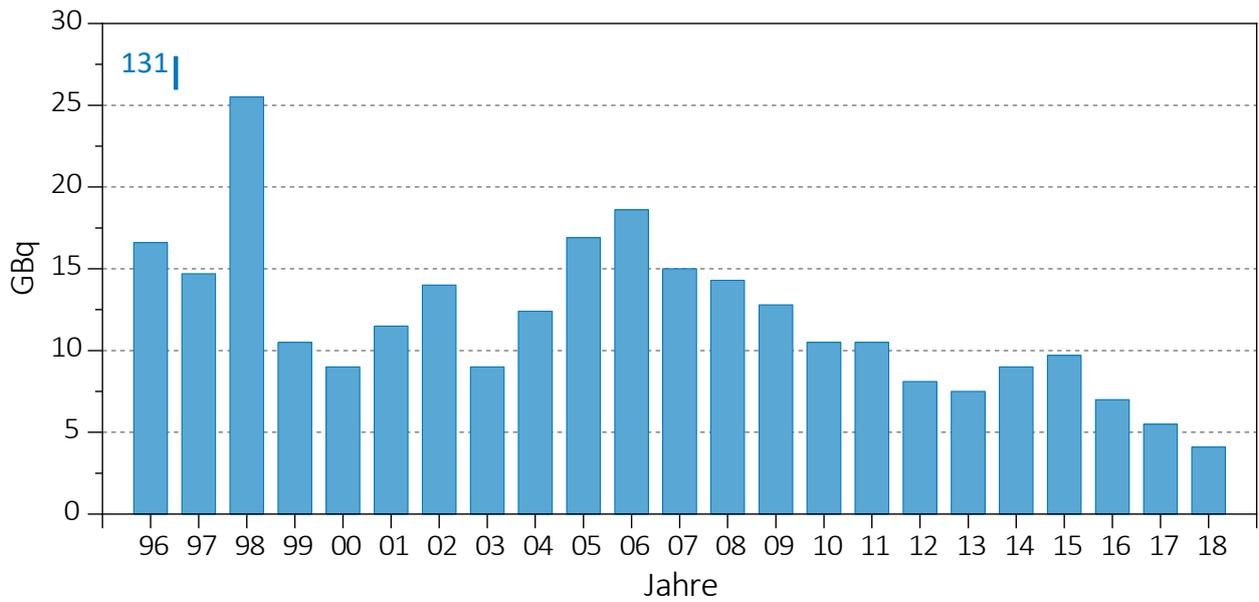


Figur 1:

Umsatz an ¹³¹I zu therapeutischen Zwecken in GBq



Figur 2:
Umsatz weiterer Therapie-Nuklide in GBq



Figur 3:
Abgabe von ^{131}I ins Abwasser in der Schweiz in GBq

9.3

Surveillance de la radioactivité au voisinage des industries, stations d'épuration et usines d'incinération des déchets

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

Section Radioactivité de l'environnement URA / OFSP Berne

M. Zehringer

Kantonaales Labor Basel-Stadt, Basel

M. Brennwald, P Rünzi

Eawag, Dübendorf

Résumé

Les résultats de la surveillance effectuée en 2018 au voisinage des entreprises utilisatrices de tritium ont montré un marquage significatif de l'environnement (précipitations, denrées alimentaires) par ce radionucléide, à proximité immédiate de ces entreprises, en particulier à Niederwangen. En effet, les concentrations enregistrées dans les précipitations prélevées au mois d'août au voisinage de l'entreprise mb microtec ont atteint 1'534 Bq/l, soit environ 7.7% de la nouvelle limite d'immissions pour le tritium dans les eaux accessibles au public. Des valeurs plus élevées de tritium ont également été mesurées dans les denrées alimentaires prélevées au voisinage de l'entreprise. Les doses supplémentaires occasionnées pour la population avoisinante sont toutefois restées très faibles.

Les résultats des mesures des eaux des stations d'épuration et des eaux de lavage des fumées des usines d'incinération n'ont révélé aucune valeur anormale. Des concentrations plus élevées de tritium ont été enregistrées à quelques reprises dans les échantillons hebdomadaires d'eau de lavage des fumées de l'usine d'incinération de Bâle-Ville, mais n'ont pas entraîné d'augmentation mesurable de la concentration de tritium dans les eaux du Rhin.

Introduction

Tout comme les installations nucléaires, les entreprises qui utilisent des substances radioactives et qui disposent d'une autorisation réglementant leurs rejets dans l'environnement font l'objet d'une surveillance particulière, mise en place par la SUVA (autorité de surveillance pour les industries) et l'OFSP. Ces programmes spécifiques commencent au terme source, par la surveillance des rejets: les exploitants sont en effet tenus de mesurer le bilan de leurs émissions et de le communiquer chaque mois aux autorités. La SUVA vérifie ces déclarations par le biais de mesures de contrôle.

Tableau 1 :

Tritium dans les précipitations au voisinage des entreprises utilisatrices de ³H en 2018.

Lieu	Valeur min/max (Bq/l)	Mediane/moyenne (Bq/l)
Teufen/AR 65 m E Firma RCT	10 - 198	25 / 41
Niederwangen/BE*		
Bauernhaus 300 m SE de l'entreprise	13 - 200	59 / 75
Garage 200 m SW de l'entreprise	9 - 151	47 / 58
Gemeinde Köniz 180 m NNW de l'entreprise	31 - 1'353	100 / 174
Firma Schär 320 m NE de l'entreprise	179 - 1'534	562 / 652

* A Niederwangen, 22 échantillons ont été mesurés pour chaque station en 2018. En effet, en raison du manque de précipitation, il n'y a pas eu d'échantillons pour les périodes du 11 au 25 juin, du 01 au 16 octobre, ainsi que du 11.11 au 06.12.2018.

La surveillance se poursuit par la mesure des immissions de ces entreprises, à savoir des concentrations radioactives effectivement présentes dans l'environnement dans leur voisinage.

L'OFSP coordonne également un programme spécifique de prélèvements et de mesures des eaux des stations d'épuration ainsi que des eaux de lavage des fumées des usines d'incinération des déchets. La surveillance des stations d'épuration permet d'évaluer les rejets de certaines substances radioactives dans l'environnement par les industries et les hôpitaux. Celle des usines d'incinération vise à s'assurer, autant que possible, qu'aucun déchet radioactif ne soit accidentellement ou intentionnellement éliminé par le circuit des ordures conventionnelles.

Voisinage des entreprises utilisatrices de Tritium ³H

Certaines industries ont recours au tritium pour la fabrication de sources lumineuses au gaz de tritium ou pour la production de marqueurs radioactifs au tritium pour la recherche. C'est le cas des entreprises mb microtec à Niederwangen/BE et de RC Tritec à Teufen/AR. Les émissions de ces entreprises sont détaillées au chapitre 9.1.

Dans le cadre de la surveillance de l'environnement dans leur voisinage, l'OFSP collecte des échantillons de précipitations à Teufen/AR ainsi qu'en 4 endroits distincts à Niederwangen/BE. La concentration en tritium des échantillons de Teufen et celle des précipitations de Niederwangen sont analysées tous les 15 jours. Les résultats 2018 sont résumés dans le tableau 1. A titre de comparaison, notons que les concentrations mensuelles de tritium mesurées dans les précipitations à la station de référence de Posieux sont restées, en 2018, très proches ou inférieures à la limite de détection de 2 Bq/l.

Les résultats de la surveillance mise en œuvre au voisinage des entreprises utilisatrices de tritium montrent ainsi un marquage significatif de l'environnement (précipitations, denrées alimentaires) par ce radionucléide, à proximité immédiate de ces entreprises, en particulier au voisinage de mb-microtec à Niederwangen. La figure 1 présente les concentrations de tritium enregistrées en 2018 dans les précipitations des stations de collecte «Bauernhaus» (située à 300 m au sud est de l'entreprise) et «Firma Schär» (située à 320 m au nord est de l'entreprise). Avec une concentration de 1'534 Bq/l au mois de mai, c'est dans cette station qu'a été enregistrée la plus forte teneur en tritium dans un échantillon de précipitations au cours de l'année. Cette valeur représente environ 7.7% de la valeur limite d'immissions fixée à 20'000 Bq/l¹ pour ce radionucléide dans la nouvelle ordonnance sur la radioprotection (ORaP du 26 avril 2017) pour les eaux accessibles au public. Après la baisse des valeurs constatées en 2015 et 2016, les valeurs 2018 se situent à nouveau dans la fourchette haute des concentrations mesurées aux stations de Firma et Köniz au cours des 10 dernières années (voir figure 2). A titre

¹ La valeur limite d'immission pour le tritium est passé de 12'000 Bq/l à 20'000 Bq/l dans la nouvelle ORaP; cette valeur est dérivée sur la base d'une valeur cible de dose de 0.3 mSv et une consommation annuelle d'eau présentant une activité égale à la valeur limite d'immissions.

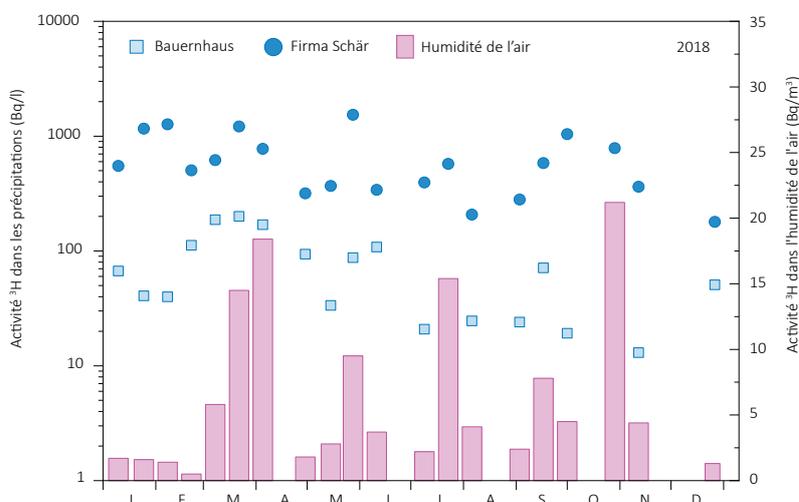


Figure 1 : *Activité du tritium dans les précipitations (Bq/l) et dans l'humidité de l'air (Bq/m³ d'air) enregistrées en 2018 à Niederwangen/BE.*

indicatif, notons que la consommation régulière pendant un mois (soit 54 l) d'une eau ayant une concentration de 1'534 Bq/l conduirait à une dose supplémentaire de l'ordre de 1.5 μ Sv.

A Niederwangen, l'activité du ^3H dans l'humidité de l'air est également mesurée deux fois par mois (Fig. 1). Les valeurs obtenues en 2018 se sont échelonnées entre 0.5 et 21 Bq/m³ avec une valeur moyenne de 6.25 Bq/m³. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées fin mars-début avril ainsi qu'en octobre. Ces valeurs ne présentent pas de corrélation directes avec les résultats des mesures dans les précipitations.

Des valeurs plus élevées de tritium ont également été mesurées dans les denrées alimentaires prélevées par le canton de Berne au voisinage de l'entreprise fin août, atteignant 331 Bq/l dans le distillat d'un échantillon de pruneaux et 234 Bq/l dans celui d'un échantillon de pomme. Dans les distillats des 10 autres échantillons de fruits et légumes récoltés (pommes, poires, pruneaux, rhubarbe, légumes du jardin et courges), les concentrations se sont échelonnées entre 44 et 114 Bq/l. Dans les distillats des échantillons de lait, les concentrations en tritium étaient plus faibles, situées entre 16 et 23 Bq/l (3 échantillons). Bien que ces valeurs maximales soient en diminution par rapport à celles mesurées en 2017, au cours de laquelle une valeur maximale de 667 Bq/l avait été mesurée dans le distillat d'un échantillon de rhubarbe, elles restent supérieures aux niveaux habituellement enregistrés au cours de la période 2008-2015.

Suite aux valeurs élevées enregistrées dans les denrées alimentaires prélevées fin août 2017, la SUVA avait alors pris contact avec l'entreprise, qui l'avait informé que des quantités plus importantes de tritium (mais inférieures aux limites légales) avait été rejetées vers l'atmosphère fin juin et fin juillet 2017 en raison de problèmes techniques qui avaient pu rapidement être résolus. Consciente de cette problématique, l'entreprise avait alors pris des mesures en initiant un projet visant à réduire les émissions de tritium en rénovant son système de ventilation. Le projet est encore en cours. La réduction des rejets devrait être effective vers fin 2019 - début 2020.

Notons finalement que bien que ces valeurs soient significativement plus élevées que la normale, la consommation régulière (50 kg /an) de produits avec une concentration de tritium égale à la valeur maximale enregistrée en 2018 conduirait à une dose supplémentaire de l'ordre de 1 à 2 micro-Sv en fonction de l'âge du consommateur et de la forme chimique du tritium. Ces denrées ne représentent donc pas de risque pour la santé du consommateur.



Figure 2 : Valeurs moyennes et médianes annuelles des concentrations de tritium mesurées dans les précipitations aux stations de Firma et Köniz à Niederwangen entre 2008 et 2018.

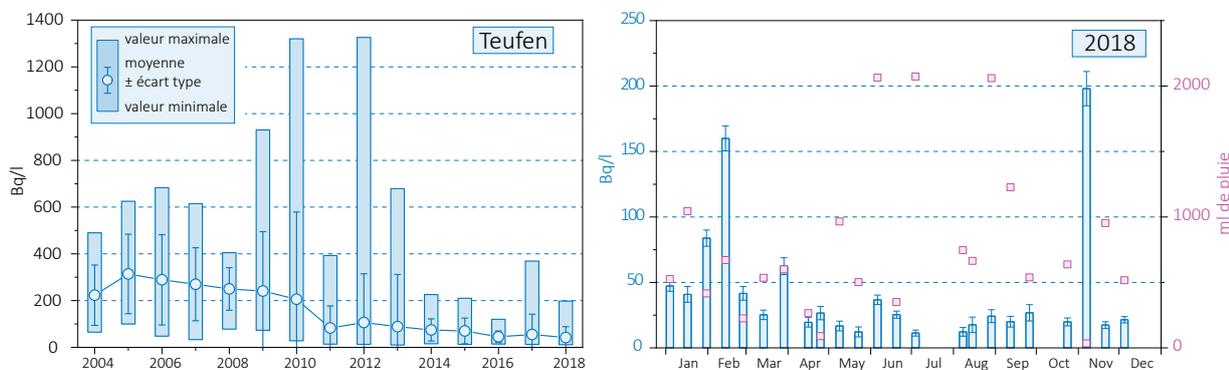


Figure 3 : Concentration du tritium mesurée dans les précipitations de Teufen / AR entre 2004 et 2018.

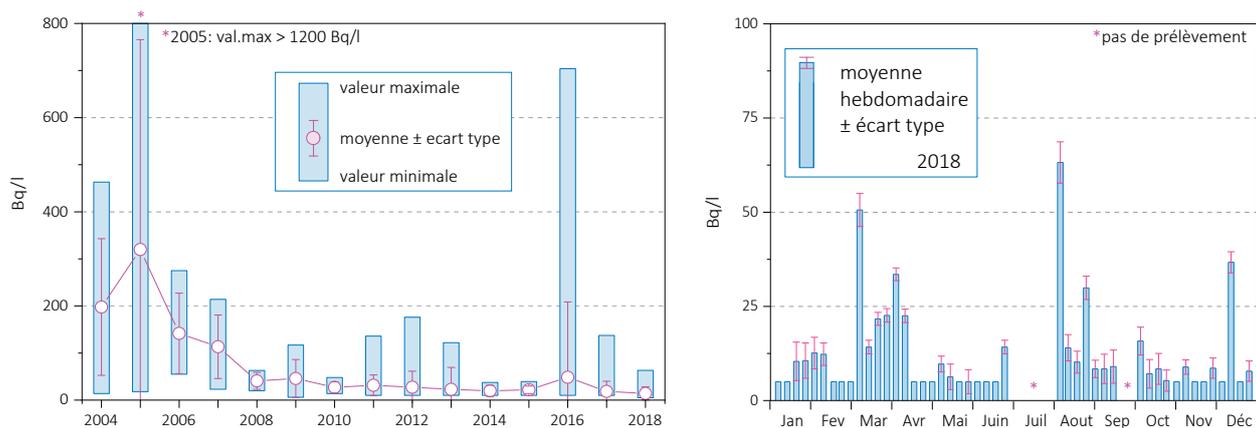


Figure 4 : Concentrations du tritium mesurées dans les eaux de la station d'épuration de La Chaux-de-Fonds entre 2004 et 2018.

La figure 3 montre le suivi des concentrations de ^3H enregistrées dans les précipitations collectées à 65 m à l'est de la cheminée de la firme RC Tritec à Teufen et mesurées par l'OFSP au cours des 12 dernières années. Elle montre la nette diminution des concentrations de tritium mesurées dans l'environnement au voisinage de cette entreprise depuis 2014. Après la légère augmentation mesurée en 2017, les valeurs 2018 sont à nouveau similaires à celles de 2016, c'est-à-dire parmi les plus faibles mesurées depuis le début de la surveillance.

Ces résultats sont à mettre en relation avec la diminution régulière des rejets dans l'air (voir figure 1b, Chap 9.1) par l'entreprise.

Stations d'épuration (STEP) et eaux de lavage des fumées des usines d'incinération

Plusieurs laboratoires analysent les eaux des stations d'épuration des agglomérations de Zürich, Bâle, Berne, Lausanne et La Chaux-de-Fonds ainsi que les eaux de lavage des fumées des usines d'incinération de Bâle-Ville et de Bienne afin de déceler d'éventuelles éliminations de ^3H ou de ^{131}I dans l'environnement. Les résultats de ces mesures sont résumés dans le tableau 2 pour l'année 2018.

Depuis 2016, le laboratoire cantonal de Bâle a renoncé aux mesures journalières du tritium dans les eaux de lavage des fumées de l'usine d'incinération de Bâle. Un mélange des échantillons journaliers est maintenant

mesuré chaque semaine. Des pics de concentration journalière de ^3H dépassant les 100'000 Bq/l durant un à deux jours avaient été régulièrement observés par le passé, notamment en 2003-2005 ainsi qu'en 2014-2015. Malgré les recherches menées la SUVA en collaboration avec l'OFSP et le laboratoire cantonal de Bâle-Ville, son origine n'avait malheureusement toujours pas pu être éclaircie. La combustion de montres ou d'autres objets contenant du tritium (peinture luminescente), qui auraient été jetées dans les ordures ménagères, consti-

Tableau 2 : Tritium (^3H) et ^{131}I dans les eaux de rejet des usines d'incinération et des stations d'épuration (STEP) en 2018.

Ville	Laboratoire	Isotope	Nombre	Valeur min/max (Bq/l)	Médiane (Bq/l)	Moyenne (Bq/l)
STEP Bâle	KL-BS	^{131}I	57	< 0.1 - 0.7	-	-
		^3H	57	< 2.0 - 12.0	-	-
Incinération Bâle		^{131}I	54	0.1 - 2.0	0.3	0.4
		^3H	54	35 - 14'000	171	646
STEP Berne	Labor Spiez	^{131}I	52	< 0.1 - 0.16	-	-
	URA/OFSP	^3H	12	< 5.0 - 33.5	8.1	-
STEP Bienne	URA/OFSP	^3H	52	< 5.0 - 88.0	5.0	-
STEP La Chaux-de-Fonds	URA/OFSP	^3H	46	< 5.0 - 63.2	8.4	-
STEP Lausanne	IRA	^{131}I	46	< 0.5	-	-
		^3H	9	< 2.0 - 2.0	-	-
STEP Zürich	EAWAG	^{131}I	52	< 0.1 - 1.6	-	-
	URA/OFSP	^3H	13	< 5.0	-	-

tue toutefois une explication possible. Si aujourd'hui les concentrations journalières ne sont plus mesurées, de telles augmentations se reflètent au niveau des concentrations moyennes hebdomadaires. En 2018 toutefois, ce phénomène n'a pratiquement plus été observé puisqu'une seule augmentation significative de la concentration hebdomadaire moyenne du tritium, dépassant les 10'000 Bq/l, a été enregistrée dans les eaux de lavage des fumées de l'usine d'incinération de Bâle.

Le tableau 2 montre que les concentrations de ^3H dans les échantillons hebdomadaires d'eau de la STEP de Bâle sont généralement restées proches ou inférieures à la limite de détection de 2 Bq/l, avec une valeur maximale de 12 Bq/l. Les mesures mensuelles du ^3H dans les eaux du Rhin près de Weil/D, en aval de Bâle, n'ont par ailleurs montré aucune augmentation des teneurs en ^3H dans le Rhin en relation avec les pics de concentration observés dans l'eau de lavage des fumées de l'usine d'incinération de Bâle.

La SUVA mesure quant à elle le tritium dans les échantillons hebdomadaires d'eaux de lavage des fumées de l'usine d'incinération de Berne. En 2018, les valeurs se sont échelonnées entre 100 et 26'800 Bq/l et n'ont pas présenté de corrélation avec l'activité présente dans les déchets contenant du tritium déclarés par les entreprises autorisées.

Les concentrations de tritium observées à la STEP de la région de La Chaux-de-Fonds sont à nouveau restées faibles en 2018, après l'augmentation enregistrée en 2016. La figure 4 montre qu'après la nette diminution observée jusqu'en 2008, en corrélation avec la très forte baisse de l'utilisation du ^3H dans les ateliers de posage de la région et l'arrêt complet de cette activité en 2008, les concentrations de tritium dans les eaux de la STEP de la Chaux-de-Fonds se sont stabilisées à des niveaux généralement faibles. A la STEP de Bienne, les concentrations de tritium pour l'année 2018 sont restées inférieures ou voisines de la limite de détection de 10 Bq/l, à l'exception d'une valeur atteignant 88 Bq/l à la mi-octobre. A la STEP de Werdhözli à Zürich, aucun émetteur gamma d'origine artificielle n'a pu être décelé dans les échantillons hebdomadaires d'eaux prélevés et mesurés par l'EAWAG, à l'exception du ^{131}I décelés dans 9 échantillons (valeurs comprises entre 0.1 Bq/l et 1.6 Bq/l).

La figure 5 montre les concentrations de ^{131}I mesurées entre 2008 et 2018 dans les échantillons d'eaux de lavage des fumées de l'usine d'incinération de Hagenholz à Zürich par l'EAWAG. Les échantillons sont prélevés chaque mois par sondage. A noter qu'il a été constaté fin 2017 qu'un raison d'un manque de coordination ces échantillons avaient été prélevés pendant plusieurs années après le passage d'une cartouche filtrante dans l'installation de traitement de l'usine d'incinération. Ce filtre élimine le charbon actif utilisé dans le traitement des eaux usées et par conséquent probablement les radionucléides présents dans l'eau de lavage, ce qui rend les échantillons correspondants moins pertinents. En 2018, un échantillon a été prélevé avant

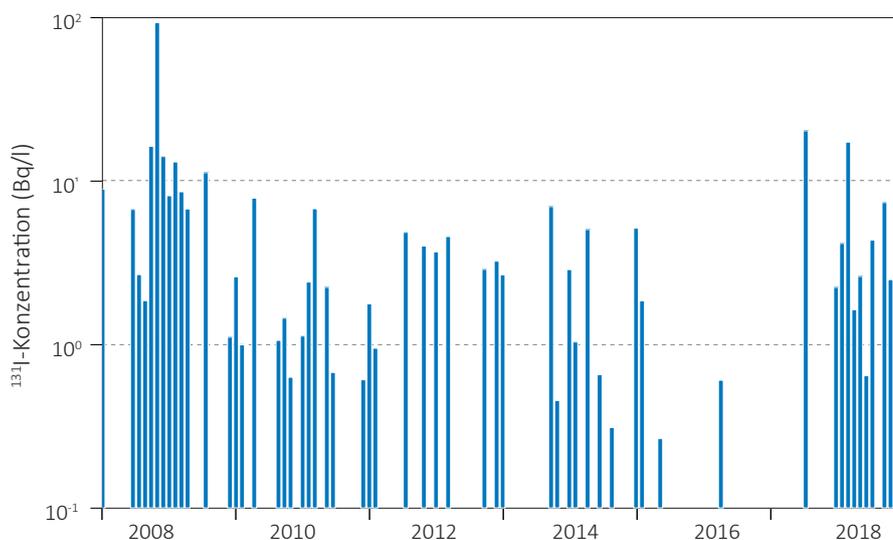


Figure 5 :
Concentrations de ^{131}I (Bq/l) enregistrées dans les eaux de lavage des fumées de l'usine d'incinération de Hagenholz de 2008 à 2018 (prélèvement et analyse effectués par l'EAWAG).

et après le filtre pendant 6 mois pour vérifier cette hypothèse. Il s'est avéré que le ^{131}I n'était effectivement présent que dans les échantillons prélevés avant la filtration (données non présentées). Par conséquent, le personnel d'exploitation de l'usine d'incinération a reçu l'instruction de toujours prélever l'échantillon avant le filtre (c'est-à-dire avec du charbon actif en suspension). Ainsi à l'exception de deux échantillons (qui ont été prélevés par erreur après le filtre), le ^{131}I a été mesuré dans tous les échantillons prélevés en 2018 (0.6-16 Bq/l), contrairement aux années précédentes.

Conclusions

Les résultats des mesures effectuées en 2018 à proximité des entreprises utilisatrices de tritium ont montré un marquage significatif de l'environnement par ce radionucléide dans leur voisinage immédiat, en particulier à Niederwangen. Dans les précipitations, les concentrations en ^3H ont atteint au maximum env. 7.7% de la valeur limite d'immissions définie dans l'ORaP pour le tritium dans les eaux accessibles au public et des valeurs plus élevées de ^3H ont également été mesurées dans les échantillons de denrées alimentaires (concentration maximale de 331 Bq/l dans le distillat d'un échantillon de pruneaux). Même si ces valeurs ne représentent pas un risque pour la santé de la population avoisinante, puisque les doses supplémentaires qui résulteraient de la consommation régulière de tels produits (eaux de pluie et légumes) ne devraient pas dépasser 10 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, elles se situent dans la fourchette haute des 10 dernières années. Consciente de cette problématique, l'entreprise s'est d'ailleurs engagée dans un projet visant à réduire ses émissions d'ici 2019-2020.

Si des concentrations plus élevées de tritium ont encore été enregistrées à quelques reprises dans les échantillons hebdomadaires d'eau de lavage des fumées de l'usine d'incinération de Bâle-Ville, ce phénomène a été nettement moins marqué que les années précédentes.

9.4

Aktionsplan Radium 2015-2019

M. Palacios, Ch. Murith, D. Storch
Radiologische Risiken, Abteilung Strahlenschutz, Bern

Zusammenfassung

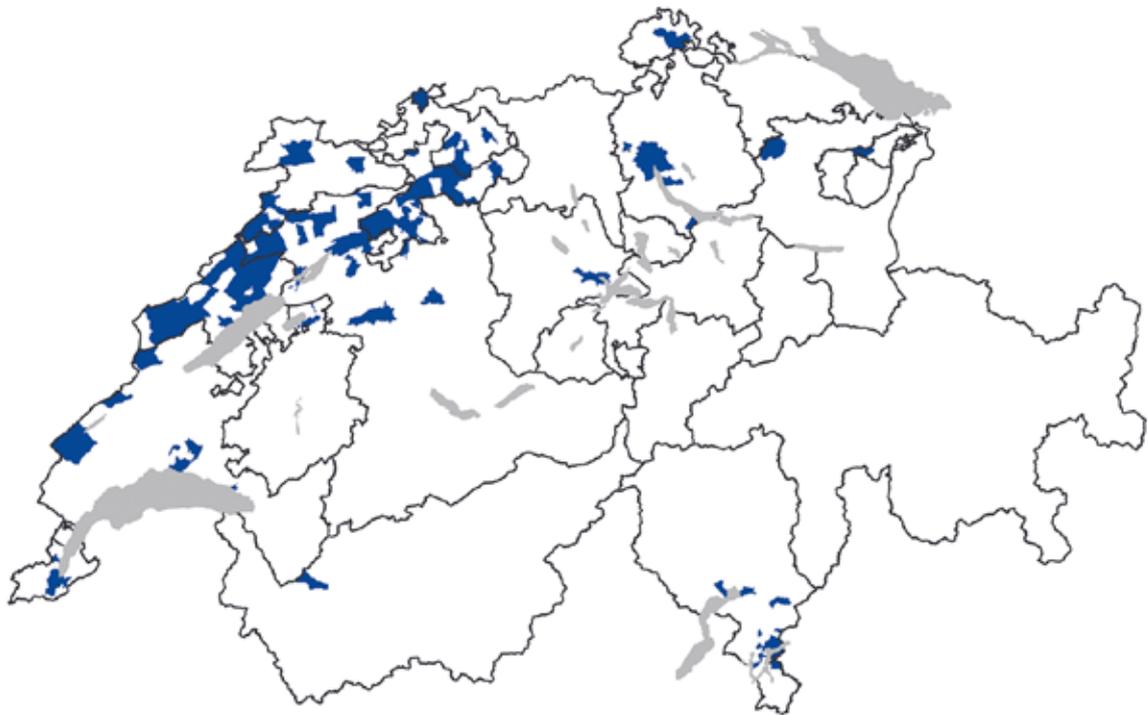
Der Aktionsplan Radium 2015-2019 verfolgt das Ziel, die radiologischen Altlasten zu sanieren, die entstanden sind, weil die Uhrenindustrie bis in die 1960er-Jahre Leuchtfarbe mit Radium-226 (^{226}Ra) verwendet hat. Das Bundesamt für Gesundheit (BAG) hat 2018 einen Bericht über den Stand der Arbeiten des Aktionsplans erstellt. Die historischen Nachforschungen zeigen, dass landesweit rund 1'000 Liegenschaften potenziell mit ^{226}Ra kontaminiert sind; bei der Ausarbeitung des Aktionsplans wurde diese Zahl noch auf 500 geschätzt. Von den 540 bislang bereits kontrollierten Gebäuden wiesen 100 ein für die Bewohnerinnen und Bewohner inakzeptables Expositionsniveau auf und müssen saniert werden. Bis heute wurden bereits über 70 Gebäude saniert. Eine Verlängerung des Aktionsplans bis 2022 drängt sich auf, damit das Vorhaben zu Ende geführt werden kann. Der Bundesrat wird Anfang 2019 über eine allfällige Redimensionierung der zugeteilten Mittel entscheiden.

Historische Nachforschungen

Das BAG hat das Historische Institut der Universität Bern beauftragt, alle Liegenschaften in der Schweiz zu inventarisieren, in denen bei Tätigkeiten für die Uhrenindustrie mit ^{226}Ra gearbeitet wurde. Die Universität Bern hat durch die systematische Analyse der Archive der am stärksten betroffenen Kantone rund 1'000 potenziell mit ^{226}Ra kontaminierte Liegenschaften (Gebäude und angrenzende Gärten) ermittelt. Diese befinden sich mehrheitlich in den Kantonen mit Uhrmachertradition: Neuenburg, Bern und Solothurn. Auch in anderen Kantonen sind einige Liegenschaften zu kontrollieren, namentlich in Basel-Landschaft, Genf, Jura, Tessin, Waadt und Zürich. Eine Übersicht über die betroffenen 114 Gemeinden mit potenziell kontaminierten Liegenschaften zeigt die Karte in Figur 2. 19. 99% dieser Fälle gehen auf Tätigkeiten in der Uhrenindustrie zurück, vor allem im Rahmen von Heimarbeit. Nach Artikel 151 der am 1. Januar 2018 in Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung (StSV) führt das BAG ein Inventar der Liegenschaften, die möglicherweise kontaminiert sind. Das BAG hat den betroffenen Gemeinden und Kantonen Auszüge aus dem Inventar übermittelt. Der Bericht zu den historischen Nachforschungen ist veröffentlicht unter: www.bag.admin.ch/radium-altlasten.



*Figur 1 :
Uhrenatelier in der 1950er-Jahren in Mont-Lucelle damals Kanton Bern.
Quelle: Keystone*



Figur 2 :
114 betroffene Gemeinden mit potenziell kontaminierten Liegenschaften (blau)

Diagnostische Untersuchungen

Eine diagnostische Untersuchung besteht aus der Messung der Dosisleistung auf der gesamten Grundfläche des betroffenen Gebäudes oder der betroffenen Aussenfläche. Gemessen wird auf zwei Ebenen in 10 cm bzw. 1 Meter Höhe ab Boden. Der Abstand der Messpunkte auf diesen Ebenen beträgt 1 Meter. Wenn in Innenräumen Spuren von Radium vorhanden sind, berechnet das BAG anhand der Dosisleistungen und Expositionsszenarien die zusätzliche Jahresdosis, der sich die Gebäude-Nutzenden aussetzen könnten. Zeigen die Berechnungen, dass der für die Schweizer Bevölkerung zulässige Grenzwert von 1 Millisievert (mSv) pro Jahr überschritten ist, werden die Räumlichkeiten saniert. Gärten sind sanierungsbedürftig, wenn die Konzentration von Radium in der Erde den Grenzwert von 1'000 Becquerel pro Kilogramm (Bq/kg) übersteigt. Bislang wurden bei 540 Liegenschaften mit insgesamt über 3'000 Wohnungen (oder Gewerbelokalen) diagnostische Messungen durchgeführt. 100 dieser Liegenschaften müssen saniert werden; dies entspricht 70 Wohnungen (oder Gewerbelokalen) und 64 Aussenflächen. Fast 90% der zu sanierenden Gebäude sind Wohngebäude. In den meisten Fällen lag die berechnete Dosis in den Innenräumen zwischen 1 und 10 mSv/Jahr. Bei fünf Gebäuden wurde jedoch eine Dosis zwischen 10 und 17 mSv/Jahr festgestellt. Die maximalen gemessenen ²²⁶Ra-Werte in Bodenproben von zu sanierenden Gärten lagen durchschnittlich bei 29'000 Bq/kg. In einem Fall wurden punktuell Werte von gegen 670'000 Bq/kg gemessen. Der Stand des Aktionsplans am 31. Dezember 2018 ist in Tabelle 1 ersichtlich.

Sanierungsprogramm

Über 70 Liegenschaften sind bereits saniert worden oder werden derzeit saniert. Das Sanierungskonzept beinhaltet die Planung, die Beseitigung der Kontamination, die Wiederherstellung, die Schlusskontrolle und die Entsorgung der Abfälle. Mit einer Innenraumsanierung soll eine Senkung der effektiven Dosis für die Bewohnerinnen und Bewohner auf 1 mSv/Jahr erreicht werden. Für die Aussenflächen wird eine Konzentration von weniger als 1'000 Bq/kg im Boden angestrebt. Ziel ist es, die Kontaminationen so stark wie möglich zu verringern und an jedem Punkt 10 cm über dem Boden eine Umgebungs- Äquivalentdosisleistung von weniger als 100 nSv/h netto zu erreichen.

Tabelle 1 :

Stand des Aktionsplans Radium am 31. Dezember 2018.

	Stand der diagnostischen Messungen	Ergebnisse der diagnostischen Messungen				Stand der Sanierung	
		Fälle ohne Sanierungsbedarf		Sanierungsfälle		Sanierung abgeschlossen (oder laufend)	
		Anzahl Gebäude	Anzahl Gebäude	betroffene Gemeinden	Anzahl Gebäude	betroffene Gemeinden	Anzahl Gebäude
Kanton BE	143	104	Biel / Bienne	39	Biel / Bienne	29	Biel / Bienne
	44	34	Bern, Büren an der Aare, Cortébert, Hasle b., Burgdorf, La Neuveville, Lengnau bei Biel, Loveresse, Lyss, Moutier, Nidau, Orpund, Pieterlen, Reconviiler, Saint-Imier, Sonvilier, Tramelan	10	Kräiligen, Nidau, Meinisberg, Moutier, Orpund, Safnern, Tavannes	9	Kräiligen, Nidau, Meinisberg, Orpund, Safnern, Tavannes
Kanton NE	176	150	La Chaux-de-Fonds	26	La Chaux-de-Fonds	20	La Chaux-de-Fonds
	48	44	Colombier, Corcelles-Cormondèche, Fleurier, La Brévine, Le Locle, Les Ponts-de-Martel, Neuchâtel, Peseux	4	Fleurier, Neuchâtel	1	Neuchâtel
Kanton SO	78	61	Aedermannsdorf, Biberist, Gerlafingen, Grenchen, Holderbank, Langendorf, Mümliswil, Olten, Rechterswil, Solothurn, Trimbach, Welschenrohr, Wolfwil, Zuchwil	17	Bellach, Bettlach, Biberist, Grenchen, Langendorf, Luterbach, Welschenrohr, Wolfwil	14	Bettlach, Bettlach, Biberist, Grenchen, Luterbach, Welschenrohr, Wolfwil
Andere Kantone	51	47	Arogno (TI), Carouge (GE), Bubendorf (BL), Chêne-Bougeries (GE), Courgenay (JU), Delémont (JU), Genève, Hölstein (BL), Küsnacht (ZH), Lausanne (VD), Le Noirmont (JU), Le Sentier (VD), Les Bois, Les Breuleux (JU), Locarno (TI), Niederdorf (BL), Petit-Lancy (GE), Porrentruy (JU), Saignelégier (JU), Vevey (VD), Waldenburg (BL), Ziefen (BL), Zürich	4	Genève, Tecknau (BL), Waldenburg (BL)	1	Genève
Total	540	440		100		74	

Das BAG hat acht ehemalige Industriestandorte identifiziert, bei denen aufgrund einer ^{226}Ra -Kontamination eine Sanierung erforderlich ist. Diese sind aber bereits im Kataster der belasteten Standorte aufgeführt. Darunter sind auch komplexe Fälle von Mischkontaminationen (chemisch und radiologisch). Diese neue Problematik erfordert spezifische Lösungen, die in Absprache mit dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) und den Kantonen gefunden werden müssen. 2018 wurde ein Pilotprojekt mit dem Labor Spiez und dem Paul Scherrer Institut lanciert, um die Aktivität radiumkontaminierter Proben zu senken, sodass die chemischen Schadstoffe in den Proben, insbesondere Schwermetalle und organische Chlorverbindungen, in konventionellen Laboren analysiert werden können.

Entsorgung

Gemäss Artikel 116 StSV können schwach kontaminierte brennbare Abfälle mit Zustimmung des BAG und nach Mitteilung an den Kanton in einer Verbrennungsanlage entsorgt werden. Die wöchentlich zur Verbrennung zugelassene Aktivität darf jedoch die tausendfache Bewilligungsgrenze gemäss StSV nicht überschreiten, d. h. 2 MBq für ^{226}Ra . Schwach kontaminierte inerte Abfälle können gemäss Artikel 114 StSV mit Zustimmung des BAG, des Kantons und des Deponiebetreibers an eine Deponie zur Ablagerung abgegeben werden, sofern ihre maximale spezifische Aktivität das Tausendfache der Befreiungsgrenze nicht überschreitet. Diese liegt bei 10 Bq/kg für ^{226}Ra ; sie ist im Rahmen der Revision der StSV von vormals 40 Bq/kg um das Vierfache gesenkt worden. Das Ablagerungsverfahren für inerte Abfälle musste in der Folge ebenfalls angepasst werden. Abfälle, deren Kontamination die genannten Werte übersteigt, werden unter Aufsicht des BAG in das Bundeszwischenlager in Würenlingen befördert.



Figure 3:
Triage der radiumkontaminierten Abfälle bei den Aushubarbeiten in der ehemaligen Deponie Lischenweg.

Überwachung von Deponien und anderen kontaminierten Standorten

2018 hat das BAG in Zusammenarbeit mit dem BAFU eine Strategie erarbeitet, um aus dem Kataster der belasteten Standorte diejenigen ehemaligen Deponien herauszufiltern, die potenziell mit ^{226}Ra kontaminierte Abfälle enthalten könnten. Die so ausgewählten Deponien werden gemäss dem potenziellen Risiko bei Aushubarbeiten für Arbeiter und Umwelt klassifiziert. Das Gesundheitsrisiko für die Bevölkerung ist minimal, solange eine solche alte Deponie geschlossen bleibt. Es werden dem Risikograd entsprechende Schutzmassnahmen wie die systematische Sortierung von Aushubmaterial definiert. Die Strategie wird den betroffenen Kantonen im Laufe des Jahres 2019 vorgestellt, darauf wird die Veröffentlichung eines Abschlussberichts folgen. Die radiologische Überwachung von Altdeponien ist langfristig und wird in die Grundaufgaben des BAG mit einbezogen.

Danksagung

Christophe Murith, Leiter des Radium-Aktionsplans 2015-2019, ging im November 2018 in den Ruhestand. Er war der Initiator des Aktionsplans, der 2014, nach der Veröffentlichung von Adressen ehemaliger Setzateliers für Radiumleuchtfarben in den Medien, ins Leben gerufen wurde. Wir danken ihm für sein Engagement, das es ermöglicht hat, die Ziele des Aktionsplans zu erreichen und sogar zu übertreffen, und wünschen ihm für die Zukunft alles Gute. Martha Palacios, wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung Strahlenschutz, hat die Rolle der für den Aktionsplan verantwortlichen Person übernommen.

10

Aktionsplan Radon 2012 - 2020

M. Palacios, Ch. Murith, D. Storch
Radiologische Risiken, Abteilung Strahlenschutz, Bern

Zusammenfassung

Ungefähr 10% der Lungenkrebsfälle in der Schweiz sind auf Radon in geschlossenen Räumen zurückzuführen. Dies entspricht rund 200 bis 300 Todesfällen pro Jahr. Wichtigstes Ziel des Aktionsplans Radon 2012-2020 ist es, die Strategie der Schweiz zum Radonschutz an die aktuellen internationalen Empfehlungen anzupassen. Mit dem Inkrafttreten der revidierten Strahlenschutzgesetzgebung am 1. Januar 2018 wurde ein wichtiger Meilenstein des Aktionsplans erreicht. Da der Aktionsplan das Ende seiner Laufzeit bald erreicht, ist derzeit eine externe Evaluation im Gang. Auf dieser Basis wird das Bundesamt für Gesundheit 2019 gemeinsam mit den betroffenen Kreisen seine neue Strategie erarbeiten.

Seit dem 1. Januar 2018 gilt gemäss Strahlenschutzverordnung (StSV) ein neuer Referenzwert von 300 Bq/m³ für die über ein Jahr gemittelte Radongaskonzentration in Räumen, in denen sich Personen regelmässig während mehrerer Stunden pro Tag aufhalten. Dies können beispielsweise Wohnräume, Klassenzimmer, Kindergärten oder Arbeitsplätze sein.

Mit der Einführung des neuen Referenzwerts ist Radon zu einem nationalen Problem der öffentlichen Gesundheit geworden und beschränkt sich nicht mehr auf einzelne Risikoregionen. Von den 150'000 Gebäuden, in denen bereits Messungen durchgeführt wurden, übersteigen 10% diesen Wert. Wird eine Überschreitung des Referenzwerts von 300 Bq/m³ festgestellt, so muss die Gebäudeeigentümerin oder der Gebäudeeigentümer nach Artikel 166 StSV die notwendigen Sanierungsmassnahmen treffen und die Kosten dafür tragen. Der Kanton kann die Radonsanierung anordnen, wenn die Gebäudeeigentümerin oder der Gebäudeeigentümer untätig bleibt. Im Übrigen sind die Baubewilligungsbehörden ab 2020 schweizweit angehalten, die Bauherrin oder den Bauherrn bei Neu- und Umbauten auf die Radonproblematik aufmerksam zu machen (Art. 163 StSV).

Umsetzung der neuen Gesetzesbestimmungen

2017 hat das BAG eine Arbeitsgruppe mit der Erarbeitung einer Wegleitung zu Radon beauftragt. Diese Arbeitsgruppe besteht aus Vertreterinnen und Vertretern der Kantone, der Suva, des Eidgenössischen Departements für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport, des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins (SIA) und des Hauseigentümerverbands. Anfang 2018 hat das BAG eine erste Version dieser Wegleitung, mit der die Dringlichkeit einer Radonsanierung beurteilt werden kann, unter www.ch-radon.ch (gesetzliche Bestimmungen bezüglich Radon) veröffentlicht.

Im Laufe des Jahres 2018 wurde die Wegleitung um weitere Aspekte ergänzt, namentlich was die Kriterien zur Priorisierung von Radonmessungen und zur Anordnung von Sanierungen anbelangt. Zudem wurden die Modalitäten für die Abgabe von Informationen zur Radonproblematik im Rahmen des Baubewilligungsverfahrens präzisiert und eine Vorlage für ein Informationsschreiben zur Verfügung gestellt. Im November 2018 hat das BAG allen Kantonen einen neuen Wegleitungsentwurf zur Konsultation unterbreitet. Die endgültige Version wird Anfang 2019 publiziert.

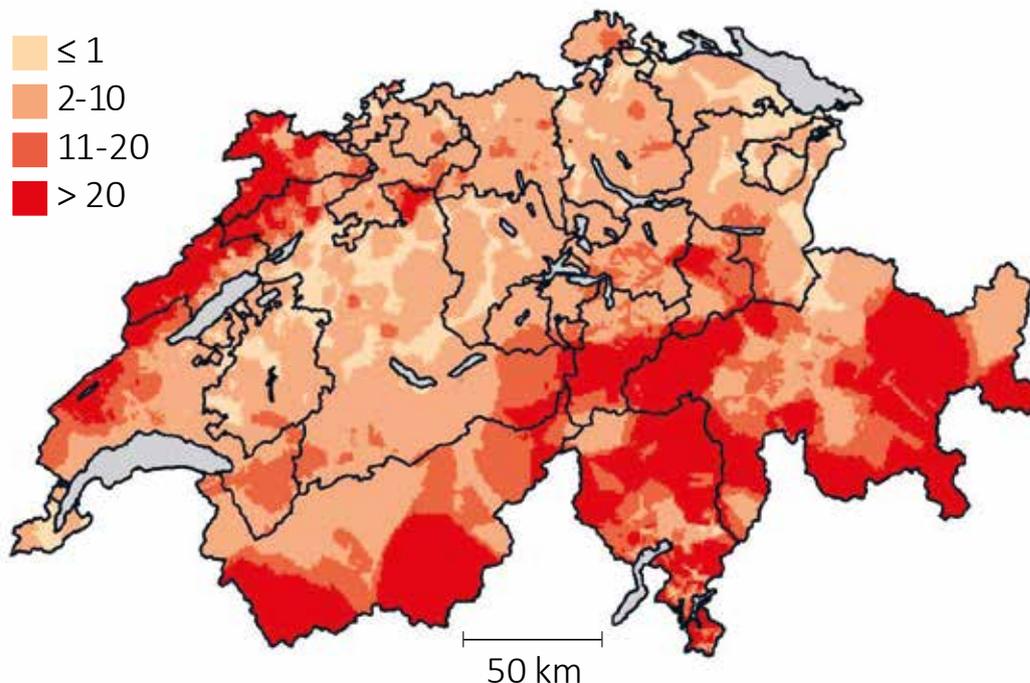
Die Radonkarte, die früher auf einer Einteilung nach Gemeinden basierte, wurde durch eine interaktive Karte abgelöst. Sie zeigt neu für einen bestimmten Standort die Wahrscheinlichkeit, den Referenzwert von 300 Bq/m^3 zu überschreiten. Diese Angabe basiert auf den Radonmessungen in den 100 geografisch nächsten Gebäuden (Figur 1.). Die Radonkarte ist seit Mai 2018 in interaktiver Form im Geokatalog von Swisstopo verfügbar und auch auf der Website des BAG verlinkt (www.radonkarte.ch).

Gemäss Artikel 160 StSV sind die anerkannten Radonmessstellen nun verpflichtet, sich an die vorgeschriebenen Messprotokolle zu halten.

Diese werden von einer Arbeitsgruppe unter der Leitung des Eidgenössischen Instituts für Metrologie erstellt. 2018 hat das BAG im Laufe des Jahres auf der Grundlage der revidierten StSV fast 75 neue Stellen anerkannt. Die Liste der anerkannten Radonmessstellen ist unter www.ch-radon.ch (Radonkonzentration messen) abrufbar. Die Daten zu den Radonmessungen in Gebäuden werden in einer zentralisierten Datenbank erfasst, auf welche die Kantone und die anerkannten Messstellen über einen gesicherten Kanal Zugriff haben. Diese Anwendung wurde ebenfalls aktualisiert und den neuen rechtlichen Bestimmungen angepasst.

Spezifischer Schutz für Kinder und Arbeitnehmende

Nach Artikel 164 StSV müssen die Kantone dafür sorgen, dass in sämtlichen Schulen und Kindergärten auf Kantonsgebiet anerkannte Radonmessungen durchgeführt werden. Verschiedene Kantone, namentlich Zürich, haben 2018 grossangelegte Messkampagnen durchgeführt. Falls der Referenzwert von 300 Bq/m^3 überschritten wird, ordnet der Kanton gemäss Artikel 166 StSV innert dreier Jahre ab Feststellung die Radonsanierung an.



Figur 1 :
Karte mit Angaben zur Wahrscheinlichkeit in Prozent, dass der Referenzwert von 300 Bq/m^3 überschritten wird (BAG, Stand 2018).

Für Arbeitnehmende gilt neben dem Referenzwert von 300 Bq/m^3 (für die über ein Jahr gemittelte Radongaskonzentration an Arbeitsplätzen) ein Schwellenwert von $1'000 \text{ Bq/m}^3$ (Art. 156 StSV). Die Einhaltung des Schwellenwerts ist Sache der Aufsichtsbehörden; für Industrie- und Gewerbebetriebe ist dies die Suva. Als «radonexponiert» gelten Arbeitsplätze, an denen der Schwellenwert sicher oder vermutungsweise überschritten ist, zum Beispiel in unterirdischen Bauten, Bergwerken, Höhlen und Wasserversorgungsanlagen. Betriebe mit radonexponierten Arbeitsplätzen müssen dafür sorgen, dass anerkannte Radonmessungen durchgeführt werden. Wird der Schwellenwert von $1'000 \text{ Bq/m}^3$ überschritten, so muss der Betrieb nach Artikel 167 StSV die jährlich durch Radon verursachte effektive Dosis der exponierten Personen ermitteln. Liegt die effektive Dosis einer Person am Arbeitsplatz, auch nachdem organisatorische und technische Massnahmen ergriffen wurden, über 10 Millisievert pro Jahr, so gilt diese Person als beruflich strahlenexponiert und der Betrieb untersteht der Bewilligungspflicht.

Ausbildung und Informationen

Das BAG nutzte die Revision der Strahlenschutzverordnungen, um die Zuständigkeit der Radonfachpersonen rechtlich zu verankern (Art. 161 StSV) und Anforderungen an deren Aus- und Fortbildung in der Strahlenschutz-Ausbildungsverordnung festzulegen. Gemäss der unter www.ch-radon.ch (Beratung durch Radonfachpersonen) publizierten Liste sind in der Schweiz derzeit über 150 Radonfachpersonen tätig. 2018 wurden rund zehn zusätzliche Radonfachpersonen an der Hochschule für Technik und Architektur Freiburg ausgebildet. Sie werden auf der Liste aufgeführt werden. 2018 fanden zahlreiche Veranstaltungen zur Schulung und Sensibilisierung von Baufachleuten zur Radonthematik statt. Im September organisierte die Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI) in Zusammenarbeit mit der Europäischen Radonvereinigung eine «Radon-Woche» in Lugano. Die Veranstaltung umfasste eine Schulung zu Radon- Sanierungsmethoden und die Konferenz «Radon Outcomes on Mitigation Solutions (ROOMS)» (siehe Figur 2.). Das BAG organisierte im Oktober ein Treffen im Rahmen des Netzwerks zur Verankerung der Radonproblematik in den Lehrgängen der Grundbildung und höheren Berufsbildung der Bauberufe. Das Vorgehen erfolgt in Zusammenarbeit mit dem Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation. Im November nahm das BAG am Seminar «Concevoir, construire et exploiter un bâtiment sain» teil, welches von der Gruppe «Santé-bâti Suisse romande» in Lausanne veranstaltet wurde, sowie am Thementag «Radon: un ancien problème avec de nouvelles dimensions», organisiert von der Association romande de radioprotection in Freiburg.



Figur 2 :
Teilnehmende an der Konferenz «Radon Outcomes on Mitigation Solutions (ROOMS)», im Tessin, September 2018.

Anhänge

Annexes

1. Beteiligte Stellen und Laboratorien - Organismes et laboratoires participants

Die in diesem Bericht zusammen gestellten Messwerte stammen von Probenahmen und Analysen folgender Laboratorien und Stellen, denen ihre Mitarbeit bestens verdankt sei

Les résultats présentés dans ce rapport se basent sur les prélèvements et les analyses des laboratoires et organismes ci-après. Qu'ils soient remerciés de leur collaboration

BAG SRR	Radiologische Risiken, Bundesamt für Gesundheit	Bern	C. Murith, M. Palacios
BAG FANM	Forschungsanlagen und Nuklearmedizin, Bundesamt für Gesundheit	Bern	N. Stritt, R. Linder, T. Flury
BAG URA	Umweltradioaktivität, Bundesamt für Gesundheit	Bern	S. Estier, P. Steinmann, P. Beuret, G. Ferreri, A. Gurtner, D. Lienhard, M. Müller
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz	Freiburg im Breisgau /D	H. Sartorius, C. Schlosser, S. Schmid
BAFU	Abteilung Hydrogeologie, Bundesamt für Umwelt	Bern	M. Schürch, R. Kozel
CERN	CERN, Occupational Health & Safety and Environmen- tal Protection (HSE) unit	Genève	F. Malacrida , P. Vojtyla
EAWAG	Wasserressourcen & Trinkwasser	Dübendorf	M. Brennwald, P. Rünzi
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat	Brugg / AG	R. Sardella, A. Leupin, B. Bucher, J. Löhle, M. Schibli, R. Habegger
ETHZ	Institut für Geophysik ETHZ	Zürich	L. Rybach
HUG	Division de médecine nucléaire, Hôpital Cantonal	Genève	S. Namy, K. Jeandet
IFAF	Département F.-A- Forel, Université de Genève	Versoix	J.-L. Loizeau
IRA	Institut de Radiophysique, CHUV	Lausanne	F. Bochud, P. Froidevaux, P.A. Pittet, F. Barraud
LS	LABOR SPIEZ, Bundesamt für Bevölkerungsschutz des VBS	Spiez/BE	S. Röllin, J.A. Corcho Alvarado, M. Astner, F. Byrde, S. Wüthrich, N. Mosimann, H. Sahli
LUBW	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturs- chutz, Baden-Württemberg	Karlsruhe / D	R. Bechtler
NAZ	Nationale Alarmzentrale, Bundesamt für Bevölke- rungsschutz des VBS	Zürich	A. Hess, F. Stoffel, C. Poretti
PSI	Abteilung für Strahlenschutz und Sicherheit, Paul Scherrer Institut	Villigen / AG	M. Jäggi, E. G. Yukihara, F. Assenmacher, M. Heule, G. Butterweck
Suva	Bereich Physik, Abt. Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz	Luzern	M. Hammans, F. Danini
Uni-BE	Physikalisches Institut, Abt. Klima- und Umweltphysik, Universität Departement für Chemie, Universität	Bern Bern	T. Stocker, R. Purtschert, P. Düring, T. Wagner, S. Szidat

2. Kantonale Laboratorien - Laboratoires cantonaux

AG	A. Breitenmoser	Amt für Verbraucherschutz Obere Vorstadt 14, 5000 Aarau
BE	O. Deflorin, S. Nussbaumer	Kantonales Laboratorium Muesmattstr. 19, 3000 Bern
BL	P. Brodmann	Kantonales Laboratorium Hammerstrasse 25, 4410 Liestal
BS	P. Hübner, M. Zehringer	Kantonales Laboratorium Kannenfeldstr. 2, Postfach, 4012 Basel
FR	C. Ramseier	Laboratoire Cantonal ch. du Musée 15, 1700 Fribourg
GE	P. Edder, E. Cognard	Service de la consommation et des affaires vétérinaires, Quai Ernest-Ansermet 22 Case postale 76, 1211 Genève 4 Plainpalais
GR	M. Beckmann, D. Baumann	Amt für Lebensmittelsicherheit und Tiergesundheit Bereich Lebensmittelsicherheit Planaterrastrasse 11, 7001 Chur
JU	A. Ceppi, C. de Renéville	Laboratoire Cantonal Fbg des Capucins 20, CP 272, 2800 Delémont 1
LU	S. Arpagaus, R. Brogioli	Kantonales Amt für Lebensmittelkontrolle und Verbraucherschutz Vonnattstr. 16, Postfach, 6002 Luzern
NE	P.-F. Gobat	Service de la consommation Rue Jehanne-de-Hochberg 5, 2001 Neuchâtel
SG	P. Kölbener	Kantonales Amt für Lebensmittelkontrolle Blarerstr. 2, 9001 St. Gallen
AR / AI / GL / SH	K. Seiler	Amt für Lebensmittelkontrolle der Kantone AR AI GL SH Mühlentalstr. 184, Postfach 786, 8201 Schaffhausen
SO	M. Kohler	Kantonale Lebensmittelkontrolle Greibenhof, Werkhofstr. 5, 4509 Solothurn
TG	C. Spinner	Kantonales Laboratorium Spannerstr. 20, 8510 Frauenfeld
TI	M. Jermini	Laboratorio Cantonale Via Mirasole 22, 6500 Bellinzona
NW / OW / SZ / UR	D. Imhof	Laboratorium der Urkantone Postfach 363, 6440 Brunnen
VD	G. Peduto	Service de la consommation et des affaires vétérinaires 155, ch. des Boveresses, 1066 Epalinges
VS	E. Pfammatter	Laboratoire Cantonal Rue Pré-d'Amédée 2, 1950 Sion
ZG	M. Fricker	Amt für Lebensmittelkontrolle Postfach 262, 6312 Steinhausen
ZH	M. Brunner, S. Reber	Kantonales Labor Postfach, 8032 Zürich
LI	D. Huber	Amt für Lebensmittelkontrolle Postplatz 2, Postfach 37, FL-9494 Schaan

3. Das Messprogramm im Überblick

Expositionspfade	Probenahmestellen	Proben und Messung
Ortsdosen (externe Gamma-Strahlung)	Automatische Überwachung der Ortsdosen: landesweit mit NADAM und in der Umgebung der KKW mit MADUK. TLD in der Nahumgebung von KKW und Forschungsanlagen (PSI und CERN)	NADAM: 71 Stellen, Betrieb durch die Nationale Alarmzentrale NAZ (landesweites Dosis-Warnnetz) MADUK: je 12-17 Stellen, Betrieb durch das ENSI TLD (γ -Komponente) und n-Dosis (PSI, CERN)
In-situ Messung	Umgebung der Kernanlagen Ganze Schweiz nach speziellem Programm	Direkte vor-Ort-Messung des γ -Spektrums Bestimmung des Radionuklidgehaltes des Bodens und deren Beiträge zur Ortsdosis
Luft	6 High-Volume-Sampler: ca. 500-1'000 m ³ /h 1 Digital-Aerosolsammler Jungfrauoch URAnet: Aerosolwarnnetz 15 Stellen on-line-Messung mit Datenfernübertragung ⁸⁵ Kr-Messungen an Luftproben vom Jungfrauoch	Aerosolsammler und High-Volume-Sampler: kontinuierliche Sammlung auf Aerosolfiltern mit γ -Spektrometrie im Labor: Nachweisgrenze für ¹³⁷ Cs: 1 μ Bq/m ³ bzw. 0.1 μ Bq/m ³ RADAIR: α/β -Messung (FHT-59S) Ende 2017 eingestellt, 4 Stellen mit Jod-Monitor (FHT-1700); URAnet: 15 Stationen nuklidspezifischer Monitor (FHT-59N1)
Niederschläge	Regensammlerstationen, ganze Schweiz inkl. Umgebung der KKW, sowie Forschungsanlagen und Industrien	10 Regensammler mit Trichtern von 1 m ² Fläche, wöchentlich γ -Spektrometrie der Rückstände; Nachweisgrenze für ¹³⁷ Cs: 10 mBq/l (monatliche Probe) An 14 Stellen Sammlung der Niederschläge für die Tritiumbestimmung; eine Stelle: Bestimmung des Tritiumgehaltes in der Luftfeuchte.
Aquatisches Milieu	Kontinuierlich gesammelte Wochenproben aus Rhein, Rhone, Ticino und Doubs sowie oberhalb und unterhalb der KKW (Aare) Bei den KKW auch Grundwasser, Sedimente, Fische, Wasserpflanzen, URAnet: 5 automatische Messstationen in Aare und Rhein	γ - und α -Spektrometrie Tritium-Messung URAnet: Gammaskpektrometrie mit NaI-Detektoren
Erde	30 Stellen in den Alpen, dem Mittelland, dem Jura, auf der Alpensüdseite inkl. Umgebung der KKW, PSI, CERN	Erdschicht 0-5 cm für ⁹⁰ Sr-Bestimmung und γ -Spektrometrie und z.T. α -Spektrometrie
Bewuchs (Gras, Pflanzen)	Gleiche Stellen wie Erdboden Baumblätter aus Umgebung KKW, Industrieverbrennungsanlage Basel (RSMVA) und Referenzstationen	Gras zweimal jährlich; γ -Spektrometrie und ⁹⁰ Sr Bäumblätter: ¹⁴ C-Bestimmung (jährlich)
Milch	Gleiche Regionen wie Erde und Gras Milchzentralen und Grossverteiler	γ -Spektrometrie und ⁹⁰ Sr-Messung Einzel- und Sammelmilchproben, z.T. Tritium-Messungen
Andere Lebensmittel	Getreide-Mischproben aus verschiedenen Regionen und Umgebung KKW Weitere Proben nach Bedarf, z.B. Gemüse Umgebung KKW, Mineralwässer, Wildpilze, Importproben etc.	γ -Spektrometrie ⁹⁰ Sr-Bestimmung
Menschlicher Körper	Schulklassen Genf Mitarbeiter PSI Zahnärzte, Schulzahnkliniken und pathologische Institute aus verschiedenen Gegenden	Ganzkörpermessungen in Genf (HUG) und am PSI ⁹⁰ Sr-Bestimmungen an Wirbelknochen und Milchzähnen
Emissionen von KKW, Betrieben etc.	Kernanlagen, Forschungsanlagen, etc. Kläranlagen der Agglomerationen Sickerwässer von Deponien	Abluftfilter, Abgas etc. Abwässer aus Spitäler, Deponien, Kehricht-verbrennungsanlagen, Abwasserreinigungsanlagen γ -, α - und ⁹⁰ Sr-Messung

4. Überwachungsbereiche und Kompetenzzentren¹⁾

Bereich:	überwacht wird:	Kompetenzzentren ¹⁾ :
Atmosphäre	Aerosole, Niederschläge ¹⁴ C, Edelgase	URA (BAG) inkl. URAnet / RADAIR UniBE
Deposition	Boden, Bewuchs, in-situ ⁹⁰ Sr- und Alpha-Messung Aeroradiometrie	URA (BAG), IRA und LABOR SPIEZ ENSI, NAZ
Aquatisches Milieu	Gewässer, Fische, Sedimente Grund- und Quellwasser, Deponien	EAWAG, Institut Forel, LABOR SPIEZ, URA BAG
Lebensmittel	Milch, Getreide, Gemüse, Wild, Pilze, etc.	Kantonale Laboratorien, URA, IRA, LABOR SPIEZ
Dosis	α - und n-Dosen automatische Dosiswarnnetze	PSI, IRA NAZ (NADAM), ENSI (MADUK)
menschliche Körper	Ganzkörpermessungen ⁹⁰ Sr in Knochen und Zähnen	PSI, HUG IRA
Kernanlagen	Emissionen, Umgebung	ENSI, URA (BAG)
Betriebe	Emissionen, Umgebung	Suva, URA (BAG)
Spitäler	Emissionen	FANM (BAG)
Radon	Radon in Häusern und im Boden	SRR (BAG), URA (BAG)

¹⁾Liste der Abkürzungen s. Anhang 1.

5. Im Strahlenschutz verwendete Grössen und ihre Bedeutung

Aktivität A

angegeben in Bq (Becquerel)

Die Aktivität einer Substanz ist die mittlere Anzahl radioaktiver Zerfälle pro Zeiteinheit. $1 \text{ Bq} = 1 \text{ Zerfall/s}$. Die alte Einheit war das Ci (Curie) mit $1 \text{ Ci} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{ Zerfälle/s}$; $1 \text{ nCi} = 37 \text{ Bq}$ oder $1 \text{ Bq} = 27 \text{ pCi}$.

Absorbierte Dosis oder Energiedosis D

angegeben in Gy (Gray)

Die durch Wechselwirkung von ionisierender Strahlung mit Materie in einer Masseneinheit deponierte Energie. Der spezielle Name dieser Einheit ist das Gray (Gy); $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$.

Organ-Äquivalentdosis H_T

angegeben in Sv (Sievert)

Das Produkt aus der absorbierten Dosis $D_{T,R}$ infolge der Strahlung R im Gewebe T und dem Strahlenwichtungsfaktor w_R (vgl. auch Dosis, effektive).

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

Der spezielle Name der Einheit der Äquivalentdosis ist das Sievert (Sv); $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$.

Effektive Dosis E

angegeben in Sv (Sievert)

Summe der mit den Wichtungsfaktoren w_T gewichteten Äquivalentdosen in allen Organen und Geweben.

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}$$

$D_{T,R}$ = Im Gewebe T durch Strahlung R absorbierte Dosis

w_R = Wichtungsfaktor der Strahlung

w_T = Wichtungsfaktor für Gewebe (Anteil am Gesamtrisiko für Gewebe/Organ T)

H_T = Äquivalentdosis des Gewebes/Organs T

Die spezielle Einheit der effektiven Dosis ist das Sievert (Sv); $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$.

Effektive Folgedosis E_{50}

angegeben in Sv (Sievert)

Effektive Dosis, die als Folge einer Aufnahme eines Nuklids in den Körper im Verlauf von 50 Jahren akkumuliert wird.

Umgebungsäquivalentdosis $H^*(10)$

angegeben in Sv (Sievert)

Die Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ am interessierenden Punkt im tatsächlichen Strahlungsfeld ist die Äquivalentdosis im zugehörigen ausgerichteten und aufgeweiteten Strahlungsfeld in 10 mm Tiefe der an diesem Punkt zentrierten ICRU-Kugel auf demjenigen Kugelradius, der dem ausgerichteten Strahlungsfeld entgegengerichtet ist.

Internet-Adresse für die Begriffsbestimmungen der StSV: http://www.admin.ch/ch/d/sr/814_501/app1.html

6. Grandeurs utilisées en radioprotection et leur signification

Activité A

exprimée en Bq (Becquerel)

L'activité d'une substance est le nombre moyen de désintégrations radioactives par unité de temps. 1 Bq = 1 désintégration/s. L'ancienne unité était le Ci (Curie) avec 1 Ci = $3.7 \cdot 10^{10}$ désintégrations/s; 1 nCi = 37 Bq ou 1 Bq = 27 pCi.

Dose absorbée ou dose énergétique D

exprimée en Gy (Gray)

Energie déposée dans la matière, lors de l'interaction des rayonnements ionisants, par unité de masse de matière. Le nom de cette unité est le gray (Gy); 1 Gy = 1 J/kg.

Dose équivalente H_T

exprimée en Sv (Sievert)

Produit de la dose absorbée $D_{T,R}$ dans le tissu T due à un rayonnement R et du facteur de pondération w_R (voir la définition de la dose effective);

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

l'unité de la dose équivalente est le sievert (Sv); 1 Sv = 1 J/kg.

Dose efficace E

exprimée en Sv (Sievert)

Somme des doses équivalentes reçue par tous les tissus et organes, pondérées à l'aide de facteurs spécifiques w_T

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}$$

$D_{T,R}$ = dose absorbée dans le tissu T sous l'effet du rayonnement R

w_R = facteur de pondération du rayonnement R

w_T = facteur de pondération du tissu (apport de l'organe ou tissu T au risque total)

H_T = dose équivalente reçue par l'organe ou par le tissu T

L'unité de la dose effective est le sievert (Sv); 1 Sv = 1 J/kg.

Dose efficace engagée E_{50}

exprimée en Sv (Sievert)

Dose effective accumulée durant 50 ans suite à l'incorporation d'un nucléide.

Equivalent de dose ambiante $H^*(10)$

exprimé en Sv (Sievert)

En un point dans un champ de rayonnements, dose équivalente produite à 10 mm de profondeur de la sphère CIUR, centrée en ce point, par le champ en question, étendu et aligné, sur le rayon opposé à la direction du champ aligné.

Impressum

@ Bundesamt für Gesundheit (BAG)
Herausgeber : Bundesamt für Gesundheit
Layout: André Gurtner, URA
Publikationszeitpunkt : Juli 2019

Weitere Informationen und Bezugsquelle :
BAG, Direktionsbereich Verbraucherschutz, Abteilung Strahlenschutz,
Umweltradioaktivität, 3003 Bern

Telefon +41 (0)58 462 96 14, Telefax +41 (0)58 462 83 83
E-Mail :str@bag.admin.ch, www.bag.admin.ch/ura-jb, www.radenviro.ch

Impressum

@ Office fédéral de la santé publique (OFSP)
Editeur : Office fédéral de la santé publique
Layout: André Gurtner, URA
Date de publication : Juillet 2019

Informations supplémentaires et diffusion :
OFSP, Unité de Direction Protection des consommateurs,
Division Radioprotection, Radioactivité de l'environnement, 3003 Berne

Téléphone +41 (0)58 462 96 15, Téléfax +41 (0)58 462 83 83
Courriel :str@bag.admin.ch, www.bag.admin.ch/ura-rapports, www.radenviro.ch