

Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera

2025



Abteilung Strahlenschutz
Division Radioprotection
Divisione Radioprotezione

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

2025

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 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 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 la plupart des résultats des mesures de la radioactivité dans l'environnement sont consultables en ligne sur 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 2025.

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 de la santé
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 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.
- 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 Gammaspektrometrie). 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. Ein Grossteil der Messresultate wird zudem auf der Internet Plattform radenviro (www.radenviro.ch) präsentiert, 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 2025 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 Gesundheitsschutz
Abteilung Strahlenschutz*

Table des matières - Inhaltsverzeichnis

1. Résumé

Zusammenfassung	8–31
------------------------------	-------------

1.1. Surveillance de l'environnement	8
--	---

1.2. Umweltüberwachung	20
------------------------------	----

2. Doses de rayonnements

Strahlendosen	32–43
----------------------------	--------------

2.1. Strahlenexposition der Bevölkerung	32
---	----

2.2. Exposition de la population suisse aux rayonnements ionisants.....	38
--	----

3. Rayonnement externe

Externe Strahlung	44–64
--------------------------------	--------------

3.1. Mesures in situ & exposition externe.....	44
--	----

3.2. Die automatische Überwachung der Ortsdosisleistung mit NADAM	50
---	----

3.3. Aeroradiometrische Messungen	60
---	----

4. Environnement

Umwelt.....	65–97
--------------------	--------------

4.1. Radioaktivität in der Atmosphäre (Aerosol und Niederschlag).....	65
---	----

4.2. URAnet aero.....	70
-----------------------	----

4.3. Überwachung der Luft mit Militärflugzeugen	76
---	----

4.4. Radioaktivität in aquatischen Systemen.....	79
--	----

4.5. URAnet aqua Automatisches Messnetz Flusswasser	87
---	----

4.6. Tritium-Monitoring.....	90
------------------------------	----

4.7. Radioactivité du sol et de l'herbe.....	93
--	----

5. Radioactivité dans l'alimentation

Radioaktivität in Lebensmitteln.....	98–101
---	---------------

6. Radioactivité dans le corps humain	
Radioaktivität im Menschen.....	102–107
6.1. Mesures de ⁹⁰ Sr, ²¹⁰ Po et ²²⁶ Ra dans les vertèbres humaines	102
6.2. Inkorporationsmessungen mittels Ganzkörperzähler	105
7. Mesures de nucléides spéciaux	
Messung von Spezialnukliden	108–123
7.1. Kohlenstoff-14 und Krypton-85	108
7.2. Mesures de plutonium et d'américium dans l'environnement.....	118
8. Surveillance des installations nucléaires	
Überwachung der Kernanlagen	124–171
8.1. Emissionen und Immissionen.....	124
8.2. Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen.....	136
8.3. MADUK: Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke	138
8.4. Überwachung des zentralen Zwischenlagers (ZWILAG).....	144
8.5. Les installations nucléaires et l'environnement	148
8.6. CERN- Rejets et environnement (Mesures CERN)	157
8.7. Environnement du CERN (Mesures OFSP)	165
9. Industries et hôpitaux	
Industrien und Spitäler.....	172–191
9.1. Emissionen der Betriebe.....	172
9.2. Emissionen der Spitäler	176
9.3. Surveillance de la radioactivité au voisinage des industries, stations d'épurations et usines d'incinérations des déchets	181
9.4. Überwachung von Deponien.....	190
10. Plan d'action Radon	
Aktionplan Radon (2021 – 2030)	192–194
11. Annexes	
Anhänge	195–200

1. Résumé

Zusammenfassung

1.1 Surveillance de l'environnement

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 rayonnement reçues par la population suisse. 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 qu'à 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 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, soit l'Inspection Fédérale de la Sécurité Nucléaire (IFSN) pour les centrales nucléaires et 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 soient respectées et, d'autre part, de surveiller 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 au 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 (STEP) et de décharges ou encore des eaux de lavage des fumées d'usines d'incinération d'ordures ménagères (UIOM).

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 est mesurée en continu grâce au réseau automatique de mesure URAnet de l'OFSP. 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. Cependant, les résultats de mesures spécifiques (par exemple les mesures du ^{90}Sr et du ^{226}Ra dans les vertèbres ou du ^{14}C dans les feuillages), ne sont pour l'heure disponibles que dans le rapport publié annuellement. Les programmes de surveillance sont comparables à ceux mis en oeuvre 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.

L'OFSP et sa division radioprotection ayant été fortement touchés par les mesures d'économie de la Confédération, ces programmes spécifiques de surveillance des STEP et des UIOM ont toutefois été réduits et seront progressivement supprimés d'ici 2026. Dans le même contexte, le programme de surveillance du ^{14}C a également été adapté. Les mesures réalisées dans l'environnement de la centrale nucléaire de Mühleberg (KKM) ont été arrêtées, cette installation étant désormais en phase de démantèlement. Par ailleurs, le programme de mesure du ^{14}C au voisinage des UIOM a été réduit.

Réseau automatique de surveillance URAnet

Le réseau automatique de surveillance de la radioactivité dans l'air, URAnet aero, est opérationnel depuis septembre 2018. Il 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 également concernées par d'éventuels

rejets de radioactivité dans l'air en provenance d'une centrale nucléaire. Conformément à son objectif de surveillance, le réseau URAnet aero est capable de détecter des niveaux de radioactivité largement inférieurs aux limites d'immissions dans l'air définies dans l'ORaP: la limite de détection pour le ^{137}Cs des stations URAnet aero est par exemple de l'ordre de 3 à 7 milli-becquerels par mètre cube (mBq/m^3) pour une mesure de 12 heures, alors que la limite d'immissions dans l'air pour ce radionucléide dans l'air est fixée à $8.5 \text{ Bq}/\text{m}^3$. Ceci signifie qu'une présence inhabituelle de ^{137}Cs dans l'air serait automatiquement détectée à des niveaux déjà 1'000 fois inférieurs aux limites légales fixées pour la contamination de l'air dans l'environnement. Une telle sensibilité rend donc possible la détection 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.

En 2025, le réseau URAnet aero a été renforcé par l'installation d'une [nouvelle station au Jungfraujoch](#). Située à environ 3500 mètres d'altitude, cette station se trouve dans la troposphère libre. Il s'agit des couches supérieures de la troposphère, c'est-à-dire des 10 premiers kilomètres environ de l'atmosphère. La troposphère libre est découplée de l'influence de la couche limite proche du sol, où les substances radioactives sont transportées de manière particulièrement efficace et sur de longues distances. La station du Jungfraujoch permet ainsi une détection précoce de la radioactivité présente dans l'atmosphère, par exemple en cas d'événement survenu à l'étranger, avant qu'elle ne retombe au sol. Elle complète ainsi de manière optimale le réseau existant, dont les stations sont situées en plaine.

Cette station permettra de compenser l'arrêt des vols à haute altitude prévu pour 2027. L'inauguration de cette station le 7 octobre 2025 (voir [reportage ici](#)) marque la fin du projet de modernisation du dispositif de mesure à haute altitude, décidé par le Conseil fédéral lors de sa séance du 13 avril 2022.

Le volet du réseau URAnet dédié à la surveillance des eaux de l'Aar et du Rhin (URAnet aqua) comprend quant à lui 5 sondes aquatiques, principalement situées en aval des centrales nucléaires suisses, et est opérationnel depuis 2015. La sonde de mesure de Hagneck a été démontée en 2023 puisque la centrale nucléaire de Mühleberg (KKM) n'est plus en service. Les mesures en aval de la CNM sont assurées par la sonde de Niederried. Une sonde aquatique a par ailleurs été installée à Chancy en 2025 pour remplacer les mesures effectuées par prélèvement

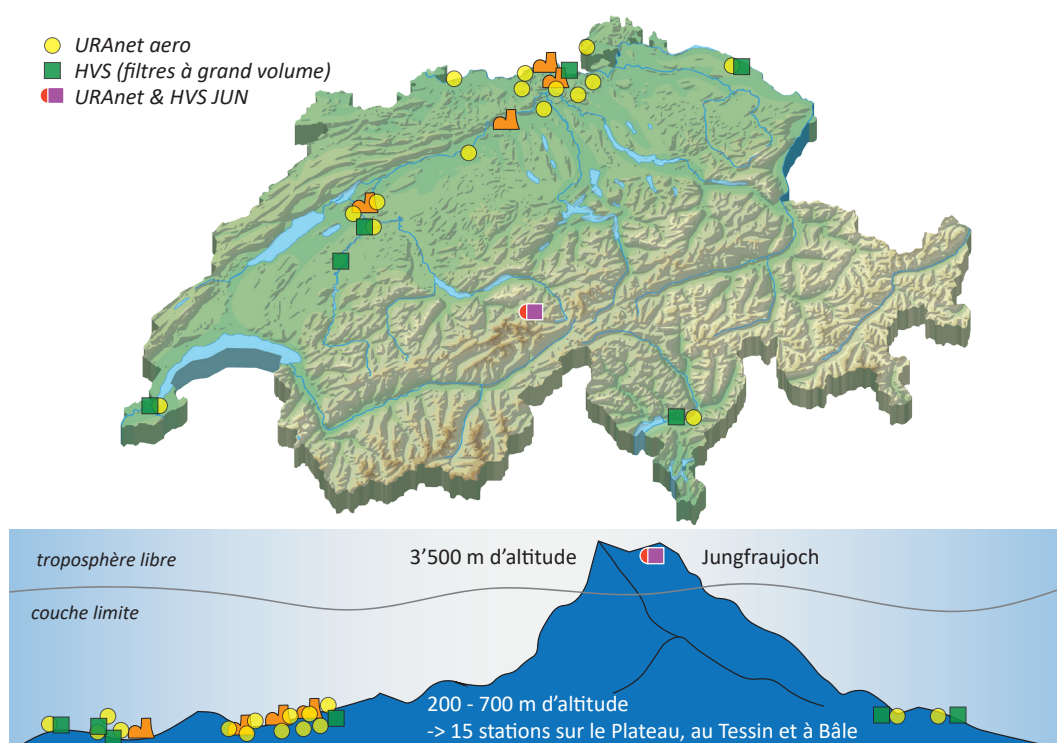


Figure 1:

Localisation des stations de mesure de la radioactivité dans l'air, avec la nouvelle station au Jungfrauoch en violet.

et mesures en laboratoire. En raison de l'abaissement du niveau du Rhône (APAVR), qui a lieu tous les cinq ans environ, et de pannes techniques, cette nouvelle sonde a été hors service pendant une période prolongée en 2025.

Résultats de la surveillance 2025

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 2025 sont généralement restés comparables à ceux des années précédentes et montrent que la radioactivité naturelle est prédominante dans ces compartiments environnementaux. Selon les résultats des mesures des filtres aérosols à haut débit, disponibles sur Internet (www.radenviro.ch), la radioactivité de l'air provient pour l'essentiel des radionucléides naturels tels que le ^7Be cosmogénique (produit par le rayonnement cosmique dans les hautes couches de l'atmosphère) ainsi que le ^{210}Pb et les autres produits de filiation du radon. L'évolution des concentrations de ^7Be dans l'air reflète les conditions météorologiques, en particulier le mélange vertical convectif de la troposphère pendant les chaudes journées d'été ; l'air riche en ^7Be est transporté depuis la troposphère supérieure vers le sol, raison pour laquelle les concentrations de ^7Be mesurées sont plus élevées en été. Les précipitations (lessivage de ^7Be) influencent également

les concentrations mesurées. Les mêmes radionucléides naturels se retrouvent par ailleurs également dans les eaux de pluie.

Hormis les radionucléides d'origine naturelle, d'infimes concentrations de radioactivité artificielle, en particulier de ^{137}Cs (demi-vie de 30 ans), sont également régulièrement détectées sur les filtres aérosols, grâce à la très grande sensibilité des méthodes de mesure mises en œuvre. Ces traces, de l'ordre de quelques microbecquerel par mètre cube d'air, sont plus fréquemment détectées par temps sec, lorsque le ^{137}Cs déposé au sol suite aux essais d'armes nucléaires des 60 et surtout après l'accident de Tchernobyl en 1986 (voir paragraphe consacré à la surveillance des sols) est remis en suspension dans l'air.

Ainsi, comme chaque année, des valeurs un peu plus élevées de ^{137}Cs , de l'ordre de $2 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$, ont été mesurées en 2025 pendant les mois d'hiver à la station de Cadenazzo au Tessin, région de Suisse la plus touchée par les retombées de l'accident de Tchernobyl. Les concentrations élevées de ^{137}Cs pendant le semestre d'hiver sont dues à la remise en suspension de particules du sol pendant la période de végétation clairsemée, combinée à la combustion de bois légèrement contaminé en ^{137}Cs pour le chauffage.

Hormis quelques traces sporadiques de ^{137}Cs , aucun autre émetteur gamma d'origine artificielle n'a pu être mis en évidence dans les échantillons de précipitations en 2025.

Il en va de même dans les rivières, mais le ^{137}Cs est observé plus régulièrement dans ce milieu et provient de l'érosion des sols.

La teneur en tritium (^3H) d'origine naturelle est généralement inférieure à 2 Bq/l dans les précipitations et les eaux fluviales. Un apport artificiel de ^3H dans ces compartiments environnementaux par les rejets des centrales nucléaires et de certaines industries est parfois décelé au voisinage ou en aval de ces entreprises (voir chapitres consacrés à la surveillance de ces entreprises).

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 retombées des essais nucléaires atmosphériques des années 60 (en particulier ^{90}Sr , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am et ^{137}Cs) ainsi que de l'accident de Tchernobyl en 1986 (essentiellement ^{137}Cs) et montrent des différences régionales, liées aux particularités de ces retombées. Dans les Alpes et le sud des Alpes, les valeurs relevées pour le ^{137}Cs (voir figure 2) et le ^{90}Sr sont toujours légèrement supérieures à celles du Plateau. Quant aux émetteurs alpha artificiels, comme le ^{239}Pu , 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 d'origine végétale, c'est le ^{40}K naturel qui domine. Les radionucléides artificiels comme le ^{137}Cs ou le ^{90}Sr (voir figure 3), 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.

Au total, environ 230 échantillons alimentaires provenant de Suisse (campagnes spéciales pour le sanglier non comprises) et environ 70 échantillons de denrées alimentaires importées ont été analysés pour mesurer la radioactivité en 2025. Les analyses ont été réalisées dans le cadre du plan de prélèvement de l'OFSP et de campagnes de mesure cantonales.

Dans les 135 échantillons de lait de vache analysés, les concentrations de ^{137}Cs sont généralement restées inférieures aux limites de détection, situées entre 0,02 et 1 Bq/l. Un seul échantillon, provenant des Centovalli, a montré une activité supérieure à 2 Bq/l, avec une valeur de 17 Bq/l. Cette situation, déjà observée ponctuellement dans le sud des Alpes (Tessin et Grisons méridionaux), reste liée aux dépôts de Tchernobyl et demeure très en dessous de la teneur maximale de 370 Bq/l. Pour le ^{90}Sr (78 échantillons analysés), les valeurs sont restées très faibles, avec un maximum de 0,23 Bq/l et une médiane inférieure à 0,05 Bq/l.

Aucune activité en ^{137}Cs n'a été détectée dans les 19 échantillons de céréales ainsi que dans les 42 échantillons de fruits et légumes suisses, les limites de détection se situant autour de 1 Bq/kg. Les teneurs en ^{90}Sr sont également demeurées très faibles, tant dans les céréales (0,01 à 0,29 Bq/kg, moyenne 0,10 Bq/kg) que dans certains légumes, où elles ont atteint au maximum 0,20 Bq/kg. Aucune différence significative n'a été observée entre les échantillons prélevés à proximité d'installations nucléaires et ceux provenant de régions plus éloignées.

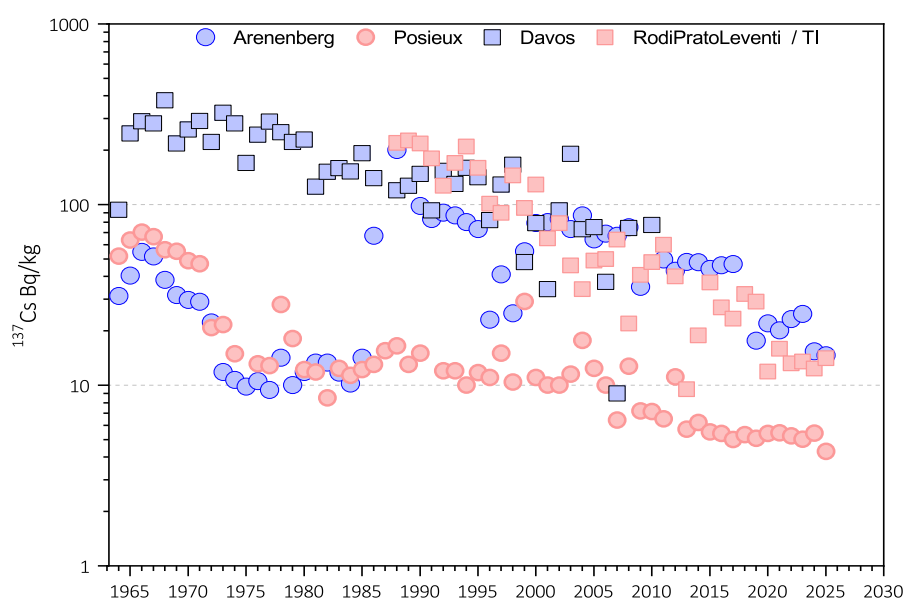


Figure 2:

^{137}Cs (en Bq/kg de matière sèche) dans les échantillons de sol de différentes stations de Suisse (1964 - 2025).

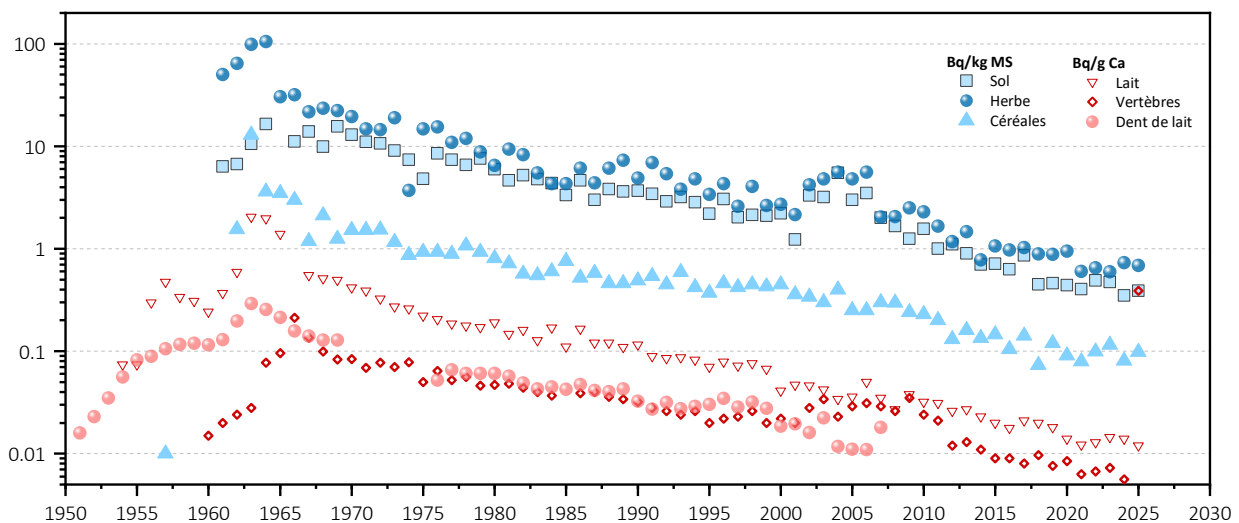


Figure 3:
 ^{90}Sr dans divers échantillons prélevés entre 1950 et 2025.

Des mesures de ^3H ont été réalisées dans la région de Niederwangen, autour de l'entreprise mb-microtec, montrant de faibles activités dans des fruits et légumes (moyenne 4 Bq/l, maximum 6 Bq/l), ainsi que dans deux échantillons de lait (3 à 5 Bq/l). Dans la région de Mühleberg, aucune valeur supérieure à 5 Bq/l n'a été observée. Ces résultats restent très inférieurs à la valeur de référence de 100 Bq/l pour l'eau potable.

Le canton du Tessin a poursuivi, en 2025, le contrôle systématique des sangliers chassés sur son territoire mis en place en 2013 en collaboration avec l'OFSP. 409 animaux ont ainsi fait l'objet d'une mesure de tri, réalisée sur place à l'aide d'un instrument dosimétrique. Dix d'entre eux, soit env. 2.5 % des cas, dépassaient la teneur maximale de 600 Bq/kg pour le ^{137}Cs fixée dans l'Ordonnance Tchernobyl et ont été confisqués par le service vétérinaire cantonal. Les analyses ultérieures en laboratoire ont mis en évidence une activité maximale de 6'680 Bq/kg de ^{137}Cs . La contamination des sangliers s'explique par leur consommation de truffes de cerf, des champignons souterrains non comestibles pour l'homme qui accumulent le ^{137}Cs . Celui-ci, déposé au sol après l'accident de Tchernobyl, a ensuite migré vers les couches plus profondes, où poussent ces champignons. Dans les régions de Suisse où la déposition au sol a été importante, comme au Tessin, la concentration de ^{137}Cs dans les truffes de cerf peut dépasser 10'000 Bq/kg. Les sangliers, qui en sont friands, les détèrent et les consomment, ce qui entraîne un transfert du ^{137}Cs vers leur organisme et notamment vers les tissus musculaires (viande).

D'autres denrées alimentaires suisses ont également été analysées dans le cadre de campagnes spécifiques. Dans des échantillons de poissons prélevés dans le Rhin et le lac de Bienne, aucune activité en ^{137}Cs supérieure à 1 Bq/kg de poids frais n'a été détectée. Des analyses

complémentaires d'actinides (plutonium, américium et curium) ont montré des concentrations inférieures à 1 mBq/kg de poids frais. Dans 13 échantillons de yogourts et produits laitiers similaires, ni le ^{137}Cs ni le ^{90}Sr n'ont été détectés. De même, aucune trace de radionucléides artificiels n'a été mise en évidence dans 12 échantillons d'eau potable.

Une campagne spécifique portant sur les champignons, réalisée par le laboratoire cantonal du Tessin, a porté sur 48 échantillons. La concentration moyenne en ^{137}Cs était de 110 Bq/kg, avec un maximum de 668 Bq/kg pour un échantillon de champignons sauvages. Ce résultat montre que, malgré la situation globalement stable, un dépassement isolé de la teneur maximale de 600 Bq/kg fixée par l'ordonnance Tchernobyl peut encore être observé ponctuellement dans les champignons sauvages indigènes. Toutefois, ces cas restent rares et la contribution globale de ces denrées à l'exposition reste limitée.

Concernant les denrées importées (72 échantillons), de faibles concentrations de ^{137}Cs ont été mesurées dans certains produits, notamment des baies sauvages (jusqu'à 310 Bq/kg) et des champignons importés (moyenne faible, maximum 61 Bq/kg). Aucun dépassement des teneurs maximales n'a été constaté. Les autres types de denrées (calmars, poissons, viande de gibier importée) n'ont montré que des traces ou des valeurs non détectables.

En conclusion, en 2025, la majorité des denrées alimentaires suisses et importées présentent des niveaux très faibles de radionucléides artificiels. Des dépassements ponctuels de la teneur maximale ont été observés chez les sangliers, ainsi qu'un cas isolé dans un champignon sauvage, en lien avec les retombées historiques de Tchernobyl.

L'ensemble des résultats montre que la dose supplémentaire susceptible d'être reçue par une personne consommant de grandes quantités de denrées alimentaires indigènes ou importées présentant les teneurs les plus élevées en radionucléides artificiels – notamment le gibier, les champignons sauvages et les baies – resterait de l'ordre de quelques centièmes de mSv. À titre de comparaison, la dose annuelle due à l'ingestion de radionucléides naturels présents dans les aliments (hors potassium) est en moyenne d'environ 0.22 mSv.

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). En 2025, les doses estimées pour les personnes du public dans le voisinage des installations nucléaires, calculées à partir des rejets effectifs et selon des scénarios conservateurs définis dans la directive ENSI G14 (< 0.001 mSv pour Beznau et Gösgen, env. 0.001 mSv pour Leibstadt et env. 0.002 mSv pour Mühleberg) étaient très inférieures à cette valeur.

L'exploitant a l'obligation de mesurer ses émissions et d'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 2025.

La centrale nucléaire de Mühleberg (CNM), dont l'exploitation électrique a été arrêtée le 20 décembre 2019, a été définitivement mise hors service par le groupe BKW Energie SA le 15 septembre 2020, marquant le passage au régime de désaffectation. En septembre 2023, les derniers éléments combustibles usagés ont été acheminés au centre de stockage provisoire de Würenlingen. La surveillance de la radioactivité dans l'environnement se poursuit toutefois comme en régime d'exploitation.

Les résultats 2025 de la surveillance menée à proximité des centrales nucléaires sont conformes à ceux des années précédentes. Ainsi, comme par le passé, le rayonnement direct reste ponctuellement

mesurable à proximité immédiate de certaines installations, en particulier à la clôture de la centrale de Leibstadt. Les augmentations observées sont principalement liées à la contribution du ^{16}N , produit dans le réacteur et présent dans les circuits vapeur, et conduisent à des élévations locales pouvant atteindre environ 0.020 mSv par semaine. Ces valeurs restent faibles au regard des limites réglementaires applicables. À Mühleberg, en phase de démantèlement, des augmentations locales de la dose ambiante sont également mesurées à la clôture, avec des valeurs maximales de l'ordre de 0.007 à 0.008 mSv par semaine, en lien avec la présence temporaire de matériaux activés sur le site. Une valeur plus élevée du débit d'équivalent de dose ambiant (H^*10) a également été relevée lors des campagnes de spectrométrie gamma in situ (voir figure 4), confirmant ces résultats. Le spectre in situ enregistré met en évidence la présence de radionucléides d'activation tels que le ^{60}Co , le ^{54}Mn et le ^{125}Sb . Le ^{60}Co a également été clairement détecté depuis le ciel lors des mesures par aéroradiométrie. Ces radionucléides ne sont pas présents dans le sol environnant, mais proviennent de matériaux activés entreposés temporairement dans le cadre des travaux de démantèlement. Leur présence explique des augmentations ponctuelles et localisées de l'exposition ambiante.

Les résultats de la surveillance des immissions, à savoir des concentrations de radionucléides mesurées dans les différents compartiments de l'environnement, ont montré un faible marquage du milieu au voisinage des centrales nucléaires, même si les méthodes de mesure, d'une grande sensibilité, ont permis de mettre en évidence les traces de radionucléides issus de ces installations.

Ainsi, dans le milieu atmosphérique, les rejets des centrales nucléaires sont principalement mis en évidence dans les feuillages sous forme de ^{14}C . Ce radionucléide, produit lors de l'exploitation des réacteurs par activation de l'azote de l'air, est rapidement assimilé par la végétation et incorporé dans la matière organique, ce qui permet de détecter de faibles augmentations locales par rapport aux sites de référence. Les mesures effectuées en 2025 mettent en évidence une augmentation maximale d'environ +116 % aux environs de la centrale de Leibstadt. À titre indicatif, une telle augmentation de 100 % de ^{14}C dans les denrées alimentaires correspond à une dose annuelle supplémentaire de l'ordre de 1 μSv . Le seul autre radionucléide provenant des rejets atmosphériques, occasionnellement détecté dans les précipitations, est le ^3H , avec des activités très faibles.

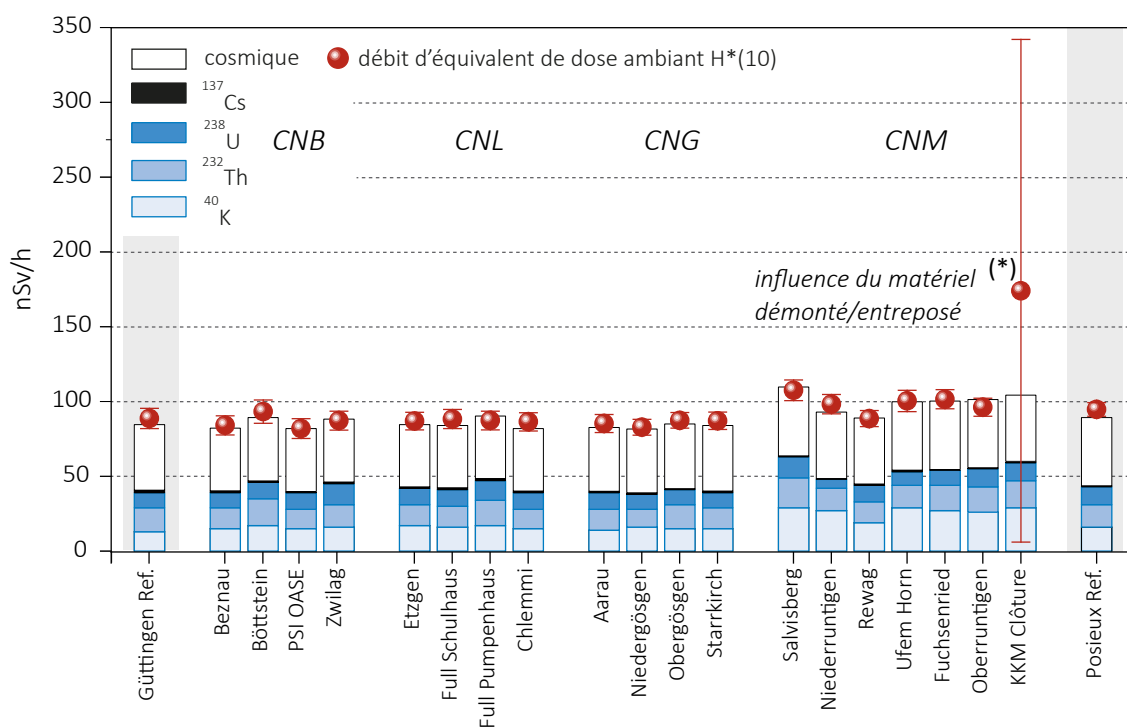


Figure 4:

Contributions individuelles à l'exposition ambiante ($H^*(10)$) attribuables aux différents radionucléides présents sur les sites examinés par l'OFSP en 2025 au voisinage des centrales nucléaires suisses ainsi qu'aux sites de référence de Güttingen 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.

L'empreinte des rejets liquides (hors ^3H) des centrales nucléaires sur le milieu aquatique est essentiellement mesurable dans les sédiments. Les concentrations des produits d'activation caractéristiques des rejets des centrales (notamment ^{54}Mn , ^{58}Co et ^{60}Co) sont en effet restées inférieures aux limites de détection dans les eaux de l'Aar et du Rhin. En 2025, des traces de ^{54}Mn ont en revanche été sporadiquement mesurées dans des échantillons de sédiments prélevés dans l'Aar (Hagneck et Klingnau) et le Rhin (Pratteln). Les activités mesurées sont très faibles et témoignent de l'efficacité des programmes de surveillance mis en œuvre. Le ^{137}Cs présent dans les échantillons d'eau et de sédiments de l'Aar et du Rhin, provient quant à lui essentiellement de la remobilisation de dépôts historiques liés à l'accident de Tchernobyl et aux essais nucléaires atmosphériques des années 1960.

Les résultats des mesures de $^{239+240}\text{Pu}$ et de ^{241}Am effectuées par l'IRA sur différents échantillons du milieu aquatique collectés en aval des centrales nucléaires (eaux de l'Aar et du Rhin, plantes aquatiques, sédiments) n'ont pas mis en évidence de marquage attribuable aux rejets des installations. Les rapports isotopiques $^{241}\text{Am} / ^{239+240}\text{Pu}$ indiquent une contribution largement dominante des retombées des essais nucléaires atmosphériques des années 1960.

Contrairement aux rejets d'émetteurs gamma ou alpha, les rejets liquides de ^3H par les centrales nucléaires entraînent parfois des augmentations mesurables de ce radionucléide dans les eaux de l'Aar et du Rhin. Ainsi, au premier semestre, et plus particulièrement entre février et avril, les concentrations de ^3H dans l'Aar, et dans une moindre mesure dans le Rhin, ont été légèrement plus élevées en raison des rejets de ^3H des centrales nucléaires de Beznau et surtout de Gösgen avant sa révision annuelle. Les concentrations maximales ont atteint environ 12 Bq/l dans l'Aar à Brugg, en mars et en avril, et 6,3 Bq/l dans le Rhin à Weil am Rhein en avril. Le reste de l'année, les concentrations mensuelles de ^3H dans les eaux de l'Aar et du Rhin sont généralement restées inférieures ou proches de la limite de détection d'environ 2 Bq/l.

Les analyses des poissons prélevés dans l'Aar et le Rhin en aval des centrales nucléaires suisses en 2025 n'ont révélé la présence d'aucun émetteur gamma d'origine artificielle. En général, les poissons ne présentent pas d'activité en $^{239+240}\text{Pu}$ mesurable au-dessus de la limite de détection de la méthode, mais l' ^{241}Am est parfois mesurable, avec une activité proche de 1 à 5 mBq/kg, car le facteur de concentration de la phase aqueuse aux poissons est supérieur pour l' ^{241}Am par rapport à celui du plutonium. Aucune valeur anormale n'a été enregistrée en 2025 dans

le cadre de la surveillance de l'ancienne centrale nucléaire de Lucens. Les concentrations de tritium mesurées actuellement dans son système de drainage ne dépassent plus que très légèrement les limites de détection.

Hormis les quelques exemples précités et comme le montre la figure 4, les résultats des mesures environnementales effectuées au voisinage des installations nucléaires sont généralement comparables à ceux observés hors de leur influence. Ils mettent en évidence la prédominance de la radioactivité d'origine naturelle ainsi que la présence résiduelle de ^{137}Cs provenant principalement des essais nucléaires atmosphériques des années 1960 et de l'accident de Tchernobyl. Les contributions attribuables à l'exploitation ou au démantèlement des installations restent limitées et n'entraînent qu'un impact radiologique très faible sur la population.

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

Après la période d'arrêt technique hivernal 2024-2025, les installations du CERN ont été progressivement remises en service à partir de février-mars 2025. Elles ont ensuite fonctionné jusqu'au début du mois de décembre 2025.

Le bilan et le contrôle des émissions de ses propres installations effectués par le CERN en 2025, combinés aux calculs de dose pour les populations des groupes de référence, ont démontré que l'Organisation a respecté la limite de 0.3 mSv/an fixée dans sa réglementation. La dose efficace maximale délivrée au public est demeurée inférieure à 0.006 mSv. Le programme indépendant de surveillance des immissions mis en œuvre par l'OFSP, en collaboration avec le département F.-A. Forel, au voisinage du centre de recherche, a confirmé que l'impact radiologique des activités du CERN sur l'environnement est resté très faible et comparable aux années précédentes. Des radionucléides de courte période produits par les installations du CERN, notamment les isotopes d'iode (^{124}I , ^{126}I et plus fréquemment ^{131}I , avec des concentrations comprises entre 0.7 et 5.8 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$) ainsi que le ^{24}Na , ont été détectés de manière sporadique dans l'air au voisinage du centre de recherche en 2025. Les concentrations mesurées ne représentent toutefois que de très faibles fractions des limites d'immissions dans l'air définies dans l'ORaP.

Dans les autres compartiments de l'environnement,

notamment les sols, les sédiments et les eaux superficielles, les résultats de surveillance ne se sont pas globalement distingués de ceux des stations de référence situées hors de l'influence du CERN. Toutefois, le département F.-A. Forel a mis en évidence un flux de ^7Be dans le Nant d'Avril parmi les plus élevés observés depuis le début de la surveillance. Des activités élevées de ^7Be ont également été mesurées dans les bryophytes et les sédiments prélevés en certains points de rejet des eaux du LHC, sans que leur origine puisse être établie. En l'absence de corrélation avec les rejets du CERN, une contribution de sources environnementales locales, notamment liée à des travaux de terrassement réalisés dans les secteurs concernés, est suspectée.

La surveillance radiologique du voisinage du PSI et du dépôt intermédiaire centralisé (ZWILAG) a confirmé le très faible impact des activités de ces installations sur l'environnement et la population. La contrainte de dose applicable au site commun PSI / ZWILAG est fixée à 0.15 mSv/an, dont une part maximale de 0.05 mSv/an est attribuée au ZWILAG. Selon les évaluations réalisées par le PSI et l'IFSN sur la base des rejets effectifs de l'année 2025 et selon des hypothèses conservatrices, la dose annuelle estimée pour une personne du public résidant à proximité du PSI s'élève à environ 0.008 mSv. Cette dose provient principalement des rejets de gaz radioactifs de courte période issus des accélérateurs de particules de la zone ouest de l'institut. Pour le ZWILAG, la dose calculée à partir des émissions reste inférieure à 0.001 mSv.

L'évaluation des TLD disposés à la clôture du PSI et les contrôles effectués par l'ENSI ont ainsi mis en évidence des élévations de la dose ambiante de l'ordre de 0.005 à 0.008 mSv par semaine (après soustraction du bruit de fond) ; elle est d'au maximum 0.003 mSv par semaine à la clôture du ZWILAG.

La surveillance de l'environnement est assurée par le PSI, ainsi que par l'OFSP, qui réalise des mesures indépendantes complémentaires. Hormis des valeurs ponctuellement plus élevées de ^3H dans les précipitations ou des traces de ^{24}Na issues des accélérateurs du PSI, les résultats de la surveillance au voisinage du PSI n'ont pas mis en évidence de marquage de l'environnement attribuable au fonctionnement des installations du centre de recherche.

Pour les informations détaillées, se référer au chapitre 8.

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 ^3H ou pour la production de marqueurs radioactifs au ^3H pour la recherche. Ces entreprises sont tenues de communiquer à l'autorité de surveillance le bilan de leurs émissions. En 2025, toutes les entreprises concernées ont respecté les valeurs limites de rejet 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.

Comme par le passé, la surveillance au voisinage des entreprises utilisatrices de tritium a mis en évidence un marquage de l'environnement par ce radionucléide, en particulier dans les précipitations, à proximité immédiate. À Niederwangen/BE, au voisinage de l'entreprise mb microtec, les concentrations de ^3H mesurées dans les échantillons bimensuels de précipitations se sont échelonnées entre 5 et 1020 Bq/l en 2025, soit au maximum environ 5 % de la limite d'immission fixée dans l'ORaP pour le ^3H dans les eaux accessibles au public. À titre de comparaison, les concentrations mesurées dans les précipitations de la station de référence de Posieux sont restées inférieures à la limite de détection de 2 Bq/l. Les concentrations de ^3H mesurées dans des distillats d'échantillons de lait ainsi que de fruits et légumes prélevés à proximité de l'entreprise n'ont pas dépassé 6 Bq/l et figurent parmi les plus basses enregistrées au cours des 20 dernières années.

Les concentrations de ^3H enregistrées dans les précipitations collectées à Teufen, au voisinage de l'entreprise RC Tritec, ont présenté une variabilité plus marquée que les années précédentes. Une valeur maximale de 128 Bq/l a été mesurée en janvier, en lien avec un [rejet accidentel](#) de 318 GBq de tritium gazeux dans l'air évacué lors d'un problème survenu pendant une synthèse. Cette quantité correspond à moins de 5 % de la limite annuelle de rejet autorisée selon l'OFSP. Sur l'ensemble de l'année, la valeur médiane des concentrations dans les précipitations s'est élevée à 49 Bq/l. Les concentrations mesurées dans l'humidité de l'air sont restées globalement conformes aux niveaux habituels, indiquant un impact très limité dans l'environnement.

À Root/LU (Smolsys), les concentrations de tritium mesurées dans les précipitations ont généralement été faibles, avec un maximum de 149 Bq/l et une valeur médiane de 13 Bq/l en 2025. Les valeurs plus élevées observées en début d'année sont liées à une incinération

autorisée de déchets contenant du ^3H par l'UIOM de Perlen, située à proximité immédiate du site.

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

Utilisation de substances radioactives dans les hôpitaux

Les hôpitaux utilisent depuis de nombreuses années de l' ^{131}I (demi-vie d'env. 8 jours) 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 leur traitement. Les patients ayant reçu plus de 200 MBq doivent être isolés dans des chambres spéciales pendant au moins 48 heures après le traitement. Ces chambres blindées, et dont les eaux usées (WC, douches) sont collectées dans des cuves de décroissance, permettent de limiter l'exposition de tiers et le rejet de radioactivité dans l'environnement, puisque les eaux usées ne sont rejetées dans l'environnement qu'après diminution de leur activité en dessous des valeurs limites d'immissions.

L'utilisation des radionucléides à des fins thérapeutiques n'a que peu évolué en 2025 par rapport à l'année précédente. Si l' ^{131}I a très longtemps été le radionucléide le plus employé en médecine nucléaire en Suisse, il se place aujourd'hui, en termes d'activité appliquée, derrière le ^{177}Lu (demi-vie d'env. 7 jours) utilisé pour le traitement des tumeurs neuroendocrines et du cancer de la prostate. Toutefois, pour la première fois depuis 2019, l'utilisation du ^{177}Lu (14.8 TBq) n'a pas augmenté en 2025 par rapport à l'année précédente. Pour tenir compte de la radiotoxicité, on calcule l'activité du ^{177}Lu en équivalent ^{131}I , ce qui correspond à 0.33 TBq d'équivalent ^{131}I (à comparer aux 2.48 TBq d' ^{131}I appliqués en Suisse en 2025). Du point de vue de la radiotoxicité, l' ^{131}I reste donc le radionucléide dominant. Comme pour l' ^{131}I , les patients traités avec ^{177}Lu doivent être hospitalisés après leur traitement et leurs excréments sont collectés dans des cuves de décroissance. En 2025, la durée de séjour des patients traités au ^{177}Lu dans une chambre équipée d'une cuve de rétention pour décroissance a été réduite de 48 à 20 heures. Un projet pilote a été lancé en 2024 et poursuivi en 2025, afin d'évaluer les impacts potentiels de cette modification. Dans ce cadre, une sonde automatique a été installée à la STEP de Lausanne pour mesurer en continu la radioactivité dans les eaux usées.

La commercialisation du ^{166}Ho pour le traitement thérapeutique des métastases hépatiques ayant été interrompue courant 2025, ce recul a été partiellement compensé par l'utilisation d' ^{90}Y , qui peut également être utilisé à cette fin. Le ^{223}Ra est également utilisé en médecine nucléaire pour le traitement de cancers.

Les activités appliquées pour ces deux radionucléides sont restées stables en 2025 par rapport à 2024.

D'autres radionucléides comme le ^{169}Er ou le ^{186}Re sont appliqués dans les articulations pour traiter les maladies rhumatismales afin de réduire l'inflammation et la douleur. L'application de ces radionucléides se fait généralement en ambulatoire, de sorte que les patients peuvent quitter l'hôpital après le traitement. Pour la première fois en 2024, le ^{161}Tb a fait son apparition dans les statistiques d'application. Il a été utilisé dans le cadre d'essais cliniques pour le traitement du cancer de la prostate et des tumeurs neuroendocrines.

On notera que si les radionucléides médicaux sont rarement détectés dans les eaux de rivière, on peut en retrouver des traces dans les sédiments. Ainsi, des traces d' ^{131}I , de ^{177}Lu ainsi que de ^{223}Ra ont régulièrement été mises en évidence dans les particules en suspension prélevées dans le Rhin à Weil am Rhein en 2025.

Pour davantage d'informations, consulter les chapitres 9.2 et 9.4

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

L'OFSP coordonne également un programme spécifique de prélèvements et de mesures de la radioactivité (émetteurs gamma et ^3H) des eaux des STEP ainsi que des eaux de lavage des fumées des usines d'incinération des déchets. Toutefois, comme mentionné dans l'introduction, ces programmes devront être redimensionnés et en grande partie supprimés d'ici 2026 en raison des mesures d'économie de la Confédération. En 2025, les surveillances des eaux des STEP de Lausanne, de Berne et Bienne ont ainsi été effectuées pour la dernière fois.

La surveillance des STEP vise à évaluer les rejets de certaines substances radioactives dans l'environnement par les industries et les hôpitaux via les eaux usées. Les radionucléides utilisés en médecine nucléaire ont de courtes demi-vies (quelques heures à quelques jours), ce qui les rend difficilement détectables par analyse en laboratoire en raison des délais entre prélèvement et mesure (envoi par poste). Afin de compléter ces analyses et d'évaluer la possibilité d'éventuels dépassements des limites d'immission dans les eaux accessibles au public, les mesures en continu au moyen d'une sonde

automatique ont été poursuivies jusqu'en novembre 2025 à la STEP de Bellinzona (Giubiasco). Ce dispositif permet de suivre en temps réel l'évolution des concentrations et de mieux caractériser d'éventuelles situations transitoires, difficilement détectables par les analyses ponctuelles en laboratoire. Cette campagne spécifique s'est achevée en novembre 2025 suite à la panne de la sonde.

Les radionucléides ^{131}I , ^{177}Lu , utilisés en thérapie et dont les demi-vies sont d'environ une semaine, sont généralement retenus dans les hôpitaux dans des cuves de décroissance avant rejet, ce qui explique leur présence seulement sporadique dans l'environnement. Les radionucléides à très courte demi-vie, tels que le $^{99\text{m}}\text{Tc}$ et le ^{18}F / ^{68}Ga , ne nécessitent pas de rétention en raison de leurs limites d'immission élevées (par exemple 4000 Bq/l pour le ^{18}F et 9230 Bq/l pour le $^{99\text{m}}\text{Tc}$) et sont donc régulièrement détectés dans les eaux usées lors des mesures en continu. Les radionucléides ^{111}In et ^{123}I , qui ont une demi-vie « moyenne », sont utilisés en ambulatoire à des fins diagnostiques et peuvent parvenir dans les STEP via les eaux usées depuis le domicile des patients.

L'ensemble de ces radionucléides a été détecté dans les eaux de la STEP de Giubiasco en 2025. Toutefois, les concentrations hebdomadaires moyennes maximales sont restées nettement inférieures aux valeurs limites d'immission dans les eaux accessibles au public. Le ^{131}I a atteint une concentration hebdomadaire moyenne maximale de 3,1 Bq/l, soit environ 50 % de la limite fixée à 6,7 Bq/l. Étant donné que ce point de mesure se situe à l'entrée de la STEP et qu'une part importante du ^{131}I est éliminée lors du traitement, les limites d'immission dans le milieu récepteur (Tessin) ont été largement respectées.

Les mesures réalisées à la STEP de Lausanne à l'aide d'une sonde automatique, dans le cadre de l'étude pilote, ont confirmé la présence régulière de ^{177}Lu dans les eaux usées. Les concentrations observées en 2025 sont toutefois restées très inférieures à la valeur limite d'immission de 308 Bq/l.

Par ailleurs, les mesures du ^3H réalisées par prélèvements et analyses en laboratoire dans les STEP de grandes agglomérations suisses (Bâle, Berne et Lausanne) n'ont pas montré de valeurs inhabituelles en 2025.

La surveillance des eaux de lavage des usines d'incinération vise à s'assurer qu'aucun déchet radioactif ne soit accidentellement ou intentionnellement éliminé par le circuit des ordures conventionnelles. Depuis l'entrée en vigueur de l'ORaP révisée en

2018, les usines d'incinération des ordures ménagères (UIOM) sont tenues de contrôler, selon une procédure adéquate, l'éventuelle présence d'émetteurs gamma dans les déchets avant leur incinération, afin de prévenir les risques pour le personnel et l'environnement. Si l'installation de portiques de détection à l'entrée de ces usines permet de couvrir ces exigences, elle n'empêche pas l'incinération accidentelle de ^3H , un émetteur bêta pur indétectable par ces portiques. Ce type d'incident s'est produit de nombreuses fois au cours des dernières années, en particulier à Bâle et à Zürich, mais leur origine n'a toujours pas pu être élucidée. Pour cette raison, des mesures du ^3H sont réalisées dans les eaux de lavage des fumées des UIOM de grandes agglomérations. Aucune incinération accidentelle ou illégale de ^3H dans les UIOM n'a toutefois été annoncée à l'OFSP en 2025.

L'art. 114 de l'ORaP permet, sous certaines conditions, la mise en décharge au cas par cas de déchets radioactifs de faibles activités avec l'accord de l'autorité délivrant les autorisations. Cette possibilité s'applique en particulier aux déchets contenant du ^{226}Ra produits avant l'entrée en vigueur de l'ORaP de 1994.

Toujours selon l'art. 114, l'OFSP doit mettre en œuvre une surveillance des décharges dans lesquelles de tels déchets ont été stockés définitivement, pour assurer le respect des limites de doses efficaces autorisées. Cette surveillance est réalisée en mesurant le ^{226}Ra dans les eaux de percolation et/ou les eaux souterraines. Pour garantir le respect des limites de dose prescrites par la législation, il est nécessaire que la limite d'immission dans les eaux soit respectée dans les eaux de percolation de la décharge (voir « Directives art. 114 »). La limite d'immission pour le ^{226}Ra dans les eaux est fixée à 580 mBq/l. Les résultats des mesures effectuées en 2025 ont confirmé que les concentrations de ^{226}Ra dans les eaux de percolation des décharges dans lesquelles des déchets contenant du ^{226}Ra ont été éliminés ces dernières années sont faibles et bien inférieures à la valeur limite d'immission.

Pour les informations détaillées, se référer aux chapitres 9.3 et 9.4.

Radioactivité assimilée par le corps humain

L'assimilation de radionucléides par l'intermédiaire de la nourriture peut être évaluée par des mesures au corps entier (pour les émetteurs gamma) ainsi que par des analyses de la teneur en ^{90}Sr dans les vertèbres humaines et les dents de lait. Le suivi du ^{90}Sr dans les dents de lait, réalisé par l'IRA sur mandat de l'OFSP depuis 40 ans, a toutefois malheureusement dû être arrêté en 2023 faute d'échantillons. Malgré les rappels annuels, le

nombre de cabinets dentaires participant à la collecte de dents n'a cessé de diminuer depuis le milieu des années 2010 et est devenu insuffisant pour poursuivre le programme. Les activités étant aujourd'hui très basses ($< 10 \text{ mBq g}^{-1} \text{ Ca}$), le ^{90}Sr ne peut plus être quantifié si la taille de l'échantillon n'est pas suffisante.

Sur la base des résultats des mesures au corps entier réalisées aux hôpitaux universitaires genevois pendant près de 40 ans, 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. 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

Comme les années précédentes, les concentrations de radionucléides dans l'environnement et les doses d'irradiation de la population dues aux sources de rayonnement artificielles sont restées nettement inférieures aux limites légales durant l'année 2025 en Suisse ; 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, résultant notamment des essais nucléaires atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl, est également distribuée de manière hétérogène sur le

territoire suisse. Le ^{137}Cs issu de Tchernobyl a par exemple principalement été déposé au Tessin et dans certaines vallées du sud des Grisons, où il reste encore mesurable dans de nombreux échantillons près de 40 ans après l'accident. Cependant, les concentrations ont régulièrement diminué depuis 1986 et seuls quelques rares dépassements de la valeur maximale pour le ^{137}Cs dans les denrées alimentaires, fixée dans l'Ordonnance Tchernobyl, ont encore été observés en 2025 dans certaines denrées particulièrement sensibles comme les sangliers, ainsi que ponctuellement dans des champignons sauvages.

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 le ^{54}Mn dans les sédiments en aval des centrales nucléaires), les rejets à l'origine de ces traces restent très faibles et n'ont conduit à aucun dépassement des valeurs limites d'immission. La surveillance mise en œuvre au voisinage des entreprises utilisatrices de ^3H a montré un marquage nettement mesurable de l'environnement (précipitations, denrées alimentaires) par ce radionucléide à proximité immédiate de ces installations, en particulier à Niederwangen. Les concentrations de ^3H mesurées en 2025 au voisinage de l'entreprise concernée se sont toutefois situées dans la fourchette basse des valeurs enregistrées au cours des 15 dernières années et les doses qui en résultent pour la population avoisinante peuvent être considérées comme négligeables. Le rejet non contrôlé de 318 GBq de tritium gazeux

dans l'environnement par une entreprise située à Teufen/AR en janvier 2025 n'a par ailleurs pas entraîné de doses significatives pour la population vivant dans son voisinage. Quant aux radionucléides utilisés en médecine nucléaire, la surveillance a montré que les limites d'immission sont déjà respectées à l'entrée des stations d'épuration. Compte tenu de la rétention et de l'élimination supplémentaires de ces radionucléides lors du traitement des eaux usées, on peut conclure au respect de ces limites dans les eaux accessibles au public.

La surveillance de la radioactivité dans les eaux des stations d'épuration, les eaux de lavage des fumées des usines d'incinération ainsi que les eaux de percolation des décharges n'a pas révélé de valeurs susceptibles de représenter un risque pour la santé des professionnels qui y travaillent ou pour l'environnement. Ce programme de surveillance, déjà redimensionné en 2025, est appelé à être progressivement supprimé d'ici 2026 en raison des mesures d'économie décidées par le Parlement et le Conseil fédéral.

En conclusion, l'impact radiologique lié au fonctionnement des centrales nucléaires, des centres de recherche, des industries et des hôpitaux est resté très faible pour les populations avoisinantes. Les traces de radioactivité artificielle décelées dans l'environnement confirment la pertinence des programmes de surveillance mis en œuvre.

Référence

[1] [Evénements de radioprotection \(admin.ch\)](#)

1.2 Umweltüberwachung

S. Estier, P. Steinmann

Sektion Umweltradioaktivität (URA), BAG, 3003 Bern

Auftrag und Messprogramm

Überwachung der ionisierenden Strahlung und der Radioaktivität in der Umwelt

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 könnte (Strahlenunfall). Mit dem Überwachungsprogramm sollen andererseits auch die Referenzwerte für die Umweltradioaktivität in der Schweiz und deren Schwankungen bestimmt werden, um die Strahlendosen für die Schweizer Bevölkerung zu ermitteln. Diese allgemeine Überwachung umfasst auch die Messung der Kontaminationen durch die oberirdischen Kernwaffenversuche der USA und der Sowjetunion in den 50er und 60er Jahren sowie des Reaktorunfalls von Tschernobyl.

Die Überwachung soll ausserdem die effektiven Auswirkungen von Kernanlagen, Forschungszentren und Unternehmen, die radioaktive Substanzen einsetzen, auf die Umwelt und die Bevölkerung in der Umgebung feststellen. Die überwachten Betriebe verfügen über eine streng beschränkte Bewilligung zur Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umwelt. Die Überwachung erfolgt in Zusammenarbeit mit den betreffenden Aufsichtsbehörden: Das eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) für die Kernkraftwerke und die Suva für die Industriebetriebe. Sie beginnt mit der Überprüfung der Einhaltung der Abgabelimits bei den Emissionen (Freisetzung von radioaktiven Stoffen) und setzt sich mit der Überwachung der Immissionen, d.h. der effektiv in der Umwelt gemessenen Konzentrationen, fort.

Um allen diesen Zielen nachzukommen, erstellt das BAG in Zusammenarbeit mit dem ENSI, der Suva und den Kantonen jährlich ein Probenahme- und

Messprogramm (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 die Daten und wertet sie aus und veröffentlicht die Ergebnisse der Radioaktivitätsüberwachung zusammen mit den für die Bevölkerung daraus resultierenden Strahlendosen (Art. 194 StSV).

Messprogramm (siehe auch Anhang 3 und 4)

Das Überwachungsprogramm umfasst zahlreiche Umweltbereiche von der Luft über Niederschläge, Boden, Gras, Grundwasser und Oberflächengewässer, Trinkwasser und Sedimente bis zu Nahrungsmitteln. 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. Weiter werden auch Abwässer aus Kläranlagen (ARA) und Deponien sowie Rauchgaswaschwasser aus Kehrlichtverbrennungsanlagen überprüft.

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 wird durch die automatischen Messnetz URAnet des BAG sichergestellt. 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. Die Ergebnisse von speziellen Messprogrammen wie die Messungen von Wirbelknochen oder Milchzähnen oder ^{14}C -Messungen in Baumblättern sind 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.

Da das BAG und seine Abteilung für Strahlenschutz stark von den Sparmassnahmen des Bundes betroffen waren, wurden diese spezifischen Überwachungsprogramme für Kläranlagen und Kehrlichtverbrennungsanlagen jedoch reduziert und sollen bis 2026 schrittweise eingestellt werden. In diesem Zusammenhang wurde auch das ^{14}C -Überwachungsprogramm angepasst. Die Messungen in der Umgebung des Kernkraftwerks Mühleberg (KKM) wurden eingestellt, da sich diese Anlage nun in der Stilllegungsphase befindet. Zudem wurde das Programm zur Messung von ^{14}C in der Umgebung der Kehrlichtverbrennungsanlagen reduziert.

Das automatische Messnetz URAnet

Das automatische Netzwerk zur Überwachung der Radioaktivität in der Luft, URAnet aero, ist seit September 2018 in Betrieb. Es ermöglicht die Identifizierung und Quantifizierung von Radionukliden in der Luft und alarmiert, wenn vordefinierte Warnschwellen überschritten sind. Es besteht aus 15 Messsonden, die über das ganze Land verteilt sind (siehe Figur 1). Das Messnetz deckt alle geographischen Regionen ab, ist aber im Einflussbereich der Kernkraftwerke und dort insbesondere in stark besiedeltem Gebiet verdichtet.

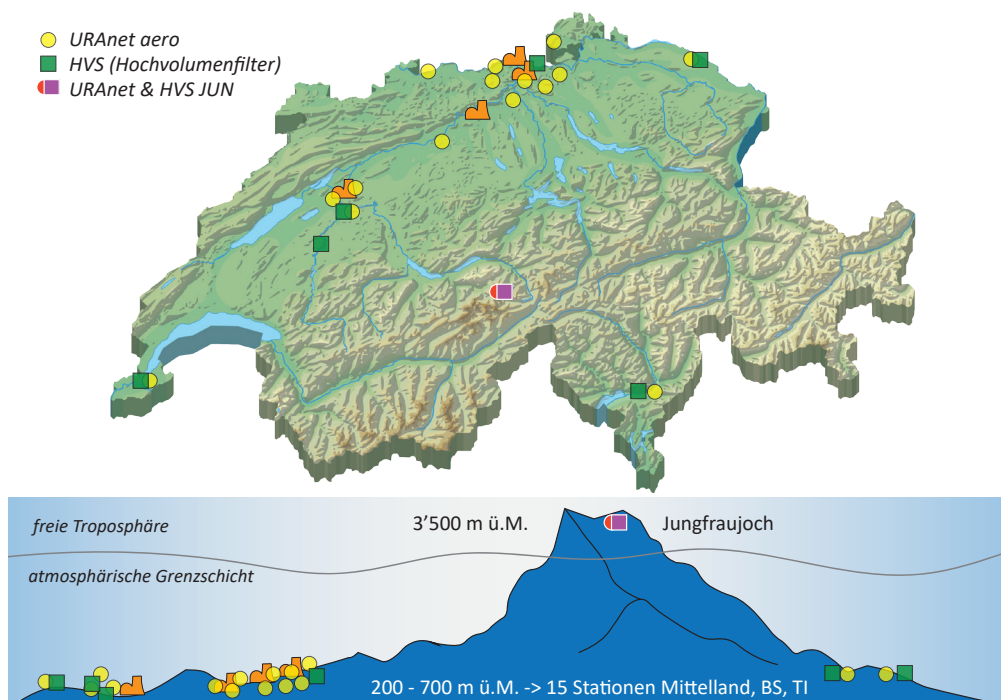
Entsprechend seinem Überwachungsziel ist das Messnetz URAnet aero in der Lage, Radioaktivitätswerte weit unterhalb der in der StSV festgelegten Immissionsgrenzwerte für Luft nachzuweisen: Die Nachweisgrenze für Cäsium-137 (^{137}Cs) liegt beispielsweise bei einer 12-Stunden-Messung im Bereich von 3 bis 7 mBq/m³, während der Immissionsgrenzwert für Luft für dieses Radionuklid in der Luft bei 8.5 Bq/m³ liegt. Das bedeutet, dass ein unübliches Vorkommen von ^{137}Cs in der Luft automatisch detektiert würde und das bereits bei

Konzentrationen die 1000 Mal unter Grenzwerten liegen. Eine solche Empfindlichkeit macht es möglich, sehr geringe Konzentrationen von Radioaktivität in der Luft zu erkennen, die noch keine Gefahr für die Gesundheit darstellen und ermöglicht so eine genauere Einschätzung der von der Bevölkerung erhaltenen Strahlendosen.

Im Jahr 2025 wurde das URAnet aero-Netzwerk durch eine neue Messstation auf dem Jungfrauoch erweitert. Diese Station befindet sich auf einer Höhe von etwa 3500 Metern in der freien Troposphäre. Dabei handelt es sich um die oberen Schichten der Troposphäre, die die untersten rund 10 km der Atmosphäre umfasst. Die freie Troposphäre ist vom Einfluss der bodennahen Grenzschicht entkoppelt und radioaktive Stoffe werden hier besonders effizient und über grosse Entfernungen transportiert. Die Station auf dem Jungfrauoch ermöglicht somit eine frühzeitige Erkennung von Radioaktivität in der Atmosphäre, auch bei einem Ereignis im Ausland, noch bevor sich diese auf dem Boden niederschlägt. Sie ergänzt damit optimal das bestehende Netzwerk, dessen Stationen im Flachland liegen.

Die neue Station wird es ermöglichen, die für 2027 geplanten Wegfall der Sammelflüge mit Tiger-Jets in grosser Höhe auszugleichen. Die Einweihung der Station auf dem Jungfrauoch am 7. Oktober 2025 (siehe Bericht hier) markiert den Abschluss des Modernisierungsprojekts des Dispositivs für Messungen in grosser Höhe, das der Bundesrat an seiner Sitzung vom 13. April 2022 beschlossen hatte.

Die automatische Überwachung der Gewässer der Aare und des Rheins, URAnet aqua, umfasst 4 Wassersonden, die sich unterhalb der Schweizer Kernkraftwerke befinden, und ist seit 2015 in Betrieb. Die Sonde in Hagneck wurde 2023 demontiert, da das Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) nicht mehr in Betrieb ist. Die Messungen unterhalb des KKM werden durch die Sonde in Niederried sichergestellt. Eine zusätzliche Wassersonde wurde 2025 in Chancy installiert, um die bisher mit Probenahmen und Labormessungen durchgeführten Kontrollen zu ersetzen. Durch die alle ca. 5 Jahre stattfindende Absenkung des Wasserspiegels der Rhone (APAVÉR) und aufgrund von Pannen ist diese neue Sonde 2025 für längere Zeit ausgefallen.



Figur 1:
Standorte der Messstationen für Radioaktivität in der Luft. Die neue Station auf dem Jungfraujoch ist violett dargestellt.

Ergebnisse der Umweltüberwachung 2025

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

Die Resultate 2025 der Überwachung der Radioaktivität in Luft, Niederschlag, Gras und Boden sind vergleichbar mit jenen aus den Vorjahren und bestätigen, dass in diesen Umweltkompartimenten die Radioaktivität überwiegend natürlichen Ursprungs ist. Die Messergebnisse der Hochvolumen-Aerosolfilter, die im Internet verfügbar sind (www.radenviro.ch), zeigen, dass die Radioaktivität in der Luft hauptsächlich von natürlichen Radionukliden stammt. Es sind dies das kosmogene ^7Be , das durch kosmische Strahlung in den oberen Schichten der Atmosphäre entsteht, sowie ^{210}Pb und anderen Radonfolgeprodukte. Die Entwicklung der ^7Be -Konzentration in der Luft spiegelt die Wetterbedingungen wider. An heissen Sommertagen wird durch die konvektive vertikale Durchmischung ^7Be -reiche Luft aus der oberen Troposphäre zum Boden transportiert, weshalb die dort gemessenen ^7Be -Konzentrationen im Sommer höher sind. Auch Niederschläge (Auswaschung) beeinflussen die gemessenen Konzentrationen. Die natürlichen Radionuklide ^7Be und ^{210}Pb finden sich deshalb auch im Regenwasser.

Abgesehen von den natürlich vorkommenden Radionukliden werden dank der eingesetzten sehr

empfindlichen Messmethoden regelmässig auch winzige Konzentrationen künstlicher Radionuklide, insbesondere ^{137}Cs (Halbwertszeit 30 Jahre), auf den Aerosolfiltern nachgewiesen. Diese Spuren in der Grössenordnung von wenigen Mikro-Becquerel pro Kubikmeter Luft werden häufiger bei trockenem Wetter festgestellt, wenn das nach den Kernwaffentests der 60er Jahre und vor allem nach dem Unfall von Tschernobyl 1986 am Boden abgelagerte ^{137}Cs wieder in die Luft aufgewirbelt wird.

So wurden wie jedes Jahr auch 2025 in den Wintermonaten an der Messstation Cadenazzo im Tessin, der am stärksten vom Fallout des Unfalls von Tschernobyl betroffenen Region der Schweiz, etwas höhere Werte von ^{137}Cs gemessen, in der Grössenordnung von bis zu $2 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Dafür sind neben der Aufwirbelung von Bodenpartikeln während der Vegetationspause auch die Verbrennung von leicht mit ^{137}Cs kontaminiertem Holz zum Heizen verantwortlich.

Abgesehen von vereinzelten Spuren von ^{137}Cs konnten in den Niederschlagsproben im Jahr 2025 keine weiteren künstlichen Gammastrahler nachgewiesen werden. Das Gleiche gilt Flusswasser, wobei dort ^{137}Cs regelmässig vorkommt und aus der Bodenerosion stammt.

Der Gehalt an natürlich vorkommendem Tritium (^3H) liegt im Niederschlag und in Flusswasser in der Regel unter $2 \text{ Bq}/\text{l}$. Ein künstlicher Eintrag von Tritium in diese Umweltkompartimente durch Kernkraftwerke und

bestimmten Industriebetrieben wird manchmal in der Nähe oder flussabwärts von diesen Betrieben nachgewiesen (siehe Kapitel über die Überwachung dieser Betriebe).

Im Erdboden dominieren die natürlichen Radionuklide der Uran- und Thorium-Zerfallsreihen sowie das ^{40}K . Künstliche Radionuklide im Boden stammen aus der Luft und zeigen regionale Unterschiede, die mit dem unterschiedlichen «Fallout» von Radioaktivität nach den oberirdischen Kernwaffenversuchen in den frühen 60er Jahren (besonders ^{90}Sr , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am et ^{137}Cs) und dem Tschernobyl-Reaktorunfall (vorwiegend ^{137}Cs) 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 Boden nur in sehr geringen Spuren auf.

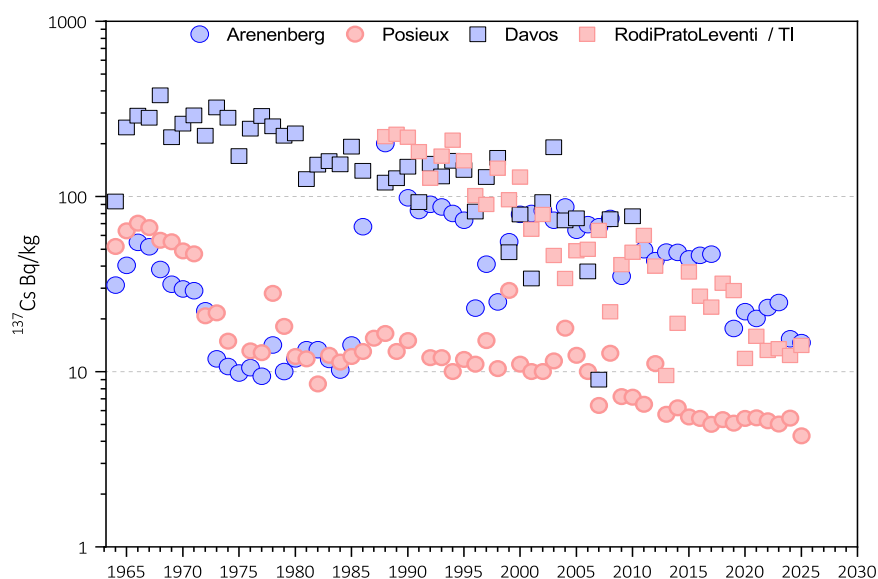
In Gras- und pflanzlichen Lebensmitteln dominiert das natürliche ^{40}K . Künstliche Radionuklide wie ^{137}Cs oder ^{90}Sr (siehe Figur 4), die von den Pflanzen über die Wurzeln aufgenommen werden, sind im Gras nur noch in Spuren vorhanden. Die regionale Verteilung ist dabei ähnlich wie für den Boden.

Insgesamt wurden im Jahr 2025 rund 230 Lebensmittelproben aus der Schweiz (ohne die Spezialkampagnen für Wildschweine) und rund 70 importierte Lebensmittelproben auf Radioaktivität untersucht. Die Analysen wurden im Rahmen

des Probenahmeplans des BAG und kantonaler Messkampagnen durchgeführt.

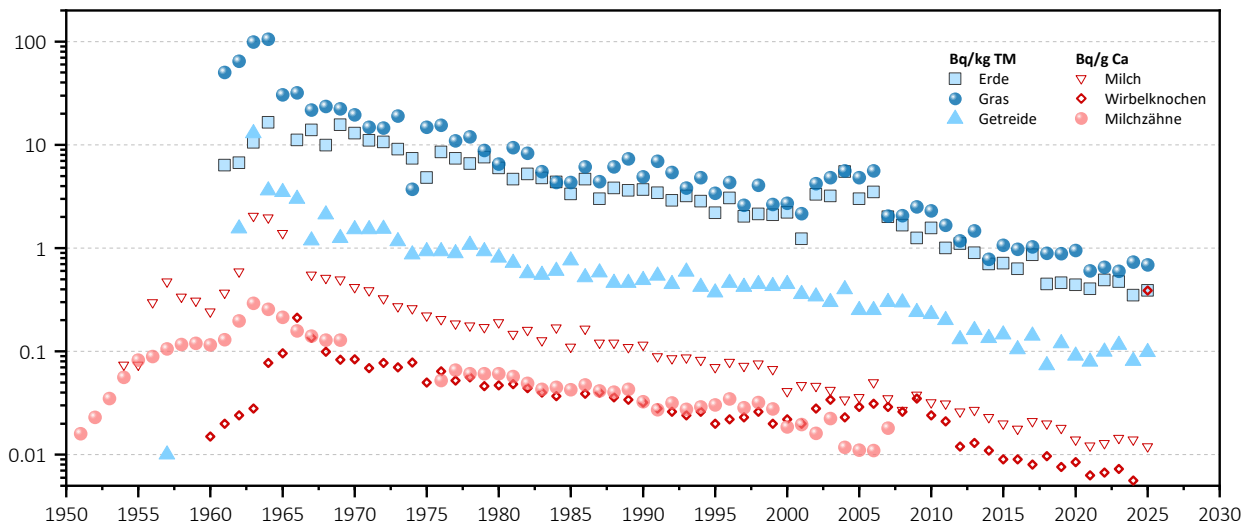
In 135 analysierten Kuhmilchproben lagen die Konzentrationen von ^{137}Cs im Allgemeinen unterhalb der Nachweisgrenzen, die zwischen 0,02 und 1 Bq/l lagen. Nur eine einzige Probe aus dem Centovalli wies eine Aktivität von über 2 Bq/l auf, nämlich 17 Bq/l. Solch vereinzelte, leicht erhöhten Werte in Milch aus dem Tessin und aus Südbünden wurden in den letzten Jahren immer wieder beobachtet und stehen im Zusammenhang mit den Ablagerungen aus Tschernobyl. Sie liegen deutlich unter dem Höchstwert von 370 Bq/l. Für ^{90}Sr (78 analysierte Proben) blieben die Werte sehr niedrig, mit einem Maximum von 0,23 Bq/l und einem Medianwert unter 0,05 Bq/l.

In den 19 Getreideproben sowie in den 42 Proben von Schweizer Obst und Gemüse wurde keine Aktivität von ^{137}Cs nachgewiesen; die Nachweisgrenzen lagen bei etwa 1 Bq/kg. Auch die ^{90}Sr -Gehalte blieben sehr gering, sowohl im Getreide (0,01 bis 0,29 Bq/kg, Durchschnitt 0,10 Bq/kg) als auch in bestimmten Gemüsesorten, wo sie höchstens 0,20 Bq/kg erreichten. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Proben aus der Nähe von Kernkraftwerken und denen aus weiter entfernten Regionen festgestellt.



Figur 2:

^{137}Cs (in Bq/kg Trockenmasse) in Bodenproben von verschiedenen Messstationen in der Schweiz (1964 - 2025).



Figur 3:
 ^{90}Sr in verschiedenen Proben zwischen 1950 und 2025 (logarithmische Skala).

In der Region Niederwangen wurden rund um das Unternehmen mb-microtec Tritiummessungen durchgeführt, die geringe Aktivitätskonzentrationen in Obst und Gemüse (Durchschnitt 4 Bq/l, Höchstwert 6 Bq/l) sowie in zwei Milchproben (3 bis 5 Bq/l) ergaben. In der Region Mühleberg wurden keine Werte über 5 Bq/l festgestellt. Diese Ergebnisse liegen deutlich unter dem Referenzwert von 100 Bq/l der für Trinkwasser gilt.

Der Kanton Tessin setzte im Jahr 2025 die 2013 in Zusammenarbeit mit dem BAG eingeführten, systematischen Kontrollen der auf seinem Gebiet erlegten Wildschweine fort. Dabei wurden 409 Tiere vor Ort mit einem dosimetrischen Messgerät untersucht. Zehn davon, d. h. ca. 2,5 % der Fälle, überschritten den in der Tschernobyl-Verordnung festgelegten Höchstwert von 600 Bq/kg für ^{137}Cs und wurden vom kantonalen Veterinärdienst beschlagnahmt. Nachfolgende Laboranalysen ergaben eine maximale Aktivität von 6'680 Bq/kg ^{137}Cs . Die Kontamination der Wildschweine lässt sich durch deren Verzehr von Hirschtrüffeln erklären, unterirdisch wachsende Pilze, die für den Menschen ungeniessbar sind und ^{137}Cs anreichern. Dieses wurde nach dem Unfall von Tschernobyl auf den Boden abgelagert und wanderte anschliessend in tiefere Bodenschichten, in denen diese Pilze wachsen. In Regionen der Schweiz, in denen die Bodenablagerung hoch war, wie beispielsweise im Tessin, kann die Konzentration von ^{137}Cs in Hirschtrüffeln 10'000 Bq/kg überschreiten. Wildschweine graben diese Pilze mit Vorliebe aus und verzehren sie, was zu einer Aufnahme von ^{137}Cs in ihren Organismus und insbesondere ins Muskelgewebe (Fleisch) führt.

Im Rahmen spezifischer Kampagnen wurden auch weitere Schweizer Lebensmittel untersucht. In Fischproben aus dem Rhein und dem Bielersee wurde keine Aktivität von ^{137}Cs über 1 Bq/kg Frischgewicht nachgewiesen. Ergänzende Analysen auf Aktinide (Plutonium,

Americium und Curium) ergaben Konzentrationen unter 1 mBq/kg Frischgewicht. In 13 Proben von Joghurt und ähnlichen Milchprodukten wurden weder ^{137}Cs noch ^{90}Sr nachgewiesen. Ebenso wurden in 12 Trinkwasserproben keine Spuren künstlicher Radionuklide festgestellt.

Eine vom kantonalen Labor des Tessins durchgeführte Kampagne mit Untersuchung von Pilzen umfasste 48 Proben. Die durchschnittliche Konzentration an ^{137}Cs betrug 110 Bq/kg, mit einem Maximum von 668 Bq/kg bei einer Probe von Reispilzen. Dieses Ergebnis zeigt, dass trotz der im Allgemeinen unproblematischen Konzentrationen vereinzelt noch Überschreitungen des Höchstwerts der Tschernobyl-Verordnung von 600 Bq/kg bei einheimischen Wildpilzen zu beobachten sind. Insgesamt bleibt der Beitrag dieser Lebensmittel zur Strahlenbelastung aber begrenzt.

Bei importierten Lebensmitteln (72 Proben) wurden geringe Konzentrationen von ^{137}Cs in bestimmten Produkten gemessen, insbesondere in Wildbeeren (bis zu 310 Bq/kg) und importierten Pilzen (niedriger Durchschnittswert, Höchstwert 61 Bq/kg). Es wurden keine Überschreitungen der Höchstwerte festgestellt. Die anderen Lebensmittelarten (Tintenfische, Fische, importiertes Wildfleisch) wiesen nur Spuren oder «kleiner als»-Werte auf. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass im Jahr 2025 die Mehrheit der Schweizer und importierten Lebensmittel sehr geringe Gehalte an künstlichen Radionukliden aufweist. Vereinzelt Überschreitungen des Höchstwerts aus der Tschernobylverordnung wurden bei Wildschweinen einem einzelnen Wildpilz festgestellt, was auf den radioaktiven Ausfall aus Tschernobyl zurückzuführen ist.

Die Ergebnisse all dieser Messungen zeigen, dass die kumulierte Dosis einer Person, die grosse Mengen der am stärksten mit künstlichen Radionukliden

belasteten einheimischen oder importierten Lebensmittel (Wild, Wildpilze und Wildfrüchte) konsumierte, einige Hundertstel mSv nicht überschreiten würde. Im Vergleich dazu liegen die jährlichen Dosen durch die Aufnahme natürlicher Radionuklide über die Nahrung (ohne Kalium) im Durchschnitt bei etwa 0.22 mSv.

Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 4, 5 und 7.2.

Überwachung in der Umgebung von Kernanlagen

Die Grenzwerte für Emissionen aus Kernkraftwerken werden von der zuständigen Behörde so festgelegt, dass keine in der Nähe wohnende Person eine effektive Dosis von mehr als 0.3 mSv/Jahr (inklusive Direktstrahlung) erhält. Im Jahr 2025 lagen die geschätzten Strahlendosen für die Bevölkerung in der Umgebung von Kernkraftwerken, berechnet auf der Grundlage der tatsächlichen Freisetzung und gemäss den in der ENSI-Richtlinie G14 definierten konservativen Szenarien, weit unter diesem Wert: <0,001 mSv für Beznau und Gösgen, ca. 0,001 mSv für Leibstadt und ca. 0,002 mSv für Mühleberg.

Die Betreiber müssen ihre Emissionen messen und die Bilanz dem ENSI mitteilen. Parallel durchgeführte Vergleichsmessungen durch den Betreiber, das ENSI und das BAG an Aerosol- und Jodfiltern sowie an Wasserproben während der Betriebsphase ermöglichen eine regelmässige Überprüfung der den Behörden gemeldeten Werte. Die verschiedenen Kontrollen 2025 haben bestätigt, dass die Betreiber die gesetzlichen Grenzwerte einhalten.

Das Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) wurde am 20. Dezember 2019 für die Stromproduktion abgeschaltet und am 15. September 2020 von der BKW definitiv stillgelegt und befindet sich seither im Rückbau. Im September 2023 wurden die letzten abgebrannten Brennelemente in das Zwischenlager Würenlingen transportiert. Die Überwachung der Radioaktivität in der Umgebung wird dennoch wie im Betriebsregime fortgesetzt.

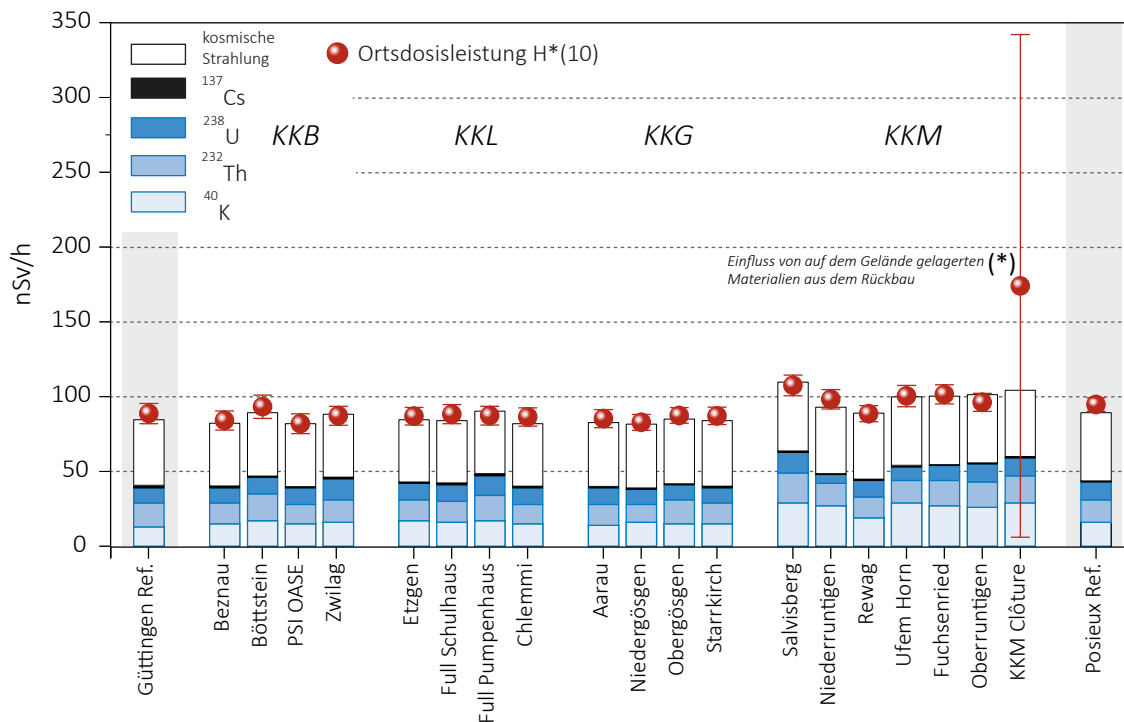
Die Ergebnisse der Überwachung im Jahr 2025 in der Umgebung von Kernkraftwerken entsprechen denen der Vorjahre. So ist wie bereits in der Vergangenheit die direkte Strahlung punktuell in unmittelbarer Nähe bestimmter Anlagen messbar, insbesondere am Zaun des Kernkraftwerks Leibstadt. Die Erhöhungen sind hauptsächlich auf den Beitrag von Stickstoff-16 (^{16}N) zurückzuführen, der im Reaktor entsteht und in den Dampfkreislauf gelangt.

Die lokalen Erhöhungen von bis zu etwa 0,020 mSv pro Woche sind im Vergleich zu den gesetzlichen Grenzwerten gering. Im Kraftwerk Mühleberg werden am Zaun ebenfalls lokale Erhöhungen der Umgebungsdosis gemessen, maximal 0,007 bis 0,008 mSv pro Woche, die auf temporär gelagertes, radioaktiv kontaminiertes zurückzuführen sind. Eine höhere Ortsdosisleistung (H^*10) wurde auch bei den In-situ-Gammaspektrometrie-Messkampagnen festgestellt (siehe Figur 4). Das aufgezeichnete In-situ-Spektrum zeigt das Vorhandensein von Aktivierungsradionukliden wie ^{60}Co , ^{54}Mn und ^{125}Sb . ^{60}Co wurde bei den Aeroradiometrie-Messungen auch deutlich aus der Luft nachgewiesen. Diese Radionuklide sind im Boden nicht vorhanden, sondern stammen von vorübergehend auf dem Gelände gelagerten aktivierten Materialien aus dem Rückbau. Ihr Vorhandensein erklärt punktuelle und lokal begrenzte Erhöhungen der Strahlenexposition.

Die Ergebnisse der Immissionsüberwachung, d. h. der in den verschiedenen Umweltkompartimenten gemessenen Radionuklidkonzentrationen, zeigten einen geringen Einfluss der Kernkraftwerke auf die Umwelt in deren Umgebung, auch wenn die hochempfindlichen Messmethoden den Nachweis von Spuren von Radionukliden aus diesen Anlagen ermöglichen.

In der Atmosphäre lassen sich die Freisetzung aus Kernkraftwerken vor allem durch ^{14}C -Messungen in der Vegetation nachweisen. Dieses Radionuklid, das beim Betrieb der Reaktoren durch Aktivierung des Stickstoffs aus der Luft entsteht, wird zum Beispiel von Baumblättern schnell aufgenommen und in die organische Substanz eingebaut. Dadurch weisen diese Blätter im Vergleich zu Referenzstandorten erhöhte ^{14}C -Konzentrationen auf. Die im Jahr 2025 durchgeführten Messungen zeigen einen maximalen Anstieg von etwa +116 % in der Umgebung des Kernkraftwerks Leibstadt. Zur Veranschaulichung: Eine Erhöhung von 100 % an ^{14}C in Lebensmitteln entspräche einer zusätzlichen Jahresdosis in der Größenordnung von 1 μSv . Das einzige andere Radionuklid aus atmosphärischen Freisetzungen, das gelegentlich im Niederschlag nachgewiesen wird, ist Tritium, allerdings mit sehr geringen Aktivitäten.

Der Einfluss der flüssigen Ableitungen (ohne Tritium) aus Kernkraftwerken auf die aquatische Umwelt lässt sich vor allem in den Sedimenten nachweisen. In Wasserproben aus der Aare und dem Rhein hingegen lagen die Konzentrationen der für die Ableitungen aus Kernkraftwerken charakteristischen Aktivierungsprodukte (^{54}Mn , ^{58}Co und ^{60}Co) unterhalb der Nachweisgrenzen. Im Jahr 2025 wurden vereinzelt Spuren von ^{54}Mn



Figur 4:

Beiträge zur Ortsdosis $H^*(10)$ durch die verschiedenen Radionuklide, die vom BAG 2025 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 verifizieren.

in Sedimentproben aus Sedimentfallen gemessen, die aus der Aare (Hagneck und Klingnau) und dem Rhein (Pratteln). Die gemessenen Aktivitäten sind sehr gering und zeugen von der Wirksamkeit der durchgeführten Überwachungsprogramme. Das in den Wasser- und Sedimentproben der Aare und des Rheins ebenfalls vorhandene ^{137}Cs stammt im Wesentlichen aus der Remobilisierung alter Ablagerungen aus dem Unfall von Tschernobyl und den atmosphärischen Atomtests der 1960er Jahre.

Die Ergebnisse der vom IRA durchgeführten $^{239+240}\text{Pu}$ - und ^{241}Am -Messungen an verschiedenen Proben aus dem aquatischen Milieu stromabwärts der Kernkraftwerke (Wasser der Aare und des Rheins, Wasserpflanzen, Sedimente), ergaben keine Anzeichen einer Markierung, die auf Ableitungen aus den Anlagen zurückzuführen wäre. Die Isotopenverhältnisse $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ deuten auf einen weitaus überwiegenden Beitrag des Niederschlags aus den atmosphärischen Atomtests der 1960er Jahre hin.

Im Gegensatz zu den Freisetzungen von Gamma- oder Alpha-Strahlern führen die flüssigen Tritiumfreisetzungen durch Kernkraftwerke manchmal zu einem messbaren Anstieg dieses Radionuklids im Wasser der Aare und des Rheins. So waren im ersten Halbjahr, insbesondere zwischen Februar und April, die Tritiumkonzentrationen in der Aare und in geringerem Masse auch im Rhein aufgrund

der Tritiumeinleitungen der Kernkraftwerke Bezau und vor allem Gösigen vor der jährlichen Revision leicht erhöht. Die höchsten Monatsmittelwerte lagen im März und April bei 12 Bq/l in der Aare bei Brugg und im April bei 6,3 Bq/l im Rhein bei Weil am Rhein. Im weiteren Verlauf des Jahres blieben die monatlichen Tritiumkonzentrationen in den Gewässern der Aare und des Rheins im Allgemeinen unterhalb oder nahe der Nachweisgrenze von etwa 2 Bq/l.

Die Analysen von Fischen aus der Aare und im Rhein stromabwärts der Schweizer Kernkraftwerke ergaben 2025 keine Hinweise auf künstliche Gamma-Strahler. Im Allgemeinen weisen die Fische keine messbare Pu-Aktivität oberhalb der Nachweisgrenze der Methode auf. Americium hingegen ist gelegentlich mit einer Aktivität von etwa 1 bis 5 mBq/kg nachweisbar, da der Konzentrationsfaktor von der wässrigen Phase zu den Fischen für Americium höher ist als für Plutonium.

Im Rahmen der Überwachung des ehemaligen Kernkraftwerks Lucens wurden im Jahr 2025 keine auffälligen Werte verzeichnet. Die derzeit in dessen Entwässerungssystem gemessenen Tritiumkonzentrationen liegen nur noch geringfügig über den Nachweisgrenzen.

Abgesehen von den wenigen oben genannten Beispielen und wie aus Figur 4 hervorgeht, sind die Ergebnisse der

Messungen von Umweltproben und der Strahlung in der Umgebung von Kernkraftwerken mit denen ausserhalb ihres Einflussbereichs vergleichbar. In allen Proben dominiert die natürlich vorkommende Radioaktivität sowie das Überreste von ^{137}Cs , das aus den atmosphärischen Atomtests der 1960er Jahre und dem Unfall von Tschernobyl stammt. Die auf den Betrieb oder den Rückbau der Anlagen zurückzuführenden Beiträge bleiben begrenzt und haben nur sehr geringe radiologische Auswirkungen auf die Bevölkerung.

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

Überwachung der Forschungszentren

Nach dem Wartungsstillstand seit Dezember 2024 nahm das CERN im Februar und März 2025 schrittweise den Betrieb aller Anlagen wieder auf und sie blieben bis Anfang Dezember 2025 in Betrieb.

Das CERN überwacht und bilanziert die Emissionen aus seinen eigenen Anlagen und führt Dosisberechnungen für die Bevölkerung (Referenzgruppen) durch. Diese Überwachung hat für 2025 gezeigt, dass der festgelegte Grenzwert von 0,3 mSv/Jahr eingehalten waren. Die maximale effektive Dosis für die Öffentlichkeit blieb unter 0,006 mSv. Das vom BAG in Zusammenarbeit mit dem Departement F-A. Forel durchgeführte unabhängige Immissionsüberwachungsprogramm in der Nachbarschaft des Forschungszentrums bestätigte, dass die radiologischen Auswirkungen der Aktivitäten des CERN auf die Umwelt wie in den vorherigen Jahren sehr gering waren.

Von den CERN-Anlagen erzeugte kurzlebige Radionuklide, insbesondere Jodisotope (^{124}I , ^{126}I und am häufigsten ^{131}I mit Konzentrationen zwischen 0,7 und 5,8 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$) sowie ^{24}Na , wurden im Jahr 2025 sporadisch in der Luft in der Umgebung des Forschungszentrums nachgewiesen. Die gemessenen Konzentrationen machen jedoch nur sehr geringe Bruchteile der in der StSV festgelegten Immissionsgrenzwerte für die Luft aus.

In anderen Umweltkompartimenten, insbesondere in Böden, Sedimenten und Oberflächengewässern, unterschieden sich die Überwachungsergebnisse beim CERN insgesamt nicht von denen der Referenzmessstationen ausserhalb dessen Einflussbereichs. Das Institut F-A. Forel hat jedoch in der Nant d'Avril einen ^7Be -Fluss nachgewiesen, der zu den höchsten seit Beginn der Überwachung zählt. Erhöhte ^7Be -Aktivitätskonzentrationen wurden auch in Moosen und Sedimenten gemessen,

die an bestimmten Einleitungsstellen des LHC-Abwassers entnommen wurden, ohne dass deren genauer Ursprung ermittelt werden konnte. Da kein offensichtlicher Zusammenhang mit den Einleitungen des CERN besteht, wird ein Beitrag durch lokale Umweltmaterialien vermutet, die insbesondere nach Erdarbeiten in den betroffenen Gebieten ins Wasser gelangt sein können.

Die radiologische Überwachung der Umgebung des PSI und des zentralen Zwischenlagers (ZWILAG) bestätigt, dass die Auswirkungen dieser Anlagen auf die Umwelt und die Bevölkerung sehr gering sind. Die für den gemeinsamen Standort PSI/ZWILAG geltende Dosisgrenze ist auf 0,15 mSv/Jahr festgelegt, wovon das ZWILAG maximal einen Anteil von 0,05 mSv/Jahr haben darf.

Gemäss den vom PSI und dem ENSI auf der Grundlage der tatsächlichen Freisetzungen des Jahres 2025 und unter konservativen Annahmen durchgeführten Bewertungen beläuft sich die geschätzte Jahresdosis für eine in der Nähe des PSI wohnende Person auf etwa 0,008 mSv. Diese Dosis stammt hauptsächlich aus den Freisetzungen kurzlebiger radioaktiver Gase aus den Teilchenbeschleunigern im Westbereich des Instituts. Für das ZWILAG liegt die anhand der Emissionen berechnete Dosis unter 0,001 mSv. Die Auswertung der am Zaun des PSI angebrachten TLDs und die vom ENSI durchgeführten Kontrollen haben Erhöhungen der Umgebungsdosis in der Grössenordnung von 0,005 bis 0,008 mSv pro Woche (nach Abzug der Hintergrundstrahlung) aufgezeigt; am Zaun des ZWILAG beträgt sie maximal 0,003 mSv pro Woche.

Die Umweltüberwachung des PSI wird vom PSI selber sowie vom BAG gewährleistet, das ergänzende unabhängige Messungen durchführt. Abgesehen von vereinzelt höheren Tritiumwerten im Niederschlag oder Spuren von ^{24}Na aus den Beschleunigern des PSI haben diese zusätzlichen Messungen in der Umgebung des PSI keine Umweltbelastung aufgezeigt, die auf den Betrieb der Anlagen des Forschungszentrums zurückzuführen wäre.

Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 8.

Tritium aus der Industrie

Auch einige Industrieunternehmen verwenden radioaktive Stoffe. Tritium ist das in der Schweiz am häufigsten verwendete Radionuklid, beispielsweise zur Herstellung von Tritiumgas-Leuchtquellen oder zur Produktion von radioaktiven Tritium-Markern für die Forschung. Die Unternehmen sind verpflichtet,

der Aufsichtsbehörde eine Bilanz ihrer Emissionen zu melden. Im Jahr 2025 haben alle betroffenen Unternehmen die in ihrer Bewilligung festgelegten Ableitungsgrenzwerte eingehalten.

Das BAG führt ein spezifisches Überwachungsprogramm durch, um die Immissionen in der Umgebung dieser Unternehmen zu kontrollieren. Dabei wird Tritium in Niederschlägen, in der Luftfeuchtigkeit, in Oberflächengewässern und in bestimmten Fällen auch in Lebensmitteln analysiert.

Wie bereits in der Vergangenheit hat die Überwachung in der Umgebung von Tritium verarbeitenden Betrieben eine Markierung der Umwelt durch dieses Radionuklid aufgezeigt, insbesondere in Niederschlägen in unmittelbarer Nähe der Anlagen. In Niederwangen/BE, in der Nähe des Unternehmens mb Microtec, lagen die in den zweimonatlichen Niederschlagsproben gemessenen Tritiumkonzentrationen im Jahr 2025 zwischen 5 und 1020 Bq/l, was maximal etwa 5 % des in der StSV festgelegten Immissionsgrenzwerts für Tritium in öffentlich zugänglichen Gewässern entspricht. Zum Vergleich: Die an der Referenzstation Posieux gemessenen Konzentrationen im Niederschlag blieben stets unterhalb der Nachweisgrenze von 2 Bq/l. In Destillaten von Milchproben sowie von Obst und Gemüse aus der Nähe des Unternehmens lagen die Tritiumkonzentrationen nicht über 6 Bq/l und gehören damit zu den niedrigsten, die in den letzten 20 Jahren verzeichnet wurden.

Die Tritiumkonzentrationen in den Niederschlägen in der Nähe des Unternehmens RC Tritec in Teufen wiesen eine stärkere Schwankung auf als in den Vorjahren. Ein Höchstwert von 128 Bq/l wurde im Januar gemessen, was auf eine [unbeabsichtigte Freisetzung](#) von 318 GBq gasförmigem Tritium in die Abluft im Zusammenhang mit einem Problem während einer Synthese zurückzuführen war. Die Menge des abgegebenen Tritiums entspricht weniger als 5 % der vom BAG festgelegten jährlichen Freisetzungsgrenze. Über das gesamte Jahr betrachtet lag der Medianwert der Konzentrationen im Niederschlag bei 49 Bq/l. Die in der Luftfeuchtigkeit gemessenen Konzentrationen blieben insgesamt im üblichen Bereich mit nur geringer Auswirkung auf die Umwelt.

In Root/LU (Firma Smolsys) waren die im Niederschlag gemessenen Tritiumkonzentrationen im Allgemeinen gering, mit einem Höchstwert von 149 Bq/l und einem Medianwert von 13 Bq/l im Jahr 2025. Die zu Jahresbeginn beobachteten höheren Werte stehen im Zusammenhang mit einer genehmigten Verbrennung tritiumhaltiger Abfälle durch die Kehrlichtverbrennungsanlage Perlen, die sich in unmittelbarer Nähe des Standorts befindet.

Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 5, 9.1 und 9.3.

Verwendung von radioaktiven Stoffen in Spitälern

Krankenhäuser verwenden seit vielen Jahren ¹³¹I (Halbwertszeit ca. 8 Tage) zur Diagnose und Behandlung von Schilddrüsenerkrankungen. Patienten, die sich einer Jodtherapie unterziehen und ambulant weniger als 200 MBq (1 Mega-Bq = 10⁶ Bq) erhalten haben, können das Krankenhaus nach der Therapie verlassen. Patienten, die mehr als 200 MBq erhalten haben, müssen nach der Behandlung mindestens 48 Stunden lang in speziellen Zimmern isoliert werden. Diese abgeschirmten Zimmer, deren Abwasser (Toiletten, Duschen) in Abklingbecken gesammelt wird, ermöglichen es, die Strahlenbelastung Dritter und die Freisetzung von Radioaktivität in die Umwelt zu begrenzen, da das Abwasser erst dann in die Umwelt abgeleitet wird, wenn seine Aktivität unter die Immissionsgrenzwerte gesunken ist.

Die Verwendung von Radionukliden zu therapeutischen Zwecken hat sich im Jahr 2025 im Vergleich zum Vorjahr nur geringfügig verändert. Während ¹³¹I lange Zeit das in der Nuklearmedizin in der Schweiz am häufigsten verwendete Radionuklid war, liegt es heute, gemessen an der eingesetzten Aktivität, hinter ¹⁷⁷Lu (Halbwertszeit ca. 7 Tage), das zur Behandlung von neuroendokrinen Tumoren und Prostatakrebs eingesetzt wird. Der Einsatz von ¹⁷⁷Lu (14,8 TBq) ist im Jahr 2025 zum ersten Mal seit 2019 im Vergleich zum Vorjahr nicht gestiegen. Um die Radiotoxizität zu berücksichtigen, wird die Aktivität von ¹⁷⁷Lu in ¹³¹I-Äquivalent umgerechnet, was 0,33 TBq ¹³¹I-Äquivalent für 2025 ergibt. Im Vergleich dazu wurden im gleichen Jahr 2,48 TBq ¹³¹I in der Schweiz verabreicht. Unter dem Gesichtspunkt der Radiotoxizität bleibt daher ¹³¹I das dominierende Radionuklid. Wie bei ¹³¹I müssen Patienten nach einer Behandlung mit ¹⁷⁷Lu stationär aufgenommen werden und ihre Ausscheidungen werden in Abklingbecken gesammelt. Im Jahr 2025 wurde die Aufenthaltsdauer von mit Lutetium-177 behandelten Patienten in einem mit einem Abklingbecken ausgestatteten Zimmer von 48 auf 20 Stunden verkürzt. Ein Pilotprojekt wurde 2024 gestartet und 2025 fortgesetzt, um die potenziellen Auswirkungen dieser Änderung zu bewerten. In diesem Zusammenhang wurde in der Kläranlage von Lausanne eine automatische Sonde installiert, um die Radioaktivität im Abwasser kontinuierlich zu messen.

Die Vermarktung von ¹⁶⁶Ho zur therapeutischen Behandlung von Lebermetastasen wurde im Laufe des Jahres 2025 eingestellt. Dieser Ausfall konnte teilweise durch den Einsatz von ⁹⁰Y ausgeglichen werden, das für den gleichen Zweck verwendet werden kann. Auch ²²³Ra wird in der Nuklearmedizin zur Behandlung von Krebserkrankungen eingesetzt. Die eingesetzten Aktivitäten der beiden letztgenannten Radionuklide blieben im Jahr 2025 im Vergleich zu 2024 stabil.

Andere Nuklide wie ^{169}Er oder ^{186}Re werden in den Gelenken zur Behandlung rheumatischer Erkrankungen eingesetzt, um Entzündungen und Schmerzen zu lindern. Diese Anwendungen erfolgen in der Regel ambulant, sodass die Patienten das Krankenhaus nach der Behandlung verlassen können. Im Jahr 2024 tauchte ^{161}Tb erstmals in den Anwendungsstatistiken auf. Es wurde im Rahmen klinischer Studien zur Behandlung von Prostatakrebs und neuroendokrinen Tumoren eingesetzt.

Medizinische Radionuklide werden zwar selten im Flusswasser nachgewiesen, Spuren davon lassen sich jedoch in den Schwebstoffen finden. So wurden im Jahr 2025 in den Schwebstoffen, die im Rhein bei Weil am Rhein entnommen wurden, regelmäßig Spuren von ^{131}I , ^{177}Lu sowie ^{223}Ra nachgewiesen.

Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 9.2 und 9.4.

Kläranlagen, Waschwasser aus der Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen und Deponiesickerwasser

Das BAG koordiniert auch ein Programm zur Probenahme und Messung der Radioaktivität (Gammastrahler und Tritium) von Wasser aus Kläranlagen (ARA) und Waschwasser aus der Rauchgasreinigung von Kehrlichtverwertungsanlagen (KVA). Wie jedoch in der Einleitung erwähnt, müssen diese Programme aufgrund der Sparmassnahmen des Bundes bis 2026 redimensioniert und grösstenteils aufgehoben werden. Im Jahr 2025 wurden somit zum letzten Mal die Wasserüberwachungen an den Kläranlagen von Lausanne, Bern und Biel durchgeführt.

Die Überwachung der Kläranlagen erfasst die Einleitung bestimmter radioaktiver Stoffe in die Umwelt durch Industrie und Krankenhäuser über das Abwasser. Die in der Nuklearmedizin verwendeten Radionuklide haben kurze Halbwertszeiten (einige Stunden bis einige Tage), wodurch sie aufgrund der Zeitspanne zwischen Probenahme und Messung (Versand per Post) mittels Laboranalyse nur schwer nachweisbar sind. Um trotzdem die Möglichkeit allfälliger Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte in öffentlich zugänglichen Gewässern zu bewerten, wurden die kontinuierlichen Messungen mittels einer automatischen Sonde bis November 2025 in der Kläranlage von Bellinzona (Giubiasco) fortgesetzt. Dieses Dispositiv ermöglicht es, die Entwicklung der Konzentrationen in Echtzeit zu verfolgen und auch kurzzeitige Ereignisse zu erfassen, die durch punktuelle Laboranalysen nur schwer nachweisbar sind.

Diese spezielle Messkampagne wurde im November 2025 aufgrund einer Panne der Sonde beendet.

Die in der Therapie verwendeten Radionuklide ^{131}I und ^{177}Lu , deren Halbwertszeiten etwa eine Woche betragen, werden in Spitälern vor der Ableitung in Abklingbecken zurückgehalten, was ihr nur sporadisches Vorkommen in der Umwelt erklärt. Radionuklide mit sehr kurzer Halbwertszeit, wie $^{99\text{m}}\text{Tc}$ und $^{18}\text{F}/^{68}\text{Ga}$, erfordern aufgrund ihrer hohen Immissionsgrenzwerte (z. B. 4000 Bq/l für ^{18}F und 9230 Bq/l für $^{99\text{m}}\text{Tc}$) keine Rückhaltung und werden daher bei kontinuierlichen Messungen regelmäßig im Abwasser nachgewiesen. Die Radionuklide ^{111}In und ^{123}I , mit „mittlerer“ Halbwertszeit, werden ambulant zu diagnostischen Zwecken eingesetzt und können über das Abwasser aus den Haushalten der Patienten in die Kläranlagen gelangen.

Alle diese Radionuklide wurden im Jahr 2025 im Abwasser der Kläranlage von Giubiasco nachgewiesen. Die maximalen wöchentlichen Durchschnittskonzentrationen blieben jedoch deutlich unter den Immissionsgrenzwerten für öffentlich zugängliche Gewässer. ^{131}I erreichte eine maximale wöchentliche Durchschnittskonzentration von 3,1 Bq/l, was etwa 50 % des auf 6,7 Bq/l festgelegten Grenzwerts entspricht. Da sich diese Messstelle am Einlauf der Kläranlage befindet und ein erheblicher Teil des ^{131}I während der Behandlung entfernt wird, wurden die Immissionsgrenzwerte im Vorfluter (Tessin) bei weitem eingehalten.

Die im Rahmen der Pilotstudie an der Kläranlage von Lausanne ebenfalls mit einer automatischen Sonde durchgeführten Messungen bestätigten das regelmässige Vorkommen von ^{177}Lu im Abwasser. Die im Jahr 2025 beobachteten Konzentrationen blieben jedoch deutlich unter dem Immissionsgrenzwert von 308 Bq/l.

Die Tritiummessungen, die durch Probenahmen und Laboranalysen in den Kläranlagen grosser Schweizer Ballungsräume (Basel, Bern und Lausanne) durchgeführt wurden, ergaben im Jahr 2025 keine ungewöhnlichen Werte.

Die Überwachung des Rauchgaswaschwassers von Kehrlichtverbrennungsanlagen soll sicherstellen, dass kein radioaktiver Abfall versehentlich oder absichtlich mit dem konventionellen Kehrlicht entsorgt wird. Seit Inkrafttreten der revidierten StSV im Jahr 2018 sind die Kehrlichtverbrennungsanlagen (KVA) verpflichtet, den Abfall vor der Verbrennung auf das Vorhandensein von Gammastrahlern zu überprüfen, um die Risiken für Personal und Umwelt zu vermeiden.

Die Installation von Messportalen am Eingang der KVAS deckt zwar diese Anforderungen ab, verhindert aber nicht die versehentliche Verbrennung von Tritium, einem reinen Betastrahler, der von den Portalen nicht nachgewiesen werden kann. Solche Vorfälle sind in den letzten Jahren insbesondere in Basel und Zürich mehrfach aufgetreten, ohne dass ihre Ursache geklärt werden konnte. Aus diesem Grund werden in den Rauchgaswaschwässern von Kehrichtverbrennungsanlagen in grossen Agglomerationen Tritiummessungen weitergeführt. Im Jahr 2025 wurden dem BAG jedoch keine unbeabsichtigten oder illegalen Verbrennungen von Tritium in KVAS gemeldet.

Art. 114 StSV erlaubt unter bestimmten Voraussetzungen die Deponierung von schwach radioaktiven Abfällen mit Zustimmung der Genehmigungsbehörde. Diese Möglichkeit gilt insbesondere für ^{226}Ra -haltige Abfälle, die vor dem Inkrafttreten der StSV von 1994 angefallen sind. Nach Art. 114 muss das BAG Deponien, in denen solche Abfälle dauerhaft abgelagert wurden, überwachen, um sicherzustellen, dass die Grenzwerte für die effektive Dosis eingehalten werden. Diese Überwachung erfolgt durch die Messung von ^{226}Ra im Sickerwasser und/oder im Grundwasser. Um die Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Dosisgrenzwerte zu gewährleisten, ist es notwendig, dass der Immissionsgrenzwert für Wasser im Sickerwasser der Deponie eingehalten wird (siehe Wegleitung «Ablagerung von radioaktiven Abfällen mit geringer Aktivität auf einer Deponie»). Der Immissionsgrenzwert für ^{226}Ra in Gewässern ist auf 580 mBq/l festgelegt. Die Ergebnisse der Messungen im Jahr 2025 bestätigten, dass die ^{226}Ra -Konzentrationen im Sickerwasser von Deponien, in denen in den letzten Jahren ^{226}Ra -haltige Abfälle abgelagert wurden, niedrig sind und weit unter dem Immissionsgrenzwert liegen.

Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 9.3 und 9.4

Vom menschlichen Körper aufgenommene Radioaktivität

Die Aufnahme von Radionukliden über die Nahrung lässt sich durch Ganzkörpermessungen (für Gamma-Emitter) und die Analyse des ^{90}Sr -Gehalts in Milchzähnen und menschlichen Wirbelknochen bestimmen. Die Überwachung von ^{90}Sr in Milchzähnen, die seit 40 Jahren vom IRA im Auftrag des BAG durchgeführt wird, musste 2023 leider aufgrund fehlender Proben eingestellt werden. Trotz jährlicher Aufrufe ist die Zahl der Zahnarztpraxen, die sich am Sammelprogramm für Milchzähne beteiligen, seit Mitte der 2010er Jahre kontinuierlich zurückgegangen und reicht nun nicht mehr aus, um das Programm fortzusetzen. Da die ^{90}Sr -Aktivitäten in den Milchzähnen heute sehr gering sind ($< 10 \text{ mBq/g Ca}$), kann dieses Isotop ohne eine ausreichende Probenmenge nicht mehr quantitativ bestimmt werden.

Anhand der Resultate der seit rund 40 Jahren durchgeführten Ganzkörpermessungen am Universitäts-spital in Genf 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 rund einem Zehntel mBq/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 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.

Beurteilung

In der Schweiz blieben 2025 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. Auch der Anteil der künstlichen Radioaktivität als Folge der Atomwaffenversuche in der Atmosphäre und des Reaktorunfalls von Tschernobyl ist inhomogen über das Land verteilt. Radioaktives ^{137}Cs aus Tschernobyl wurde beispielsweise vornehmlich im Tessin und in den Bündner Südtälern abgelagert und ist dort, fast 40 Jahre nach dem Unfall, noch immer in vielen Proben messbar. Die gemessenen Konzentrationen nehmen seit 1986 kontinuierlich ab und Überschreitungen des ^{137}Cs Grenzwertes aus der Tschernobyl-Verordnung in Lebensmittel treten nur noch selten auf. Dies betrifft bestimmte sensible Lebensmittel, vorab Wildschweinfleisch und sporadisch Wildpilze, wie auch im Berichtsjahr 2025 nachgewiesen werden konnte.

Die Ergebnisse der Überwachung der Kernkraftwerke und der Forschungszentren entsprechen denen der Vorjahre. Auch wenn Spuren von durch diese Anlagen freigesetzte Radionuklide in der Umwelt nachweisbar sind (beispielsweise ^{14}C im Laub oder ^{54}Mn in Sedimenten stromabwärts der Kernkraftwerke), sind diese Freisetzungen nach wie vor sehr gering und haben zu keiner Überschreitung von Immissionsgrenzwerten geführt.

Die Überwachung in der Umgebung von Tritium verarbeitenden Betrieben ergab deutlich messbare Konzentrationen von Tritium der Umwelt (Niederschläge, Lebensmittel) in unmittelbarer Nähe der Anlagen, insbesondere in Niederwangen. Die dort im Jahr 2025 in der Umgebung des Unternehmens gemessenen ^3H -Konzentrationen lagen jedoch im unteren Bereich der in den letzten 15 Jahren erfassten Werte.

Die daraus resultierenden Dosen für Anwohner können als vernachlässigbar angesehen werden. Die unkontrollierte Freisetzung von 318 GBq gasförmigem Tritium in die Umwelt durch ein Unternehmen in Teufen/AR im Januar 2025 führte ebenfalls zu keinen nennenswerten Dosen für die in der Nachbarschaft lebende Bevölkerung. Bezüglich der in der Nuklearmedizin verwendeten Radionuklide hat die Überwachung gezeigt, dass die Immissionsgrenzwerte bereits im Zulauf der Kläranlagen eingehalten werden. Angesichts der zusätzlichen Rückhaltung und Entfernung dieser

Radionuklide bei der Abwasserbehandlung sind diese Grenzwerte in den öffentlich zugänglichen Gewässern eingehalten.

Die Überwachung der Radioaktivität im Wasser von Kläranlagen, im Rauchgaswaschwasser von Verbrennungsanlagen sowie im Sickerwasser von Deponien ergab keine Werte, die ein Gesundheitsrisiko für Arbeitnehmende oder für die Umwelt darstellen könnten. Dieses Überwachungsprogramm, dessen Umfang bereits im Jahr 2025 reduziert wurde, soll aufgrund der vom Parlament und vom Bundesrat beschlossenen Sparmassnahmen bis 2026 schrittweise eingestellt werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die zusätzliche Strahlenbelastung der Bevölkerung in der Nachbarschaft der Kernkraftwerke, der Forschungseinrichtungen, Industrien und Spitälern sehr gering geblieben ist. Die tiefen Messwerte für künstliche Radionuklide in Umweltproben zeigen die Zweckmässigkeit der Überwachungsprogramme und können als Bestätigung für deren Wirksamkeit gedeutet werden.

Referenz

[1] [Radiologische Ereignisse \(admin.ch\)](#)

2. Doses de rayonnements Strahlendosen

2.1 Strahlenexposition der Bevölkerung

S. Estier, P. Steinmann

Sektion Umweltradioaktivität URA / BAG, Bern

Zusammenfassung

Der grösste Anteil an der Strahlenexposition der Bevölkerung stammt vom Radon in Wohnräumen sowie von medizinischen Untersuchungen. Die Bevölkerung ist von diesen Strahlungsquellen unterschiedlich stark betroffen.

Expositionskategorien

Im Strahlenschutz unterscheiden wir drei Kategorien von Strahlenexpositionen: «beruflich strahlenexponierte Personen», die «allgemeine Bevölkerung» sowie «Patientinnen und Patienten».

In der Schweiz wird bei über 100'000 Personen die Strahlenexposition bei der Berufsausübung überwacht. Diese Exposition wird von den Arbeitgebern und den Behörden genau erfasst, kontrolliert und in einem separaten Bericht «Dosimetrie der beruflich strahlenexponierten Personen in der Schweiz» publiziert www.bag.admin.ch/dosimetrie-jb.

Die zweite Kategorie ist die Strahlenexposition der allgemeinen Bevölkerung. Sie umfasst also alle Personen. Anders als bei der beruflichen Exposition werden die Dosen, die die Bevölkerung erhält, nicht individuell erfasst, sondern für die Gesamtbevölkerung ausgewertet. Dies erfolgt auf der Grundlage von Messungen der Radioaktivität in der Umwelt und in Wohnräumen, Umfragen und mathematischen Modellen. Das vorliegende Kapitel erläutert die Ergebnisse dieser Beurteilung der Strahlendosis für die Schweizer Bevölkerung.

Zur dritten Kategorie gehören die Patientinnen und Patienten, die sich einer medizinischen Diagnostik oder Behandlung mit ionisierender Strahlung unterzogen haben. Sie zählen natürlich ebenfalls zur Bevölkerung, aber die zusätzlichen Dosen aufgrund der medizinischen Exposition sind separat zu betrachten, denn die medizinische Exposition ist gewollt und die Patientin oder der Patient hat einen direkten Nutzen für Gesundheit und

Wohlbefinden. Es handelt sich hier um einen Spezialfall: Die Person, die einer Strahlenexposition ausgesetzt ist, profitiert gleichzeitig direkt davon, beispielsweise von einer genaueren Diagnose.

Handlungsmöglichkeiten

Die ganze Schweizer Bevölkerung ist permanent ionisierender Strahlung natürlichen und künstlichen Ursprungs ausgesetzt. Die häufige Unterscheidung zwischen natürlichen und künstlichen Quellen erklärt sich nicht mit der geringeren Schädlichkeit natürlicher Quellen. Der Grund ist vielmehr, dass man diese in den meisten Fällen wohl feststellen, aber kaum beeinflussen kann. Es gibt jedoch Ausnahmen, namentlich im Fall von Radon-222. Radongas und seine radioaktiven Folgeprodukte sind zwar natürlichen Ursprungs – verantwortlich für die hohen Strahlendosen der Hausbewohner/innen ist aber ihre Akkumulation in Innenräumen, die aufgrund einer ungünstigen Bauweise diese Akkumulation fördern können. Ähnlich verhält es sich etwa mit dem Rauchen oder dem Fliegen, wo die Strahlung natürlichen Ursprungs ist, die von einer bestimmten Person erhaltene Dosis aber direkt mit ihrem Verhalten zusammenhängt.

Aus Sicht der öffentlichen Gesundheit ist es daher sinnvoll, die Expositionsquellen nicht nach ihrer natürlichen oder künstlichen Ursache, sondern danach zu unterscheiden, welche Möglichkeiten es für den Einzelnen und die Gesellschaft gibt, die verursachten Strahlendosen zu beeinflussen (Abbildung 1).

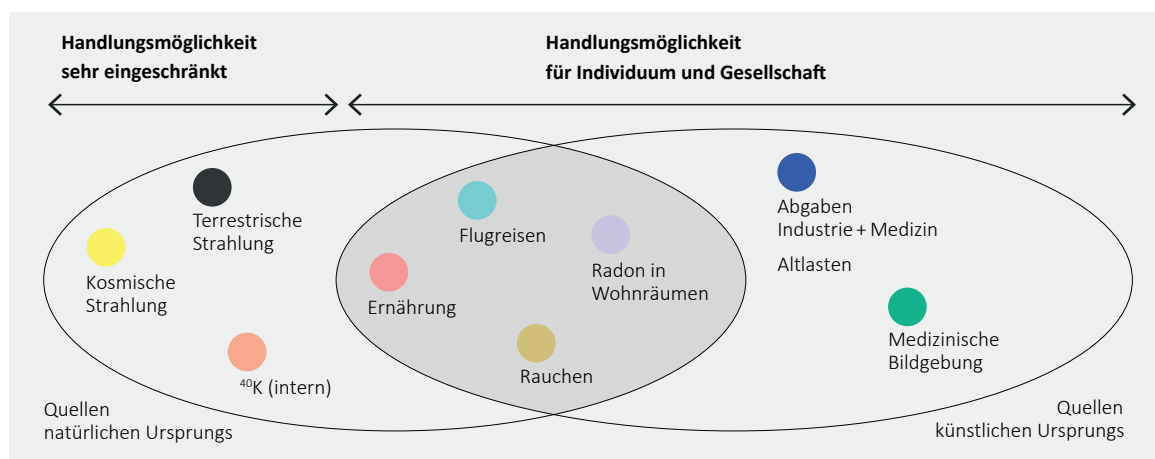


Abbildung 1:

Die wichtigen Beiträge zur Strahlenexposition der allgemeinen Bevölkerung, aufgeteilt nach Möglichkeiten der Einflussnahme durch die einzelne Person oder die Gesellschaft. Unterschieden wird zudem zwischen Quellen natürlichen Ursprungs und künstlichen Ursprungs, wobei die Exposition durch einige natürliche Quellen teilweise auch durch menschliches Verhalten beeinflusst wird (dunkler Hintergrund).

Strahlenexposition der allgemeinen Bevölkerung

Exposition gegenüber terrestrischer und kosmischer 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 von der Zusammensetzung des Untergrundes ab. Die Dosis durch kosmische Strahlung beträgt im Mittel ebenfalls etwa 0.35 mSv pro Jahr. Die kosmische Strahlung nimmt mit der Höhe zu. Das BAG schätzte 2022 die mittlere Dosis durch kosmische Strahlung neu ab, basierend auf einem modernen Modell (EXPACS), unter Berücksichtigung der Bevölkerungsstatistik und des Höhenmodells im Raster von 200×200 m. Die neue Abschätzung des Mittelwerts ist etwas niedriger als der frühere Wert von 0.38 mSv pro Jahr. Ausführlich wird die neue Abschätzung in Kapitel 2.3 des Jahresberichtes 2022 besprochen (siehe www.bag.admin.ch/ura-jb). Die kosmische Strahlung nimmt mit der Höhe zu. Deshalb beträgt sie beispielsweise auf 1'500 m über Meer 0.6 mSv pro Jahr. Die Dosen bei Flugreisen in grosser Höhe werden separat behandelt, da sie direkt durch das individuelle Verhalten beeinflusst werden.

Strahlenexposition durch Nahrungsmittel

Bei der durch Nahrungsmittel verursachten Exposition ist zu unterscheiden zwischen Kalium-40 (^{40}K) und den anderen Radionukliden. Kalium-40 ist ein natürliches Radionuklid, das sich im homöostatischen Gleichgewicht befindet: Die Selbstregulierung des Körpers führt zu einer konstanten Konzentration von ^{40}K . Eine Person ist somit unabhängig von

ihren Ernährungsgewohnheiten immer gleich stark exponiert. Da ^{40}K sich vor allem im Muskelgewebe festsetzt, hängt die Dosis durch dieses Nuklid (rund 0.2 mSv pro Jahr) in erster Linie von der Muskelmasse einer Person ab. Weitere Radionuklide in der Nahrung können natürlichen Ursprungs sein, vor allem Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen von Uran und Thorium, wie Polonium-210 (^{210}Po) und Blei-210 (^{210}Pb) oder künstlichen Ursprungs, wie Cäsium-137 (^{137}Cs) und Strontium-90 (^{90}Sr). Anders als bei ^{40}K hängt hier die Exposition direkt von den Ernährungsgewohnheiten ab.

In gewissen Fischen und Meeresfrüchten ist ^{210}Po und ^{210}Pb angereichert, was zu signifikanten zusätzlichen Dosen führen kann. Laut dem französischen Institut für Strahlenschutz und nukleare Sicherheit (IRSN) beträgt effektive Dosis der französischen Bevölkerung durch Konsum von Fisch und Meeresfrüchten 0.13 mSv/Jahr im Durchschnitt, aber bei speziellen Ernährungsgewohnheiten bis zu 2 mSv/Jahr. Es ist anzumerken, dass aus gesundheitlicher Sicht, trotz der zusätzlichen Dosen, eine Empfehlung zur Einschränkung des Verzehrs dieser Art von Nahrungsmitteln schwer zu rechtfertigen ist, angesichts ihrer unbestrittenen Ernährungsqualitäten. Auf die Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide wie ^{210}Po , ^{210}Pb , und Radium-Isotope in der Nahrung wird im Kapitel 5 dieses Berichtes genauer eingegangen.

Die Dosen durch die Aufnahme von ^{90}Sr und/oder ^{137}Cs aus dem Fallout der atmosphärischen Atomtests der 1960er Jahre und im Falle von ^{137}Cs auch aus dem Unfall von Tschernobyl sind heute sehr gering. Die regelmässigen Ganzkörpermessungen

an Schulklassen ergeben Dosen durch Inkorporation von ^{137}Cs von weniger als einem Tausendstel mSv pro Jahr. Die Dosis aufgrund des Konsums von Trinkwasser ist auf natürliche Radionuklide zurückzuführen (hauptsächlich Radiumisotope) und liegt deutlich unter 0.1 mSv.

Im Durchschnitt beträgt die Dosis der Schweizer Bevölkerung durch die Aufnahme von Radionukliden über die Nahrung (ohne den Beitrag von ^{40}K) rund 0.2 mSv pro Jahr.

Strahlenexposition durch Radon in Wohnräumen

Radon-222 und seine Folgeprodukte in Wohnräume liefern den grössten Dosisbeitrag für die Bevölkerung. Diese Nuklide gelangen über die Atemluft in den Körper.

Die internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) hat in ihrer Publikation 115 (2010) das Lungenkrebsrisiko aufgrund von Radon neu eingeschätzt und deutlich nach oben korrigiert. In ihrer Publikation 137 (2017) schlägt die ICRP einen neuen Dosiskoeffizienten für Personen am Arbeitsplatz vor, der auch für die Radonexposition der Bevölkerung in Wohnräumen anwendbar ist und mit der Einschätzung aus ICRP 115 (2010) übereinstimmt. Der neue Dosiskoeffizient wurde auf der Basis eines dosimetrischen Modells bestimmt und dient in der Schweiz als Referenz für die Bevölkerung sowie für die Personen am Arbeitsplatz.

Folglich beträgt die durchschnittliche «Radondosis» für die Schweizer Bevölkerung mit dem neuen Dosiskoeffizienten etwa 3.3 mSv pro Jahr. Der angegebene Mittelwert leitet sich aus der durchschnittlichen Radonkonzentration in Gebäuden von 75 Bq/m³ ab. Jedoch ist die Radonbelastung der Bevölkerung nicht einheitlich bzw. der Bereich der gemessenen Werte sehr gross. Es sind z. B. Spitzenwerte von mehreren Tausend Bq/m³ gemessen worden.

Der wissenschaftliche Ausschuss der Vereinten Nationen für die Auswirkungen radioaktiver Strahlung (UNSCEAR) empfiehlt allerdings nach seiner jüngsten Bewertung die Beibehaltung eines Dosiskoeffizienten, der deutlich niedriger ist als derjenige der ICRP. Diese Koeffizienten werden im Rahmen des UNSCEAR-Mandats zu Vergleichszwecken bei der Bewertung der weltweiten Bevölkerungsexposition verwendet. Die durchschnittliche «Radondosis» der Schweizer Bevölkerung mit dem UNSCEAR Dosiskoeffizient würde bei etwa 1.9 mSv pro Jahr liegen.

Strahlenexposition durch Rauchen

Während die gesundheitsschädigende Wirkung des Tabakkonsums allgemein bekannt ist, ist vielen Menschen nicht bewusst, dass Rauchen auch eine zusätzliche Exposition gegenüber ionisierender Strahlung darstellt.

Bei Raucherinnen und Rauchern führt das Inhalieren von natürlichen Radionukliden, wie ^{210}Po und ^{210}Pb , die in den Tabakblättern enthalten sind, zu einer zusätzlichen Strahlendosis, verglichen mit Nichtraucherinnen und Nichtrauchern. Gemäss neueren Studien liegt der Mittelwert für die effektive Dosis beim Rauchen von 20 Zigaretten täglich bei 0.3 mSv pro Jahr. Im Jahr 2017 rauchten 27 % der Schweizer Bevölkerung über 15 Jahre im Durchschnitt 10 Zigaretten/Tag (Schweizerische Gesundheitsbefragung 2017, BFS). Auf die ganze Bevölkerung gerechnet entspricht dies im Durchschnitt 2.7 Zigaretten pro Tag und Einwohner/in und somit einer durchschnittlichen effektiven Dosis von 0.04 mSv/Jahr pro Einwohner/in über 15 Jahre wegen Rauchens. Ein ausführlicher Bericht zur Strahlenexposition durch Rauchen ist in Kapitel 2.3 des Jahresberichts 2023 zu finden (siehe «www.bag.admin.ch/ura-jb»).

Strahlenexposition durch Flugreisen

Da die kosmische Strahlung mit der Höhe zunimmt – in 10'000 m Höhe ist sie rund 100-mal stärker als auf 500 m über Meer – sind Personen, die mit dem Flugzeug reisen, einer zusätzlichen Strahlenexposition ausgesetzt. Im Gegensatz zur permanenten Exposition im Lebensraum am Boden hängt diese zusätzliche Exposition direkt mit dem Verhalten einer Person zusammen und wird hier deshalb separat behandelt. Im Jahr 2015 legten die Schweizerinnen und Schweizer im Schnitt 9'000 km im Flugzeug zurück. Die daraus resultierende Dosis pro Einwohner/ in liegt zwischen 0.03 und 0.07 mSv/Jahr, je nach absolvierten Strecken. Die Dosen sind bei Routen, die in der Nähe der Pole verlaufen, höher als bei Routen in Äquatornähe. Für das Flugpersonal kann die zusätzliche Dosis durch kosmische Strahlung mehrere mSv pro Jahr erreichen.

Exposition gegenüber Abgaben aus Industrie, Forschung und Medizin und gegenüber radiologischen Altlasten (Kernwaffentests und Reaktorunfälle, Radium aus der Uhrenindustrie)

Zu den bisher erwähnten Strahlendosen kommt ein geringer Beitrag von ≤ 0.1 mSv pro Jahr aus den Expositionen gegenüber Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt durch Kernkraftwerke, Industriebetriebe, Forschungszentren und Spitäler sowie gegenüber von künstlichen Radionukliden in der Umwelt. Die Emissionen radioaktiver Stoffe über Abluft und Abwasser aus Kernkraftwerken, Industriebetrieben und Forschungszentren ergeben bei Personen, die in unmittelbarer Nähe wohnen, Dosen von höchstens einem Hundertstel mSv pro Jahr.

Der Dosisgrenzwert für die Bevölkerung in geplanten Expositionssituationen liegt bei 1 mSv pro Jahr und gilt hauptsächlich für diese Komponente der Exposition.

Zu den radiologischen Altlasten gehört der radioaktive Fallout als Folge des Reaktorunfalls von Tschernobyl im April 1986 und der oberirdischen Kernwaffenversuche in den frühen 1960er Jahren; diese Beiträge verursachen heute nur noch eine Dosis von wenigen Hundertstel mSv pro Jahr. Die Dosis durch die Ausbreitung von radioaktiven Stoffen nach dem Reaktorunfall in Fukushima 2011 ist in der Schweiz vernachlässigbar.

Exposition von Patientinnen und Patienten

Strahlenexposition durch medizinische Diagnostik

Die Dosis aufgrund medizinischer Anwendungen (medizinische Bildgebung) beträgt gemäss Auswertung der neuen Erhebung von 2023 auf die gesamte Bevölkerung umgerechnet 1.69 mSv/Jahr im Schnitt pro Person. Im Vergleich zur Erhebung von 2018 hat sich die ermittelte Dosis um etwas mehr als 10 Prozent erhöht. Ein Grossteil dieser Erhöhung ist durch eine methodische Umstellung bedingt, die Vorteile hinsichtlich Repräsentativität und Automatisierbarkeit bringt, aber auch einen Bruch in der Zeitreihe. Für mehr Information siehe «[diagnostische-strahlenexposition-in-der-medizin](#)».

Mehr als zwei Drittel der Strahlendosis in der Röntgendiagnostik sind durch computertomografische (CT) Untersuchungen verursacht. Wie beim Radon ist die Belastung durch die medizinische Diagnostik ungleichmässig verteilt:

So wird geschätzt, dass 1.7 Patienten pro 1'000 Einwohnerinnen und Einwohner über einen Zeitraum von fünf Jahren eine kumulierte effektive Dosis von mehr als 100 mSv¹ durch CT-Untersuchungen erhalten. Dabei ist allerdings zu erwähnen, dass die Mehrheit der Patientinnen und Patienten diese hohen Dosen in fortgeschrittenem Alter erhalten.

Bilanz der Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung

Durchschnittliche Exposition

Die durchschnittlichen Beiträge der oben aufgeführten Expositionsquellen sind in Abbildung 2 zusammengefasst. Die durchschnittliche effektive Dosis, die die Schweizer Bevölkerung aus allen Expositionsquellen zusammen erhält, beläuft sich auf rund 6 mSv/Jahr.

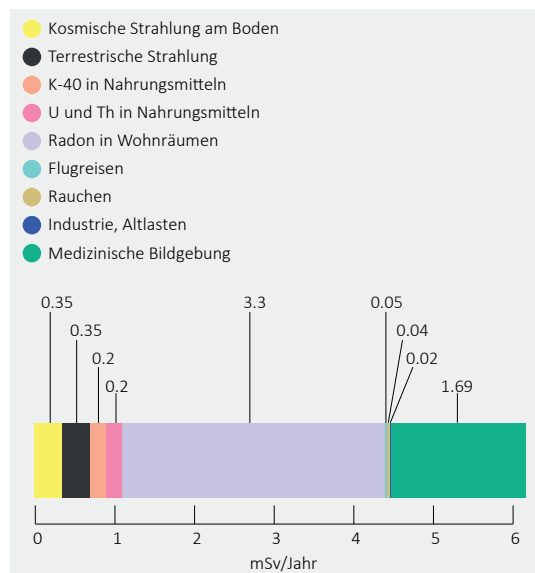


Abbildung 2 :
Durchschnittliche Beiträge zur effektiven Dosis pro Jahr und Einwohner/in der Schweiz in mSv.

¹ Berechnungsmethode nach: Rehani MM, Hauptmann M, Estimates of the number of patients with high cumulative doses through recurrent CT exams in 35 OECD countries; Physica Medica 76 (2020); <https://doi.org/10.1016>

Variabilität der Exposition

Die Mittelwerte der Exposition geben alleine kein repräsentatives Bild der realen Exposition der Einwohnerinnen und Einwohner der Schweiz, da bestimmte Beiträge zur Strahlenexposition von Person zu Person sehr stark variieren können. Am ausgeprägtesten ist dies bei medizinischen Exposition von Patientinnen und Patienten der Fall. Beispielsweise beträgt die durchschnittliche effektive Dosis der häufigsten CT-Untersuchungen an Abdomen und Oberbauch ungefähr 12 mSv. Die durchschnittliche Dosis der Patientenexposition von 1.69 mSv ist folglich wenig repräsentativ für die individuell erhaltenen Dosen der betroffenen Patienten. Um ein Gesamtbild der Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung zu erhalten, ist es folglich wichtig, die individuellen Voraussetzungen, beispielsweise Wohnort, Lebens- und Ernährungsgewohnheiten und erhaltene medizinische Untersuchungen, zu berücksichtigen. Dies ermöglicht es bei den Strahlenschutzmassnahmen für die Bevölkerung gezielt Prioritäten zu setzen. Auch ist so für jede und jeden besser nachvollziehbar, inwiefern ein Verhalten oder eine besondere Situation die eigene Strahlenexposition beeinflussen kann.

Um diese Unterschiede in der Strahlenexposition darzustellen, wurden einige fiktive, aber realistische Expositionsszenarien definiert und dafür die Beiträge der verschiedenen Expositionquellen zur effektiven Dosis beurteilt. Die resultierenden Gesamtdosen für die jeweilige fiktive Person sind in Abbildung 3 dargestellt.

Die Fälle 1 bis 5 entsprechen der Mehrheit der Bevölkerung, die sich während eines Jahres keiner Untersuchung mit medizinischem Bildgebungsverfahren unterziehen muss :

Fall 1 : jährliche Dosis einer Person, die nicht raucht, nicht im Flugzeug reist, in einer Wohnung mit schwacher Radonkonzentration und schwacher terrestrischer und kosmischer Strahlung lebt und wenig Lebensmittel konsumiert, die reich sind an natürlichen Radionukliden,

Fall 2 : jährliche Dosis einer Person wie im Fall 1, ausser dass die Radonkonzentration in der Wohnung dem schweizerischen Durchschnitt entspricht (75 Bq/m^3),

Fall 3 : jährliche Dosis einer Person, die in einer Gemeinde mit mittlerer Radonkonzentration und mittlerer terrestrischer und kosmischer Strahlung wohnt, die durchschnittlich oft Lebensmittel konsumiert, die reich sind an natürlichen Radionukliden, täglich 2.5 Zigaretten raucht und jedes Jahr einmal Zürich-Doha retour (9'000 km) fliegt ; die Person im Fall 3 erhält damit eine jährliche effektive Dosis, die der durchschnittlichen Dosis der Schweizer Bevölkerung (ohne Beitrag der Medizin) entspricht,

Fall 4 : jährliche Dosis einer Person wie im Fall 3, in deren Wohnung die Radonkonzentration jedoch hoch ist,

Fall 5 : jährliche Dosis einer Person, die in einer Wohnung mit hoher Radonkonzentration und hoher terrestrischer und kosmischer Strahlung lebt, täglich 1 Paket Zigaretten raucht, sehr viele Lebensmittel, die reich an natürlichen Radionukliden sind, konsumiert und zudem häufig im Flugzeug reist,

Die Fälle 6 und 7 entsprechen den Dosen von Personen, die zusätzlich als Patientin oder Patient durch medizinische Röntgendiagnostik exponiert sind :

Fall 6 : jährliche Dosis einer Person wie im Fall 3, die pro Jahr eine radiografische Untersuchung mit einer Dosis von 1.69 mSv erhält (was der durchschnittlichen Dosis der Bevölkerung infolge medizinischer Anwendungen entspricht),

Fall 7 : jährliche Dosis einer Person wie im Fall 5, bei der zusätzlich ein Bauch- und Beckenscan durchgeführt wurde (2 Durchgänge).

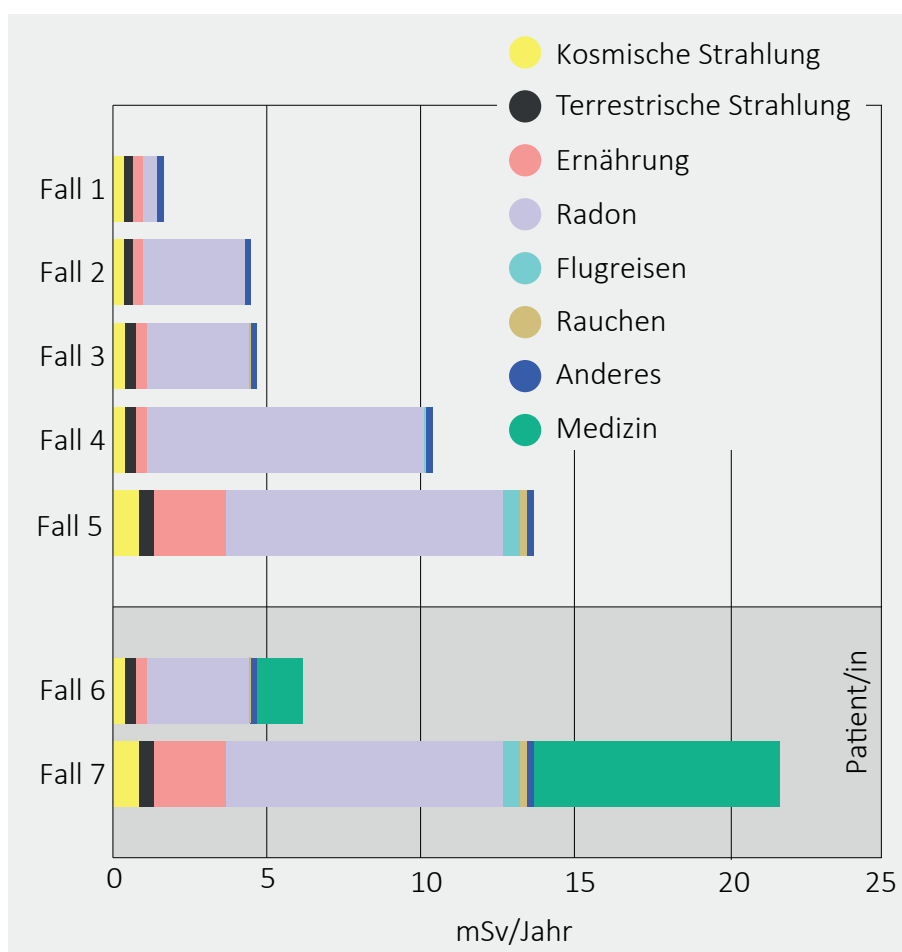


Abbildung 3:
Standardisierte Expositionsszenarien der Bevölkerung mit Angabe der Jahresdosis in mSv.

2.2 Exposition de la population suisse aux rayonnements ionisants

S. Estier, P. Steinmann

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 ainsi qu'aux examens médicaux. L'exposition à ces sources varie largement d'un individu à l'autre.

Catégories d'exposition

En radioprotection, on distingue trois catégories d'exposition aux rayonnements : les personnes professionnellement exposées aux radiations, la population générale et les patients.

En Suisse, plus de 100'000 personnes font l'objet d'une surveillance de leur exposition aux rayonnements dans le cadre professionnel. Cette exposition est enregistrée et contrôlée précisément par les employeurs et les autorités et fait l'objet d'un rapport séparé. Vous trouverez d'autres informations au sujet de l'exposition professionnelle dans le rapport annuel sur la dosimétrie publié sous www.bag.admin.ch/dosimetrie-rapports.

La seconde catégorie d'exposition aux rayonnements touche la population générale. Tout un chacun est ici concerné. Contrairement à l'exposition professionnelle, les doses reçues par la population ne sont pas enregistrées individuellement, mais évaluées pour l'ensemble de la population sur la base de mesures de la radioactivité dans l'environnement ou dans les habitations, ou encore sur la base d'enquêtes ou de modèles mathématiques. Le présent chapitre rend compte des résultats de cette évaluation de la dose de rayonnement pour la population suisse.

La troisième catégorie concerne les patient(e)s ayant bénéficié d'un diagnostic ou d'un traitement médical mettant en jeu des rayonnements ionisants. Ils font bien entendu partie de la population générale, mais les doses supplémentaires qu'ils reçoivent en raison d'une exposition médicale sont traitées séparément.

Cette exposition est en effet intentionnelle et apporte un bénéfice direct aux patient(e)s en terme de santé et de bien-être. Il s'agit là d'un cas spécial : la personne qui subit l'exposition aux rayonnements en profite aussi directement, p.ex. par le biais d'un diagnostic plus précis.

Possibilité d'action

L'ensemble de la population suisse est exposée en permanence à des rayonnements ionisants d'origines naturelle et artificielle. Si l'on différencie souvent entre sources naturelles et artificielles, ce n'est en aucun cas parce que les premières sont moins nocives que les secondes, mais généralement parce qu'elles sont présentes partout sans que nous puissions les influencer. Il existe toutefois des exceptions, notamment dans le cas du radon-222. En effet, si le gaz radon et ses descendants radioactifs sont bien d'origine naturelle, c'est leur accumulation dans les bâtiments, en raison d'une construction mal adaptée, qui est responsable des doses de rayonnement élevées pour les occupant(e)s. La situation est semblable pour le tabac et les vols en avion, dont l'origine des rayonnements est naturelle, mais pour lesquels la dose reçue par un individu particulier est directement liée à son comportement.

D'un point de vue de santé publique, il est donc plus judicieux de distinguer les sources d'exposition en fonction des possibilités d'action pour les individus et la société sur l'exposition qu'elles occasionnent plutôt que sur leur origine (figure 1).

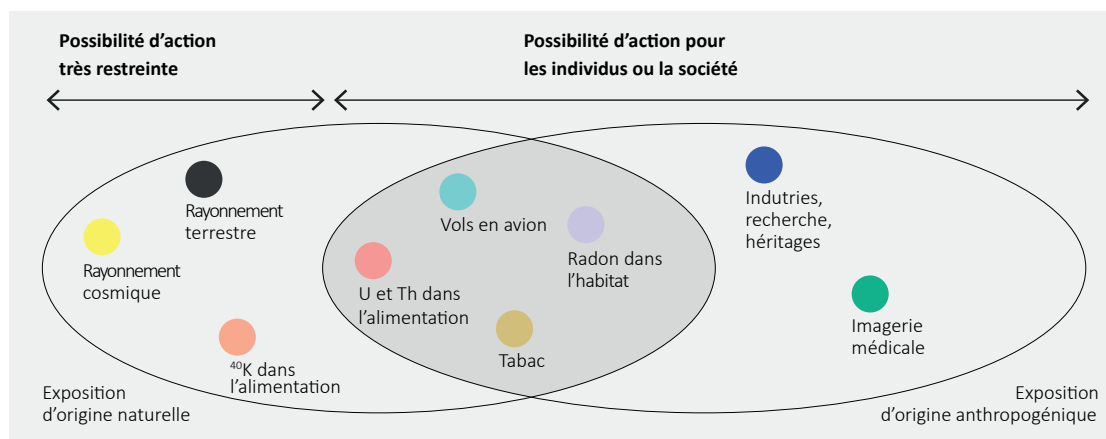


Figure 1 :

Les contributions importantes à l'exposition aux rayonnements de la population générale. Ovale gauche: exposition d'origine naturelle. Ovale droit: exposition d'origine anthropogénique. Zone de chevauchement (fond sombre): la source de rayonnement est d'origine naturelle, mais l'exposition dépend de l'intervention humaine. Elle peut donc être influencée par l'action de l'individu ou de la société. Zone sans chevauchement à gauche: les possibilités d'action pour réduire ces expositions sont très restreintes. Zone sans chevauchement à droite: sources artificielles de rayonnement; sans intervention humaine, ces sources n'existeraient pas.

Exposition aux rayonnements de la population générale

Exposition au 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/an et dépend de la composition du sol. La dose associée au rayonnement cosmique reçue, au sol, par la population suisse s'élève en moyenne également à 0.35 mSv/an. L'OFSP a procédé à une nouvelle estimation de la dose moyenne due aux rayons cosmiques en 2022, sur la base d'un modèle moderne (EXPACS), en tenant compte des statistiques démographiques et du modèle numérique du terrain sur une maille de 200 × 200 mètres. La nouvelle estimation de la valeur moyenne est légèrement inférieure à la valeur précédente de 0.38 mSv par an. La nouvelle estimation est discutée en détail au chapitre 2.3 du rapport annuel 2022 (voir www.bag.admin.ch/ura-rapports). Ce rayonnement augmentant avec l'altitude, la dose associée est p.ex. de 0.6 mSv/an à 1'500 m d'altitude. Les doses inhérentes aux voyages en avion à haute altitude sont traitées séparément, car elles sont directement influencées par le comportement individuel.

Doses de rayonnement dues aux aliments

L'exposition imputable à l'alimentation mérite d'être dissociée entre le ^{40}K et les autres radionucléides. En effet, le ^{40}K est un radionucléide naturel en

équilibre homéostatique: l'autorégulation par l'organisme conduit à une concentration stable de ^{40}K . Un individu est ainsi toujours exposé de la même manière, quel que soit son régime alimentaire. Le ^{40}K se fixant essentiellement dans les tissus musculaires, la dose induite par ce nucléide (environ 0.2 mSv/an) dépend essentiellement de la masse musculaire de l'individu.

Les autres radionucléides issus de l'alimentation peuvent être d'origine naturelle (p.ex. les radionucléides des séries naturelles de l'uranium et du thorium comme le ^{210}Po et le ^{210}Pb) ou artificielle (p.ex. le ^{137}Cs et le ^{90}Sr). Contrairement au ^{40}K , l'exposition dépend ici directement des habitudes alimentaires.

Certains poissons et fruits de mer sont p.ex. plus riches en ^{210}Po et en ^{210}Pb et peuvent conduire à des doses supplémentaires significatives. Selon l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaires (IRSNU), la population française reçoit en moyenne une dose efficace liée à la consommation de poissons et de fruits de mer de 0.13 mSv/an, celle-ci pouvant atteindre 2 mSv/an pour des régimes alimentaires particuliers. A noter que malgré les doses supplémentaires engagées, il n'est pas justifié d'un point de vue sanitaire de recommander une restriction de leur consommation compte tenu des qualités nutritives indéniables de ce type d'aliments. L'exposition aux radiations des radionucléides naturels tels que ^{210}Po , ^{210}Pb , et les isotopes du radium dans les aliments est abordée plus en détail au chapitre 5 du présent rapport.

Les doses dues à l'ingestion de ^{90}Sr et/ou de ^{137}Cs provenant des retombées des essais nucléaires atmosphériques des années 1960 et, dans le cas du ^{137}Cs , de l'accident de Tchernobyl, sont aujourd'hui très faibles. Les mesures au corps entier régulièrement réalisées sur des collégiens montrent que les doses annuelles liées à l'incorporation de ^{137}Cs sont inférieures à un millième de mSv. La dose induite par la consommation d'eau potable provient de la radioactivité naturelle (principalement les isotopes du radium) et est nettement inférieure à 0.1 mSv.

En moyenne, la dose reçue par la population suisse par l'ingestion de radionucléides (sans la contribution du ^{40}K) est d'environ 0.2 mSv par an.

Doses de rayonnement dues au radon dans les habitations

Le radon-222 et ses produits de filiation dans les habitations constituent la plus importante contribution aux doses reçues par la population. Ces nucléides pénètrent dans le corps par l'air que nous respirons.

Dans sa publication 115 (2010), la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) a réévalué le risque de cancer du poumon lié au radon et l'a nettement corrigé vers le haut. Dans sa publication 137 (2017), la CIPR propose un nouveau coefficient de dose pour les travailleurs, aussi applicable à l'exposition domestique de la population et qui concorde avec l'estimation de la publication 115 (2010). Le nouveau coefficient de dose a été déterminé sur la base d'un modèle dosimétrique et sert de référence pour la population et les travailleurs en Suisse. La «dose radon» moyenne pour la population suisse, établie avec le nouveau coefficient, s'élève ainsi à 3.3 mSv/an. La valeur moyenne indiquée se base sur une concentration moyenne de radon dans les bâtiments de 75 Bq/m³ (celle-ci sera prochainement recalculée). L'exposition de la population au radon n'est cependant pas uniforme, le domaine des valeurs mesurées étant très étendu. On a p.ex. mesuré des valeurs extrêmes de plusieurs milliers de Bq/m³.

Dans sa plus récente évaluation, le Comité scientifique des Nations Unies sur les effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) recommande toutefois le maintien d'un coefficient de dose nettement plus

faible que celui de la CIPR. Ces coefficients sont utilisés dans le cadre du mandat de l'UNSCEAR à des fins de comparaison lors de l'évaluation de l'exposition de la population mondiale. La «dose radon» moyenne de la population suisse évaluée avec le coefficient de dose de l'UNSCEAR.

Doses de rayonnement dues au tabagisme

Si l'effet nocif du tabagisme sur la santé est connu de tous, beaucoup ignorent que cette pratique constitue aussi une voie d'exposition additionnelle aux rayonnements ionisants. En effet, l'inhalation par les fumeurs de radionucléides naturels, tels que le ^{210}Po et le ^{210}Pb contenus dans les feuilles de tabac, induit une dose supplémentaire par rapport aux non-fumeurs. D'après de récentes études, fumer 20 cigarettes par jour occasionne une dose efficace moyenne de 0.3 mSv/an. En 2017, 27 % de la population suisse de plus de 15 ans fumait en moyenne 10 cigarettes / jour (Enquête suisse sur la santé 2017, OFS). Ceci, ce qui représente une moyenne de 2.7 cigarettes par jour et par habitant, et donc une dose efficace moyenne de 0.04 mSv/an par habitant de plus de 15 ans due au tabagisme. Un rapport détaillé sur l'exposition aux radiations due au tabagisme est disponible au chapitre 2.3 du rapport annuel 2023 ([voir www.bag.admin.ch/ura-rapports](http://www.bag.admin.ch/ura-rapports)).

Doses de rayonnement dues aux vols en avion

Le rayonnement cosmique augmentant avec l'altitude (il est environ 100 fois plus élevé à 10'000 mètres qu'à 500 mètres d'altitude), les personnes voyageant par avion sont soumises à une exposition supplémentaire.

Contrairement à l'exposition permanente dans le milieu terrestre, cette exposition supplémentaire est directement liée au comportement de l'individu, raison pour laquelle elle est traitée séparément. Durant l'année 2015, les Suisses ont parcouru en moyenne 9'000 km en avion. La dose par habitant résultant de ces voyages en avion s'élève ainsi entre 0.03 et 0.07 mSv/an en fonction des parcours effectués. En effet, les doses sont plus élevées pour les trajectoires à proximité des pôles que pour celles proches de l'équateur. Pour le personnel navigant, la dose supplémentaire liée au rayonnement cosmique peut atteindre plusieurs mSv par an.

Exposition liée aux rejets de l'industrie, de la recherche et de la médecine ainsi qu'aux héritages radiologiques (essais et accidents nucléaires, radium horloger)

Aux doses de rayonnement mentionnées précédemment vient s'ajouter une faible contribution (≤ 0.1 mSv/an) provenant de l'exposition aux rejets de substances radioactives dans l'environnement par les centrales nucléaires, les industries, les centres de recherche et les hôpitaux, ainsi qu'aux radionucléides artificiels présents dans l'environnement. Les doses reçues par les personnes habitant à proximité immédiate d'une centrale nucléaire, d'une industrie ou d'un centre de recherche et qui sont attribuables aux substances radioactives émises par ces installations dans l'air et dans les eaux usées, atteignent en effet au maximum un centième de mSv par an. La valeur limite de dose en situation d'exposition planifiée est fixée à 1 mSv/an pour la population et s'applique essentiellement à cette composante de l'exposition.

En ce qui concerne les héritages radiologiques, les retombées de l'accident de Tchernobyl en avril 1986 et des essais nucléaires atmosphériques au début des années 1960 n'occasionnent aujourd'hui plus qu'une dose de quelques centièmes de mSv par an. Les doses provenant de la dispersion de substances radioactives après l'accident du réacteur nucléaire de Fukushima en 2011 sont négligeables en Suisse.

Exposition des patient(e)s

Doses de rayonnement dues au diagnostic médical

Les patients font bien entendu partie de la population générale, mais les doses supplémentaires issues des applications médicales doivent être traitées séparément. Cette exposition est en effet intentionnelle et apporte un bénéfice direct aux patients en termes de santé et de bien-être. Selon la nouvelle enquête de 2023, la dose due aux applications médicales (imagerie médicale) s'élève en moyenne de 1.69 mSv/an et par personne pour l'ensemble de la population, soit une augmentation d'environ 10 % par rapport à l'enquête de 2018. Une grande partie de cette hausse s'explique par un changement de méthode, qui apporte des avantages en termes de représentativité et d'automatisation, mais qui entraîne aussi une rupture dans la série chronologique. Pour plus d'informations, voir <http://bag.admin.ch/exposition-diagnostique-aux-rayonnements-en-medecine>.

Plus des deux tiers de la dose en radiodiagnostic proviennent des examens de tomodensitométrie (CT). Comme dans le cas du radon, l'exposition par le diagnostic médical est inégalement répartie : on estime en effet que 1.7 patient(e) pour 1'000 habitant(e)s reçoit une dose efficace cumulée de plus de 100 mSv¹ issue d'examens de tomodensitométrie sur une période de cinq ans. Toutefois, la plupart des patient(e)s reçoivent ces doses élevées à un âge avancé.

Bilan de l'exposition de la population Suisse

Exposition moyenne

Les contributions moyennes des sources d'exposition susmentionnées sont illustrées en figure 2. La dose efficace moyenne reçue par la population suisse du fait de l'ensemble de ces sources d'exposition s'élève ainsi à environ 6 mSv/an.

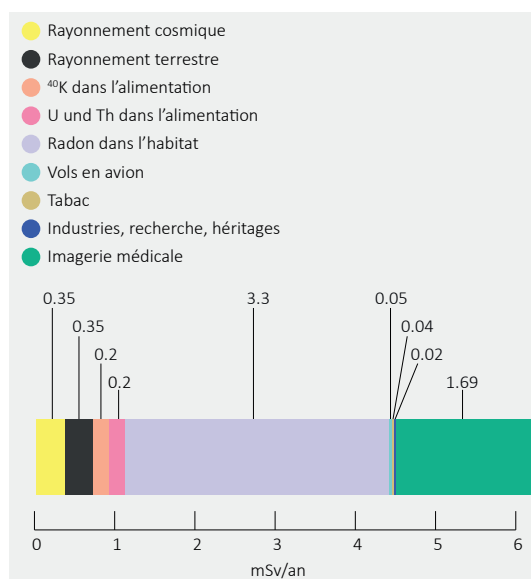


Figure 2 : Contributions moyennes à la dose efficace (en mSv) par année et par habitant en Suisse.

¹ Méthode de calcul selon Rehani MM, Hauptmann M, Estimates of the number of patients with high cumulative doses through recurrent CT exams in 35 OECD countries; Physica Medica 76 (2020); <https://doi.org/10.1016>

Variabilité de l'exposition

Les valeurs moyennes de l'exposition ne sont, à elles seules, pas suffisantes pour donner une image représentative de l'exposition réelle de la population suisse, car certaines de ces composantes peuvent varier de manière très significative d'un individu à l'autre. L'exemple le plus significatif est celui de l'exposition médicale des patient(e)s. La dose efficace moyenne pour les examens CT les plus courants sur l'abdomen et le haut de l'abdomen est p.ex. d'environ 12 mSv. La dose moyenne de 1.69 mSv pour l'exposition des patient(e)s n'est donc pas très représentative de la distribution des doses reçues individuellement.

Afin d'obtenir une image globale de l'exposition aux rayonnements de la population suisse, il est donc important de tenir compte des conditions individuelles, p.ex. le lieu d'habitation, le mode de vie et les habitudes alimentaires, ainsi que les examens médicaux réalisés, afin de prioriser de façon ciblée les mesures de radioprotection pour la population. Cela permettra à tout un chacun de comprendre plus facilement dans quelle mesure son comportement ou une situation particulière peut influencer sa propre exposition aux rayonnements.

Afin d'illustrer ces différences d'exposition aux rayonnements, quelques scénarios d'exposition fictifs, mais réalistes, ont été définis et les contributions à la dose effective des différentes sources d'exposition évaluées. Les doses globales résultantes pour l'individu fictif en question sont présentées en figure 3.

Les cas 1 à 5 correspondent à la majorité de la population qui ne subit aucun examen d'imagerie médicale au cours d'une année :

Cas 1 : dose annuelle reçue par un individu ne fumant pas, ne voyageant pas en avion, vivant dans une habitation à faible concentration en radon et à faible niveau de rayonnements terrestres et cosmiques, et consommant peu de denrées alimentaires riches en radionucléides naturels.

Cas 2 : dose annuelle reçue par l'individu du cas 1, à la différence que la concentration en radon dans son habitation équivaut à la valeur moyenne suisse (75 Bq/m³).

Cas 3 : dose annuelle reçue par un individu vivant dans une commune à concentration moyenne en radon et à niveau moyen de rayonnements terrestres et cosmiques, ayant une consommation moyenne de denrées alimentaires riches en radionucléides naturels, fumant 2.5 cigarettes par jour et effectuant un voyage Zurich – Doha aller-retour (9'000 km) par an. Ce cas correspond ainsi à celui d'une personne recevant une dose efficace annuelle égale à la valeur moyenne de la dose reçue par la population suisse (sans la contribution médicale).

Cas 4 : dose annuelle reçue par l'individu du cas 3, à la différence que celui-ci habite dans une habitation à concentration élevée de radon.

Cas 5 : dose annuelle reçue par un individu vivant dans une habitation à concentration élevée de radon et à niveau élevé de rayonnements terrestres et cosmiques, fumant 1 paquet de cigarettes par jour, ayant une consommation très importante de denrées alimentaires riches en radionucléides naturels et voyageant de plus fréquemment en avion.

Les cas 6 et 7 correspondent aux doses reçues par des individus exposés en plus en tant que patient(e)s au radiodiagnostic médical :

Cas 6 : dose annuelle reçue par l'individu du cas 3, mais avec un examen radiographique annuel, délivrant une dose de 1.69 mSv (correspondant à la dose moyenne reçue par la population par le biais des applications médicales).

Cas 7 : dose annuelle reçue par l'individu du cas 5 ayant par ailleurs reçu un scanner abdomino-pelvien (deux passages).

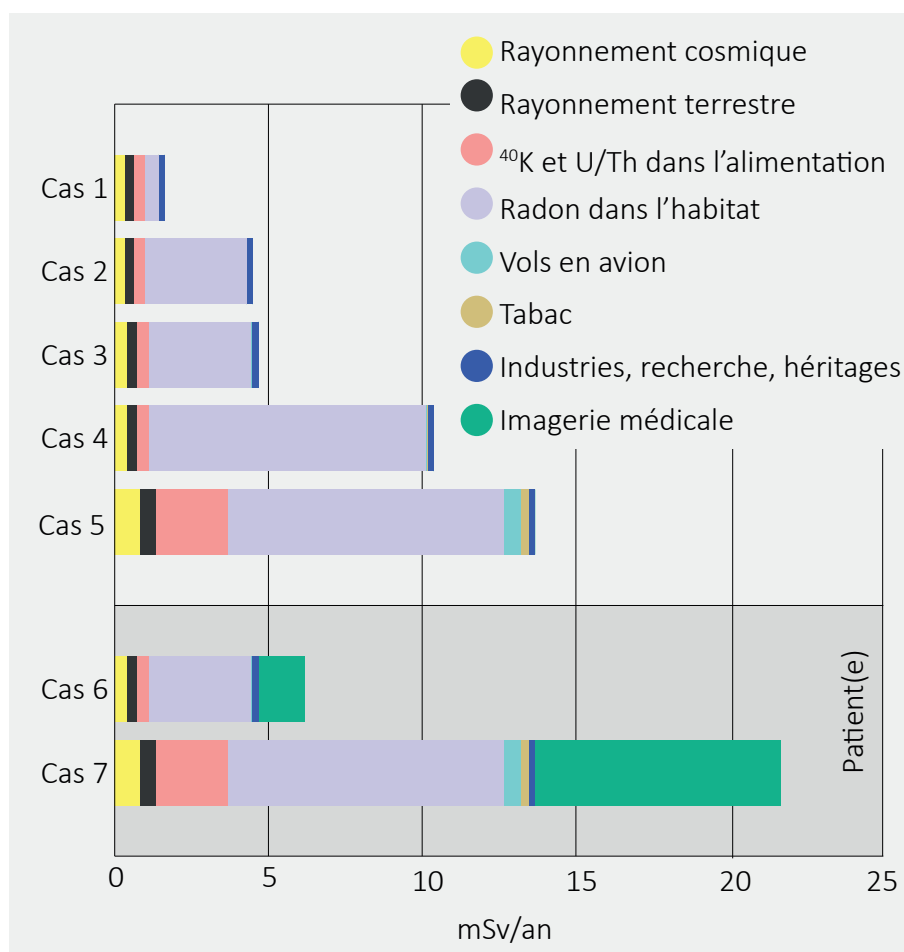


Figure 3 :
Variabilité de l'exposition de la population suisse: dose efficace d'un individu en mSv/an pour 7 scénarios standardisés.

3. Rayonnement externe

Externe Strahlung

3.1 Mesures in situ & exposition externe

A. Gurtner, S. Estier

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

Résumé

En 2025, les campagnes de mesures de spectrométrie gamma in situ se sont concentrées sur les environs des centrales nucléaires et des principaux centres de recherche tels que le PSI et le CERN. Elles visaient également à surveiller la contamination résiduelle en ^{137}Cs , issue des essais nucléaires atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl. Bien que cette contamination reste plus marquée au Tessin et dans le nord-est de la Suisse par rapport au Plateau suisse, les résultats de 2025 n'ont révélé aucune valeur constituant un risque pour la santé de la population concernée.

Introduction

En Suisse, la surveillance continue de l'exposition ambiante repose sur les réseaux NADAM, à l'échelle nationale, et MADUK, déployé au voisinage des installations nucléaires. Ces réseaux automatiques fonctionnent 24 heures sur 24 afin de détecter toute augmentation anormale de l'exposition ambiante. Toutefois, à l'instar des dosimètres à thermoluminescence, ils enregistrent l'exposition ambiante globale sans pouvoir en distinguer ses composantes individuelles. Les analyses d'échantillons en laboratoire par spectrométrie gamma visent principalement à détecter la présence de traces de radionucléides. Toutefois, ces mesures ponctuelles ne permettent pas d'évaluer l'exposition ambiante.

Pour combler cette lacune, les laboratoires mobiles de l'OFSP (Section URA, Berne), de l'IFSN (Brugg), du Laboratoire de Spiez et de l'IRA (Lausanne) ont recours à la spectrométrie gamma directe sur site (in situ). Cette méthode présente l'avantage de permettre l'identification des radionucléides émetteurs gamma présents sur le site, d'estimer leurs activités et de calculer leur contribution individuelle à l'exposition du public. La spectrométrie gamma in situ fournit ainsi des informations sensibles et réalistes 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.

Lors d'une mesure sur le terrain, un spectre gamma est enregistré et le débit d'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 $[\text{Bq/kg}]$ ou $[\text{Bq/m}^2]$, si leur distribution dans le 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 d'équivalent de dose ambiant des divers radionucléides identifiés sur le spectre in situ à partir de leur concentration radioactive calculée précédemment. Les facteurs de conversion² de l'activité spécifique au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ utilisés par notre

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.

laboratoire pour les séries naturelles de l' ^{238}U et du ^{232}Th ainsi que pour le ^{40}K et le ^{137}Cs , dans le cas d'une distribution homogène de ces radionucléides dans le sol, sont résumés dans le tableau 1.

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 l' ^{238}U et du ^{232}Th ainsi que pour le ^{40}K et le ^{137}Cs , dans le cas d'une distribution homogène de ces radionucléides dans le sol ^{2,3}.*

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

La contribution d'origine naturelle au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ s'obtient par sommation des composantes locales du rayonnement terrestre (^{40}K , séries ^{238}U et ^{232}Th), évaluées pour une distribution homogène de ces radionucléides dans le sol, avec la contribution du rayonnement cosmique calculée à l'altitude du site. La formule suivante permet de calculer la contribution du rayonnement cosmique au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$:

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

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 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.

Sites examinés en 2025

Conformément au programme de surveillance habituel, en 2025, les campagnes de mesures de spectrométrie gamma in situ ont été menées aux abords des centrales nucléaires de Beznau (CNB), Gösgen (CNG), Leibstadt (CNL), et Mühleberg (CNM), des centres de recherche (PSI, CERN) et du site d'entreposage temporaire de déchets radioactifs (ZWILAG) ainsi qu'au Tessin, région de Suisse la plus affectée par les retombées de l'accident de Tchernobyl.

Par ailleurs, les trois sites de référence (Posieux / FR, Güttingen / TG et Cadenazzo / TI) pour la surveillance de la radioactivité environnementale en Suisse ont été examinés en 2025. Le site d'Arenenberg / TG complète la liste des emplacements visités au cours de cette année.

Résultats 2025

Les contributions respectives au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ des différents radionucléides identifiés par spectrométrie gamma in situ (y compris les descendants des séries naturelles) sont présentées aux figures 1 à 4 pour les sites suisses examinés en 2025. Ces contributions ont été calculées à partir des spectres gamma in situ, en supposant une distribution homogène des radionucléides dans le sol, y compris pour le ^{137}Cs d'origine artificielle. Afin d'évaluer la fiabilité de cette reconstitution, la valeur mesurée du débit de dose ambiant au moyen d'une chambre d'ionisation, ainsi que son incertitude, sont également représentées.

Concernant la centrale nucléaire de Mühleberg, mise hors service en septembre 2020, les mesures in situ réalisées en 2025 s'inscrivent dans le cadre du suivi 2017–2025 présenté à la figure 2. Elles ont été effectuées sur les sept sites retenus dans le programme complémentaire «Point zéro Démantèlement KKM 2017–2019», dont les résultats ont été publiés dans le rapport commun³ de l'IFSN et de l'OFSP, disponible sur le site internet de l'IFSN.

Comme déjà observé en 2021, la présence temporaire de matériaux issus des travaux de démantèlement a entraîné une augmentation du débit de dose ambiant au point de mesure « KKM Clôture » (figure 2).

³ https://ensi.admin.ch/de/wp-content/uploads/sites/2/2021/04/Nullpegelmessung_Rueckbau_KKM_2017_2019.pdf

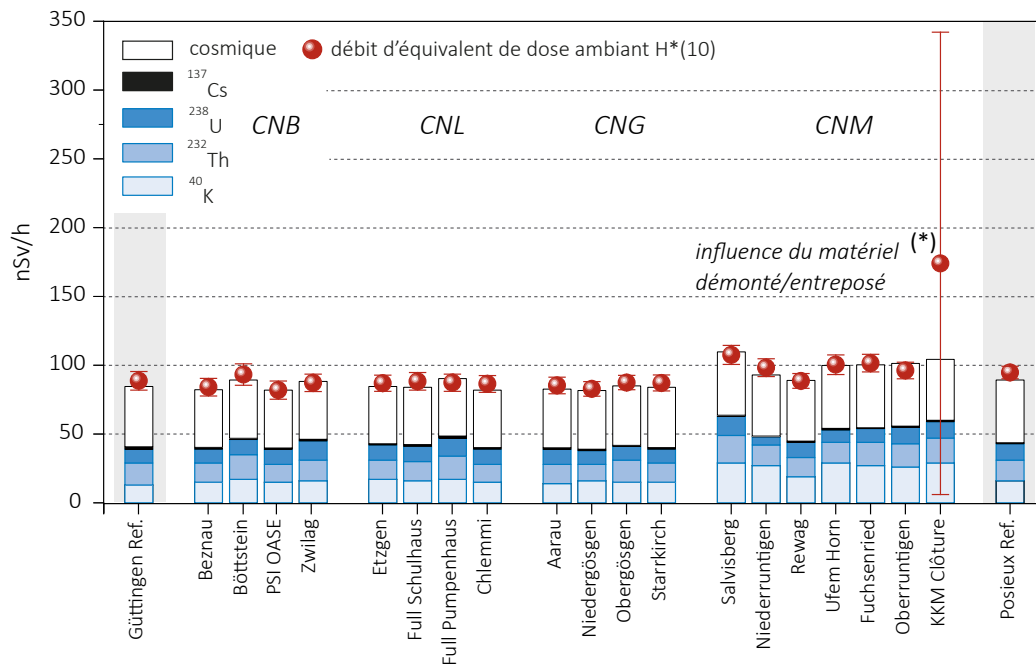


Figure 1:

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 2025 ainsi qu'aux points de référence de Güttingen/TG et Posieux/FR (en gris). La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ avec chambre d'ionisation est également représentée. * Les valeurs plus élevées de débit de dose mesurée à la clôture de CNM en 2025 sont dues à la présence de matériaux issus des travaux de démantèlement, stockés temporairement sur le site.

En 2025, le spectre gamma in situ enregistré sur ce site met clairement en évidence la présence de ^{60}Co , ^{54}Mn et ^{125}Sb . Toutefois, l'absence de ces radionucléides dans l'échantillon de sol prélevé simultanément indique qu'ils proviennent des matériaux temporairement entreposés sur le site dans le cadre des travaux de démantèlement.

La figure 3 illustre les fluctuations du débit de dose ambiant observées au point « Clôture », en fonction du passage à une distance plus ou moins proche des conteneurs contenant ces matériaux lors des opérations de traitement.

Une estimation de la contribution au débit d'équivalent de dose ambiant du matériel démonté et entreposé peut être obtenue en soustrayant, du débit total mesuré par chambre d'ionisation, les contributions du ^{40}K , des séries de ^{238}U et ^{232}Th , du ^7Be , du ^{137}Cs , ainsi que du rayonnement cosmique. Pour la mesure considérée, cette contribution est estimée à environ 70 nSv/h, soit :

$$174 \text{ nSv/h (valeur mesurée)} - 103,8 \text{ nSv/h} = \sim 70 \text{ nSv/h.}$$

En dehors de cette situation particulière observée au point « Clôture », les résultats obtenus à proximité des

centrales nucléaires, du PSI et du ZWILAG (figure 1) sont généralement comparables à ceux mesurés sur des sites de référence situés hors de l'influence de ces installations, tels que Güttingen ou Posieux.

Le ^{137}Cs est resté, en 2025, le seul émetteur gamma d'origine artificielle détecté sur l'ensemble des autres sites étudiés. Les activités mesurées sont compatibles avec les retombées globales encore observables en Suisse, principalement liées à l'accident de Tchernobyl.

On constate également sur la figure 2 qu'en 2025, les valeurs de ^{40}K sont revenues dans la plage habituellement observée, contrairement à celles mesurées en 2022, qui étaient généralement plus élevées que celles enregistrées au cours des années précédentes. Cette augmentation était liée à la forte sécheresse de l'été 2022. En effet, en l'absence d'humidité, la densité du sol diminue par rapport à la valeur standard utilisée pour le calcul de la réponse du détecteur (étalonnage en efficacité). Aucune correction de l'auto-absorption liée aux variations de la densité du sol n'étant appliquée, les activités mesurées sont surestimées lorsque la densité du sol est inférieure à la valeur standard, et sous-estimées lorsqu'elle lui est supérieure (voir chapitre 3.1 du rapport annuel 2022).

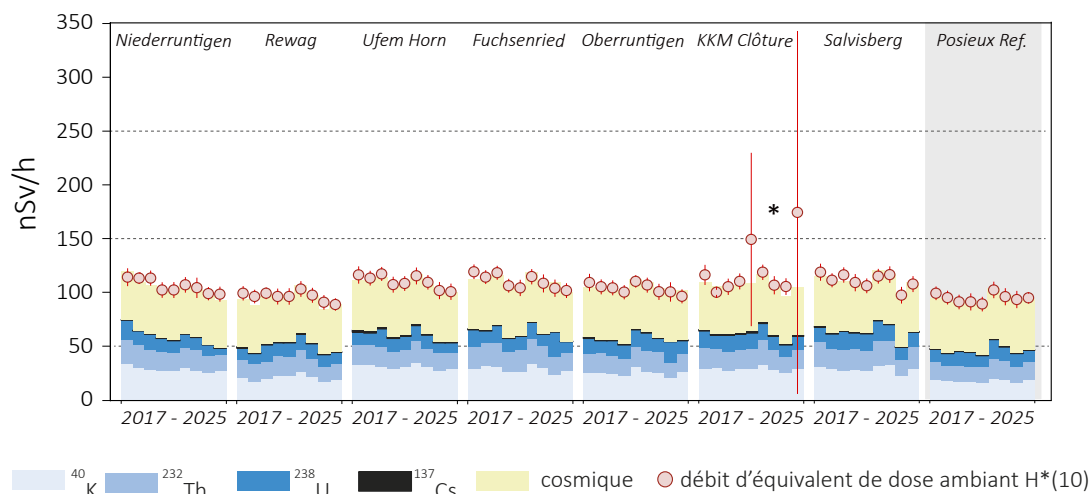


Figure 2:

Suivi 2017-2025 des 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 ainsi qu'au point de référence de Posieux/FR (en grisé). La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ avec chambre d'ionisation est également représentée. * Les valeurs plus élevées de débit de dose mesurée à la clôture de CNM «point KKM» en 2021 et en 2025 sont dues à la présence de matériaux issus des travaux de démantèlement, stockés temporairement sur le site.

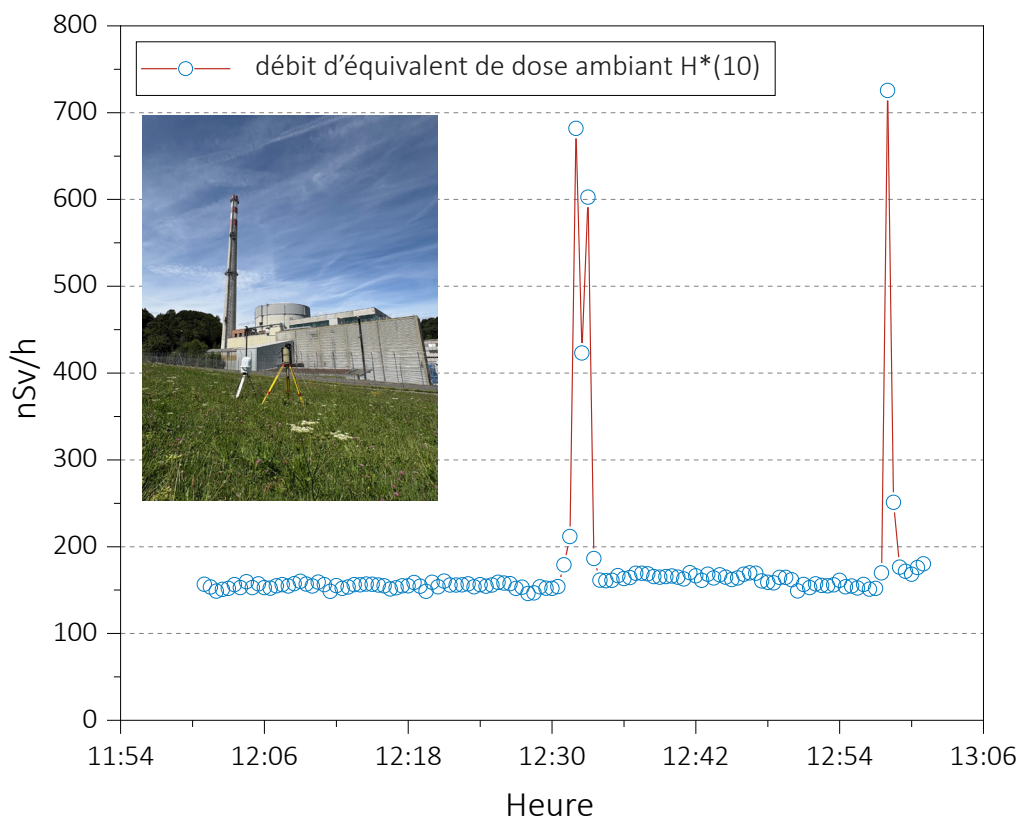


Figure 3:

Suivi du débit d'équivalent de dose ambiant mesurée avec une chambre d'ionisation RSS à la clôture de CNM en 2025, la présence de matériaux issus des travaux de démantèlement stockés temporairement sur le site explique la valeur moyenne d'environ 170 nSv/h. Les pics d'environ 700 nSv/h s'explique par le déplacement de ces matériaux d'un bâtiment à l'autre.

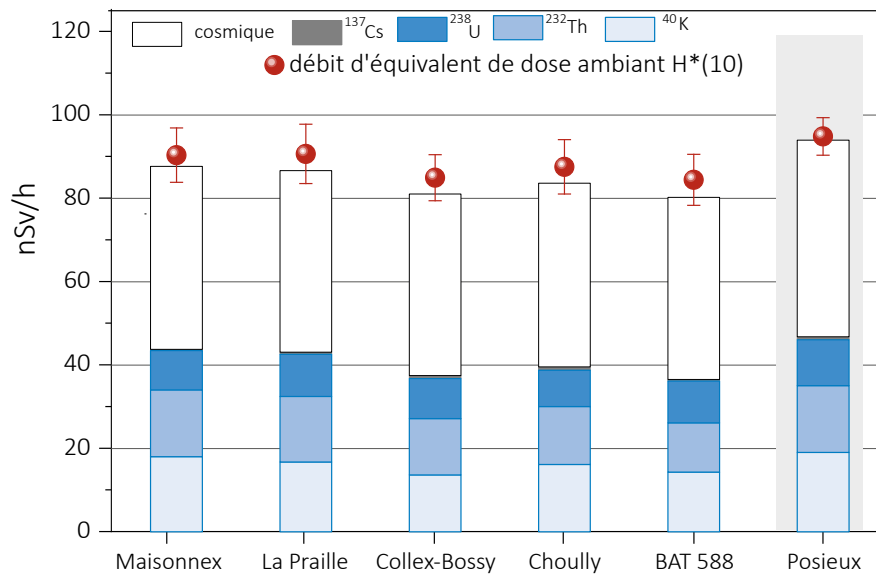


Figure 4 :

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 en 2025 au voisinage du CERN. La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ avec chambre d'ionisation est également représentée.

La figure 4 montre les résultats des mesures in situ réalisées au voisinage du CERN en 2025. Ces résultats ne se distinguent généralement pas de ceux enregistrés sur le site de référence de Posieux.

Au Tessin, comme le montre la figure 5, la contamination rémanente en ¹³⁷Cs, issue des retombées des essais nucléaires atmosphériques des années 1950 et 1960, et surtout, de l'accident de Tchernobyl survenu en 1986, demeure clairement visible.

Les concentrations de ¹³⁷Cs dans le sol présentent d'importantes variations spatiales à l'échelle du canton, rendant difficile l'établissement d'une valeur de référence pour ce radionucléide, comme l'avaient confirmé les résultats de l'exercice d'intercomparaison réalisé en 2024. Ces disparités s'expliquent, d'une part, par les différences dans les dépôts initiaux, directement liées aux précipitations lors du passage du nuage radioactif de Tchernobyl, ainsi qu'à l'altitude pour les retombées

des essais nucléaires atmosphériques des années 1950 et 1960. D'autre part, elles reflètent également les différences de nature et d'utilisation des sols depuis 1986, notamment les travaux réalisés, le retournement des sols ou encore les pratiques d'exploitation.

Dans le nord-est de la Suisse, notamment à Güttingen et Arenenberg, les retombées de ¹³⁷Cs liées à l'accident de Tchernobyl ont également été plus marquées que sur le reste du Plateau suisse, tout en restant nettement inférieures à celles observées au sud des Alpes.

Il convient de souligner que, pour tous les sites examinés — à l'exception du point de mesure situé à proximité de la clôture de la centrale de Mühleberg, pour les raisons décrites précédemment —, les écarts entre la reconstruction in situ et les mesures par chambre d'ionisation sont restés inférieurs à 10 %, corroborant ainsi la fiabilité de la méthode.

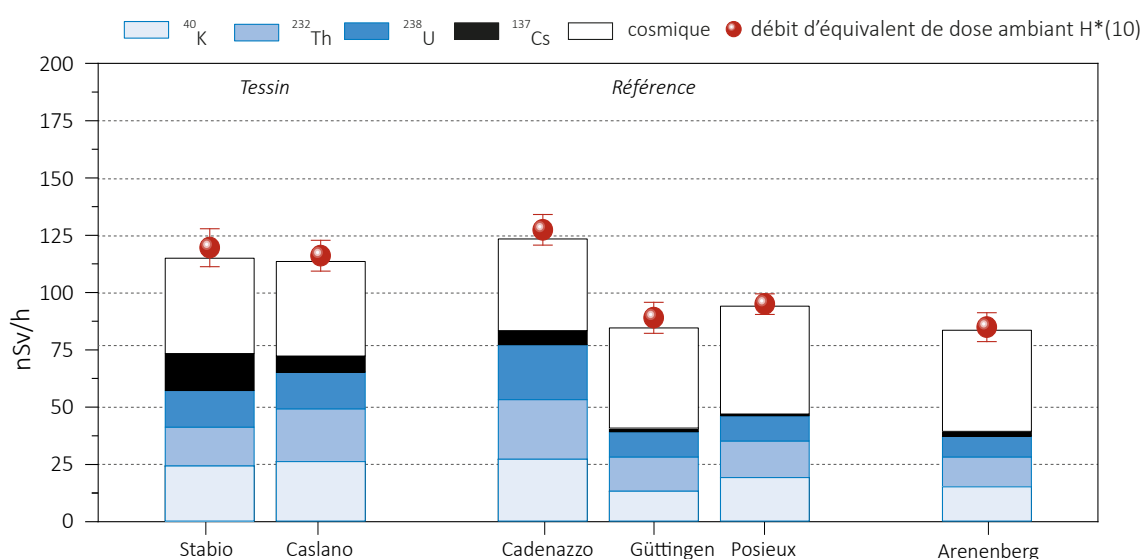


Figure 5:

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 2025 au Tessin, à Arenenberg / TG 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 2025 ont permis de caractériser les sites d'intérêt du point de vue de leur composition en radionucléides émetteurs 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 en ^{137}Cs dues aux retombées des essais nucléaires et de Tchernobyl).

De manière générale, cette méthode 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 avec celui mesuré par 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 que sur le plateau Suisse, les résultats, en termes d'exposition du public, n'ont mis en évidence aucune valeur susceptible de représenter un risque pour la santé de la population.

3.2 Die automatische Überwachung der Ortsdosisleistung mit NADAM

Adrian Hess

Nationale Alarmzentrale und Ereignisbewältigung NEOC
Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS

Zusammenfassung

Um die externe radioaktive Strahlung in der Schweiz permanent grossräumig überwachen zu können, betreibt der Geschäftsbereich Nationale Alarmzentrale und Ereignisbewältigung NEOC (englisch: National Emergency Operations Centre) des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz BABS das Netz für die automatische Dosisleistungs-Alarmierung und Messung NADAM.

Das NADAM-Netz ermöglicht eine detaillierte Erhebung der Gamma-Ortsdosisleistung an Standorten in der ganzen Schweiz, es dient als Frühwarnsystem bei Überschreitung eines Alarmwerts und unterstützt die Einsatzorganisation Nationale Alarmzentrale EO NAZ im Falle eines nuklearen/radiologischen Ereignisses bei der Bestimmung des gefährdeten Gebietes und bei der Definition allfällig anzuordnender Schutzmassnahmen.

Im aktuellen Bericht wird der NADAM-Standort Chasseral näher betrachtet. Die Wetter-Messtation von MeteoSchweiz musste 2025 verschoben werden. Auch die NADAM-Sonde wurde an dem neuen Standort etabliert, der sich in 1.6 km Entfernung und 149 m tiefer als der alte Standort befindet. Der Einfluss des Standortwechsels auf die Messdaten ist deutlich zu erkennen.

Im Jahr 2025 wurden mit dem NADAM-Netz keine Werte gemessen, die auf eine erhöhte Strahlenbelastung der Bevölkerung schliessen lassen.

Einleitung

Als Fachstelle des Bundes für ausserordentliche Ereignisse ist der Geschäftsbereich Nationale Alarmzentrale und Ereignisbewältigung NEOC (englisch: National Emergency Operations Centre) 365 Tage pro Jahr rund um die Uhr erreichbar und bereit, im Bedarfsfall als Einsatzorganisation Nationale Alarmzentrale EO NAZ die Arbeit aufzunehmen. Ihre Hauptaufgabe ist es dann, die Übersicht über die bevölkerungsschutzrelevante Lage sicherzustellen. Dies ist die Grundlage, um Behörden im In- und Ausland, internationale Organisationen und andere Partner warnen und orientieren, die Bevölkerung im Inland alarmieren und informieren zu können.

Die Aufgaben der EO NAZ im Bereich «Erhöhte Radioaktivität» sind besonders umfangreich. Die EO NAZ koordiniert die Probenahme- und Messorganisation des Bundes als zentrales Element für die Bewältigung eines radiologischen oder nuklearen Ereignisses. Damit kann die EO NAZ auf ein umfangreiches Netzwerk von

eigenen und fremden Messressourcen zugreifen, zu dem sowohl fest installierte Systeme zählen als auch mobile Komponenten, die flexibel eingesetzt werden können.

Gemäss der Verordnung über den Bevölkerungsschutz (BevSV, SR 520.12) ist die EO NAZ zuständig für den Betrieb des Netzes für die automatische Dosisleistungs-Alarmierung und -Messung (NADAM). Es dient der ständigen Überwachung der Radioaktivität und zudem als Frühwarnsystem. Überschreitet der Messwert auf einer NADAM-Station einen Alarmwert, wird automatisch das Pikett (Bereitschaftsdienst) der EO NAZ alarmiert, und der Messwert muss durch Fachpersonen der EO NAZ validiert werden (Ausschluss technischer Probleme, Überprüfung der Wetterdaten, Vergleich mit Nachbarstationen).

Bei Bedarf werden weitere Messmittel aufgeboten, zum Beispiel kann die kantonale Messunterstützung zugunsten der EO NAZ (KAMU NAZ) mit einer Kontrollmessung vor Ort beauftragt werden. Dies ermöglicht der EO NAZ bei einem radiologischen Ereignis, rasch das gefährdete Gebiet zu

bestimmen, Behörden des betroffenen Kantons zu orientieren und bei unmittelbarer Gefährdung eine Alarmierung auszulösen und Sofortmassnahmen zum Schutz der Bevölkerung anzuordnen.

Die mit dem NADAM-Netz ermittelte Ortsdosisleistung (ODL) wird als 10 Minuten-Mittelwerte abgelegt. In erster Linie dienen diese Daten der EO NAZ zur Beurteilung der radiologischen Situation im Normalzustand und im Ereignisfall. Sie werden ausserdem mit den Behörden mehrerer Nachbarstaaten geteilt.

Der Öffentlichkeit werden die ODL-Stundenmittelwerte der jeweils letzten drei Tage und die Tagesmittelwerte des Vortages auf der Internetseite des NEOC (<https://www.naz.ch/aktuell/messwerte.html>) zur Verfügung gestellt und zweimal täglich aktualisiert. Im Ereignisfall oder nach Bedarf kann der Publikationsrhythmus erhöht werden.

Die Stundenmittelwerte werden auch der «European Radiological Data Exchange Platform» (EURDEP, öffentlich zugängliche Messkarte: <https://remap.jrc.ec.europa.eu/Advanced.aspx>) und dem «International Radiation Monitoring Information System» (IRMIS) der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO bzw. englisch: IAEA) zur Verfügung gestellt. Damit erhalten die Teilnehmerstaaten beider Plattformen Zugang zu den Schweizer Messdaten. Im Gegenzug erhält die Schweiz Zugriff auf die entsprechenden Daten der anderen Teilnehmerstaaten.

Das NADAM-Netz und die Messdaten

Die permanente Überwachung der externen Strahlung in der Schweiz wird mit 76 ortsfesten NADAM-Messsonden sichergestellt, die sich verteilt über die ganze Schweiz auf Wetterstationen von MeteoSchweiz befinden. Damit stehen für jeden Standort Wetterdaten zur Verfügung, die wichtige Zusatzinformationen für die Interpretation der Messwerte liefern.

Diese Zusammenarbeit ermöglicht auch weitere Synergien, so kann die vorhandene Infrastruktur für Stromversorgung, Messdatenübermittlung und -speicherung genutzt werden, und die Wartung der Sonden erfolgt durch Techniker von MeteoSchweiz, welche auch andere Systeme auf ihren Stationen betreuen. In diesem Rahmen wird jede Sonde jährlich einer Funktionsprüfung unterzogen.

An vier Wartungsstandorten von MeteoSchweiz (Zürich, Payerne, Locarno, Davos) stehen

einsatzbereite NADAM-Sonden bereit, damit defekte Einheiten schnell ersetzt werden können. Da jederzeit damit gerechnet werden muss, dass einige Sonden infolge Reparatur- oder Kalibrierungsarbeiten nicht zur Verfügung stehen, beträgt der Bestand an für den ortsfesten Betrieb vorgesehenen NADAM-Sonden insgesamt 100 Stück.

Hinzu kommen 30 mobile NADAM-Sonden mit derselben Sensorik wie die ortsfesten Sonden. Die mobilen Sonden sind mit Stativ, Regensensor, Solarpanel und Mobilfunkmodul ausgerüstet, können dauerhaft autark betrieben werden und Messdaten direkt in die Datenbank des NEOC übermitteln. Diese Sonden sind im Labor Spiez stationiert. Die EO NAZ kann entsprechende Equipen aufbieten und veranlassen, dass mit diesen Sonden bei Bedarf innert weniger Stunden das NADAM-Netz erweitert bzw. verdichtet wird.

Derartige lokale Erweiterungen wurden im Jahr 2025 tages- oder wochenweise vorgenommen, um bei internationalen Veranstaltungen mit politischer Bedeutung präventiv die radiologische Situation punktuell genauer überwachen zu können. Bei diesen Einsätzen wurden keine auffälligen Strahlungswerte festgestellt und auf eine Diskussion von Messdaten der mobilen Sonden wird in diesem Bericht verzichtet.

Alle NADAM-Sonden sind mit Geiger-Müller-Zählrohren für den Nieder- und den Hochdosisbereich bestückt. Sie messen die γ -Ortsdosisleistung (ODL, $H^*(10)$) und speichern diese als 10 min-Mittelwerte. Der Abgleich der Daten von beiden Zählrohren ermöglicht eine erste automatische Plausibilisierung allfälliger erhöhter Messwerte. Der Messbereich einer Sonde geht von 10 nSv/h (Nanosievert pro Stunde) bis 10 Sv/h und deckt somit gut den Bereich ab von der natürlicherweise vorhandenen Radioaktivität bis hin zu Dosisleistungen, wie sie z.B. nach einer Nuklearwaffenexplosion auftreten könnten.

Die Messdaten werden terrestrisch über Mobilfunk- oder Kabelverbindungen übertragen. 15 Stationen sind mit der zusätzlichen Möglichkeit ausgerüstet, Messdaten via Satellitenverbindung zu übermitteln. Mit dieser Redundanz ist die Ausfallsicherheit der Datenübertragung erhöht, insbesondere da für den Fall einer Katastrophe mit Beeinträchtigungen der terrestrischen Kommunikationsnetze gerechnet werden muss.

Im MADUK-Netz in der Umgebung der Schweizer Kernanlagen setzt das ENSI baugleiche Sonden ein. In den Jahren 2020-2022 wurde bei allen NADAM-

und MADUK-Sonden der Typ Gamma Tracer XL2 2 des Herstellers Bertin GmbH eingeführt.

Die Sonden sind vom Hersteller typengeprüft. Vor der Inbetriebnahme und nach Reparaturen erfolgt eine zertifizierte Eichung durch eine anerkannte Eichstelle in der Schweiz, entweder am Institut de Radiophysique (IRA) des CHUV in Lausanne oder am Paul Scherrer Institut (PSI) in Villigen AG. Die Gültigkeitsdauer der Eichung wurde mit dem METAS auf max. 12 Jahre festgelegt, mit der Auflage, dass alle 12 Monate eine Funktionskontrolle die ausreichende Messgenauigkeit jeder Sonde bestätigt.

Diese periodische Funktionskontrolle erfolgt am Sondenstandort durch Techniker von MeteoSchweiz oder vom Labor Spiez. Mit einer zertifizierten radioaktiven Quelle wird überprüft, ob der durch eine Sonde gemessene Wert im definierten Messbereich nicht mehr als 20 % vom Sollwert abweicht. Bei grösseren Abweichungen oder technischen Defekten werden die Sonden ausgetauscht. Bei jedem Sondentest werden zudem die Meldewege überprüft, insbesondere die korrekte Auslösung und Übermittlung eines Alarms.

Die an einem Standort gemessene ODL setzt sich natürlicherweise aus einem terrestrischen und einem kosmischen Beitrag zusammen. Sollte im Falle eines radiologisch/nuklearen Ereignisses Radioaktivität in die Umwelt gelangen, könnte dies einen zusätzlichen, künstlichen Beitrag zur Folge haben.

Der terrestrische Anteil der ODL ist in erster Linie abhängig vom geologischen Untergrund. Uran- und thoriumhaltiges Gestein im Boden führt zu einem höheren terrestrischen Strahlungsbeitrag. Eine solche Bodenbeschaffenheit tritt in alpinen Gebieten häufiger auf als z.B. im Mittelland. Ein Beispiel für eine Station mit vergleichsweise hohem terrestrischem ODL-Beitrag ist Vicosoprano auf 1089 m.ü.M. am Talgrund im Bergell, wo 2025 mit 189 nSv/h wie in den Jahren zuvor der höchste ODL-Mittelwert aller NADAM-Stationen gemessen wurde.

Die Höhe des Sondenstandortes über Meer bestimmt den kosmischen Anteil an der ODL. Je höher der Standort, desto weniger wird die kosmische Strahlung durch die Atmosphäre abgeschwächt, entsprechend grösser bleibt ihre Intensität. Die Messstation Jungfrauoch liegt auf 3580 m.ü.M. Die kosmische Strahlung in dieser Höhe führte im Jahr 2025 mit 173 nSv/h zum zweithöchsten Jahresmittelwert der NADAM-Stationen.

Der Messwertebereich, der die Minima und Maxima der letzten Jahre sicher einschliesst, wird im NEOC als Erfahrungsbereich für einen bestimmten Standort bezeichnet. Dieser wird jährlich überprüft und wo nötig angepasst. Er 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 $\mu\text{Sv/h}$ (1 Mikrosievert pro Stunde) liegen.

Aus der gemessenen ODL werden Mittelwerte für jede volle Stunde und für jeden Kalendertag berechnet. Diese werden ausländischen Partnern zur Verfügung gestellt und online publiziert. Für die Stundenmittelwerte sind ebenfalls Erfahrungsbereiche definiert, welche enger ausfallen als diejenigen für die 10 min-Mittelwerte, da die Mittelung über längere Zeitabschnitte kleinere Schwankungen zur Folge hat.

Für langfristige Statistiken werden einige Kennzahlen für jedes Kalenderjahr berechnet. Aus allen an einem Standort registrierten ODL-Werten wird der Jahresmittelwert bestimmt und zusätzlich derjenige Wert, der am häufigsten gemessen wurde. Wenn über längere Zeiträume höhere oder tiefere Werte gemessen werden, beeinflusst dies den Jahresmittelwert, jedoch bleibt der häufigste Messwert ähnlich, sofern die Perioden mit abweichenden Werten nicht den dominierenden Anteil an der gesamten Messdauer ausmachen.

Wenn beispielsweise eine Schneedecke während einiger Wochen den terrestrischen Anteil der Strahlung teilweise abschirmt, führt dies zu einem tieferen Jahresmittelwert, während der häufigste Messwert zunächst nicht beeinflusst wird. Hält die Schneedecke besonders lange an, kann dies hingegen zur Folge haben, dass der häufigste Wert unter dem Jahresmittelwert zu liegen kommt. Am Standort Gütsch ob Andermatt (UR) ist der Unterschied zwischen häufigstem Wert und Mittelwert oft sehr ausgeprägt. Im Jahr 2025 dominierte die Dauer ohne Schneedecke, was zu einem häufigsten Wert von 175 nSv/h führte, der über dem Jahresmittelwert von 149 nSv/h liegt. Gütsch ob Andermatt könnte also-wenn es ganzjährig schneefrei wäre-die zweithöchste durchschnittliche Ortsdosisleistung aufweisen, die über derjenigen am Standort Jungfrauoch läge.

Auf dem Chasseral im Kanton Bern, nahe der Grenze zum Kanton Neuenburg, hat sich die bisherige sehr exponierte Lage als ungünstig für Niederschlags- und Schneemessungen erwiesen. Darum wurden die entsprechenden Messeinrichtungen 2025 an einem neuen Standort installiert, und mit ihnen der Standort der NADAM-Station angepasst. Die dadurch bedingten Änderungen der gemessenen Ortsdosisleistung werden im aktuellen Bericht dargestellt.

Gemessene Daten

Alle NADAM-Fix-Stationen der Schweiz sind mit ihrem jeweiligen numerischen Jahresmittelwert in der Übersichtskarte in Figur 1 eingetragen. Die wichtigsten Einflussfaktoren, welche sich auf die ODL und damit

auf deren Jahresmittelwerte auswirken, liegen in den Beiträgen der terrestrischen und der kosmischen Strahlung, sowie den meteorologischen Verhältnissen (Niederschlag, Schneedecke).

Im Mittelland mit kaum anhaltenden Schneedecken wurden mehrheitlich Werte um 100 nSv/h gemessen. In den Alpen und auf der Alpensüdseite führt die Beschaffenheit des Gesteins im Boden regional zu einem höheren terrestrischen Beitrag, in grosser Höhe ist hingegen der kosmische Beitrag bedeutender. Die beiden Effekte haben zur Folge, dass die Standorte Vicosoprano (GR) und Jungfrauoch (VS) jedes Jahr die zwei höchsten ODL-Jahresmittelwerte aller NADAM-Stationen aufweisen.

Die ODL-Jahresmittelwerte und die Messwertebereiche aller Stationen, die sich aus den Maxima und Minima der 10 min-Werte ergeben, sind in Figur 2 dargestellt. Die Werte passen gut zu den langjährigen Erfahrungen, mit Mittelwerten im gewohnten Bereich und natürlichen Abweichungen, die sich gut mit den jeweiligen Wettersituationen erklären lassen.

Auch im Jahr 2025 war es so, dass deutlich über dem Jahresmittelwert liegende Maxima während oder unmittelbar nach einsetzendem Niederschlag gemessen wurden, wenn natürlicherweise in der Luft befindliche radioaktive Partikel ausgewaschen und am Boden, d.h. in Sondennähe, deponiert

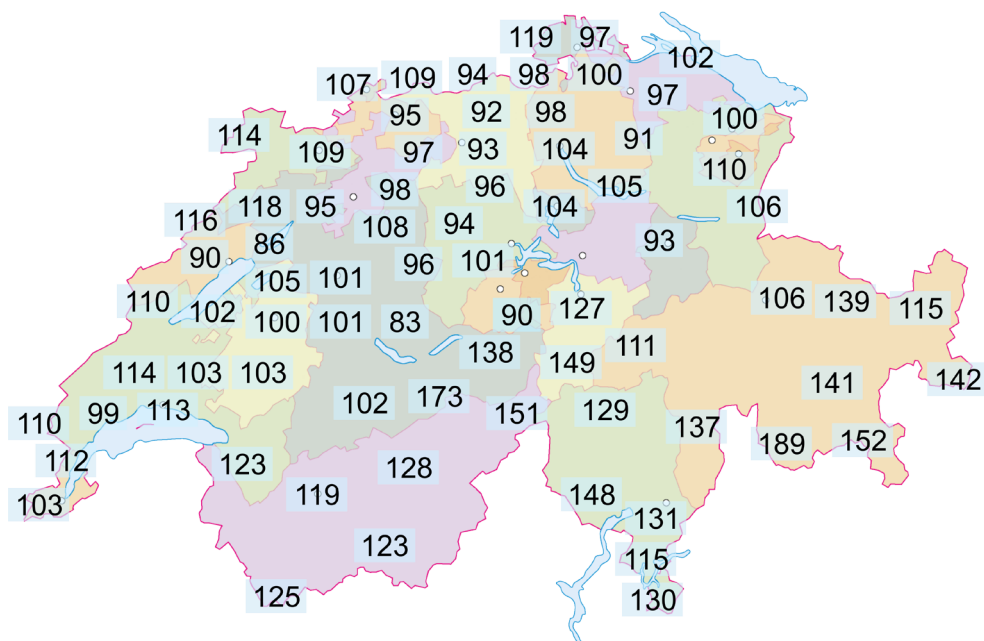
wurden. Dieser Effekt erklärt, warum die in Figur 2 aufgetragenen Maxima deutlich weiter von den Mittelwerten entfernt sind als die jeweiligen Minima.

Tiefere ODL-Werte ergeben sich, wenn nur reduzierte Strahlung die Sonde erreicht. Dies kann der Fall sein, wenn nach starken Niederschlägen in der Luft befindliche Partikel ausgewaschen und im Boden versickert oder abgefließen sind und anschliessend die mit Wasser gesättigten obersten Bodenschichten oder eine Schneedecke allfällige Strahlung aus tieferliegenden Gesteinsschichten abschirmen sowie das Aufsteigen gasförmiger Radionuklide verhindern. Daher liegen die Minimalwerte besonders weit unter den Mittelwerten an Standorten mit zeitweise dicker Schneedecke.

Vergleich der ODL-Messdaten bei Schnee

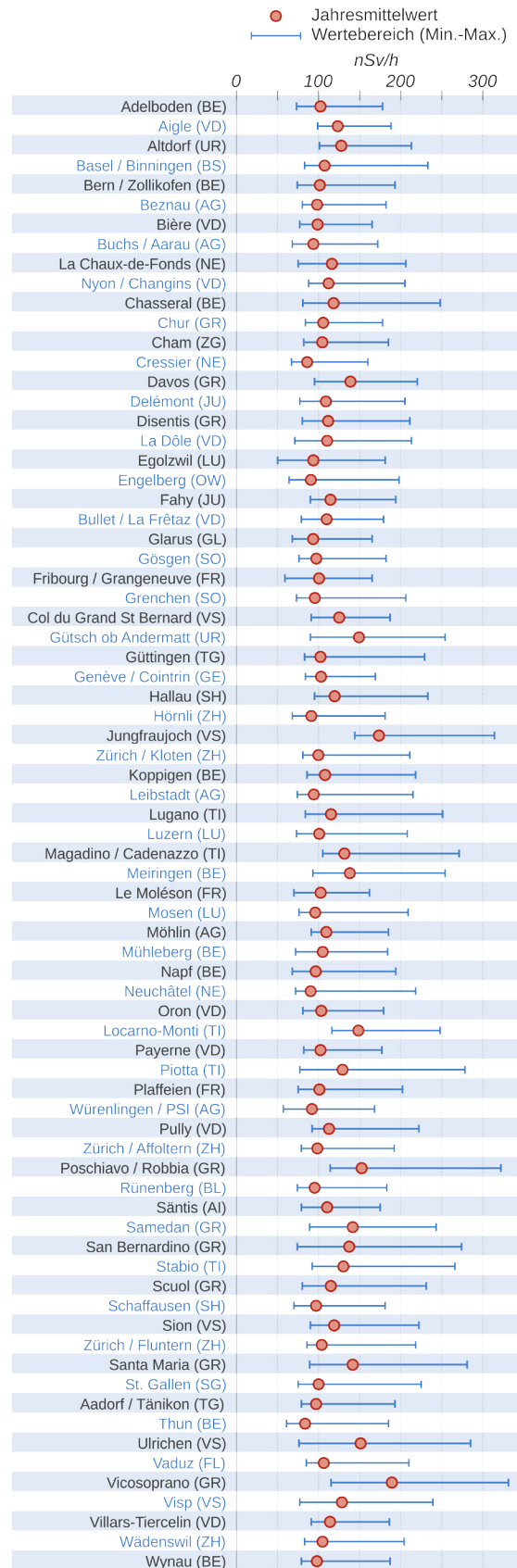
Figur 3 zeigt den Verlauf der ODL-10 min-Mittelwerte in Nanosievert pro Stunde (nSv/h) am Standort Chasseral (BE) über das ganze Jahr 2025. Ebenfalls aufgetragen und auf der rechten y Achse skaliert ist die Niederschlagsmenge in Millimetern pro 10 Minuten (mm/10 min).

Der am häufigsten gemessene ODL-Wert liegt mit 108 nSv/h etwas unter dem Jahresmittelwert von



Figur 1:

Karte mit den Jahresmittelwerten 2025 aller NADAM-Sonden in Nanosievert pro Stunde, basierend auf den 10 min-Werten. Der Jahresmittelwert der Ortsdosisleistung variiert je nach Standort zwischen 83 nSv/h in Thun (BE) und 189 nSv/h in Vicosoprano (GR).



Figur 2:

Jahresmittelwerte und Messwertebereiche der NADAM-Sonden. Der dargestellte Messwertebereich jeder Station entspricht dem Bereich zwischen dem minimalen und dem maximalen 10 min-Wert der Sonden im Jahr 2025.

118 nSv/h. Spikes bis zu einem Maximalwert von 248 nSv/h sind zu erkennen. Die Unterschiede zwischen dem Mittelwert und dem häufigsten Messwert sind für diese Station im Jahr 2025 jedoch nicht durch die Wettersituation zu erklären, sondern mit dem eingangs erwähnten Standortwechsel der NADAM-Sonde. Am 21.08.2025 erfolgte die Umstellung der NADAM-Messwerte auf den neuen Standort, 1.6 km entfernt und 149 m tiefer gelegen.

Im ersten Quartal sind kleine ODL-Schwankungen zu erkennen, möglicherweise bedingt durch eine sich verändernde dünne Schneedecke am alten Standort auf dem Gipfel. Am neuen Standort wurde von Mitte November bis Mitte Dezember eine deutlich reduzierte ODL detektiert. Gemäss Aufzeichnungen von MeteoSchweiz bestand in dieser Zeit ebenfalls eine Schneedecke von bis zu 40 cm, welche den terrestrischen Beitrag an die ODL signifikant reduziert haben dürfte.

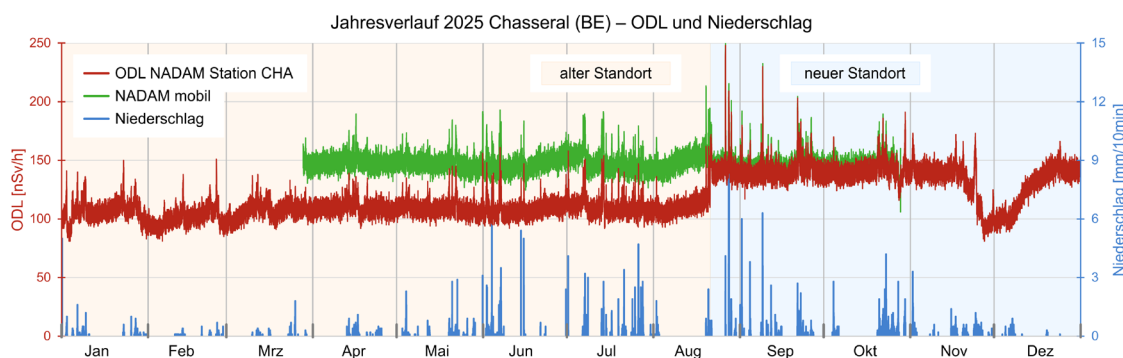
Als zusätzliche Datenreihe in Figur 3 sind grün die Messwerte einer NADAM-mobil-Sonde eingezeichnet, die aufgestellt wurde, um schon vor der Umstellung Messdaten vom neuen Standort zu haben. Auch nach der Umstellung wurde die mobile Sonde noch zwei Monate am Standort belassen.

Der Ausschnitt vom 12.08. bis zum 04.09.2025 der Datenreihen am Chasseral ist in Figur 4 dargestellt. In dieser Periode erfolgte die Umstellung auf den neuen NADAM-Standort. Das grün dargestellte ODL-Signal der NADAM-Mobil-Sonde am neuen Standort weist dieselben durch Niederschlag bedingten kurzfristigen Maxima auf wie die ODL-Kurven der stationären Sonden.

Tatsächlich fiel am Tag der Umstellung etwas Niederschlag, was einen Anstieg der ODL zur Folge hatte. Im Anschluss fielen die Werte nicht mehr auf das ursprüngliche Niveau um 100 nSv/h, sondern blieben aufgrund des höheren terrestrischen Beitrags am neuen Standort bei ungefähr 140 nSv/h, aber die ODL-Kurve weist keinen klaren Sprung auf. In der Zeit nach dem Wechsel korrelieren die Signale der beiden sehr gut, was für die Zuverlässigkeit der Sonden spricht.

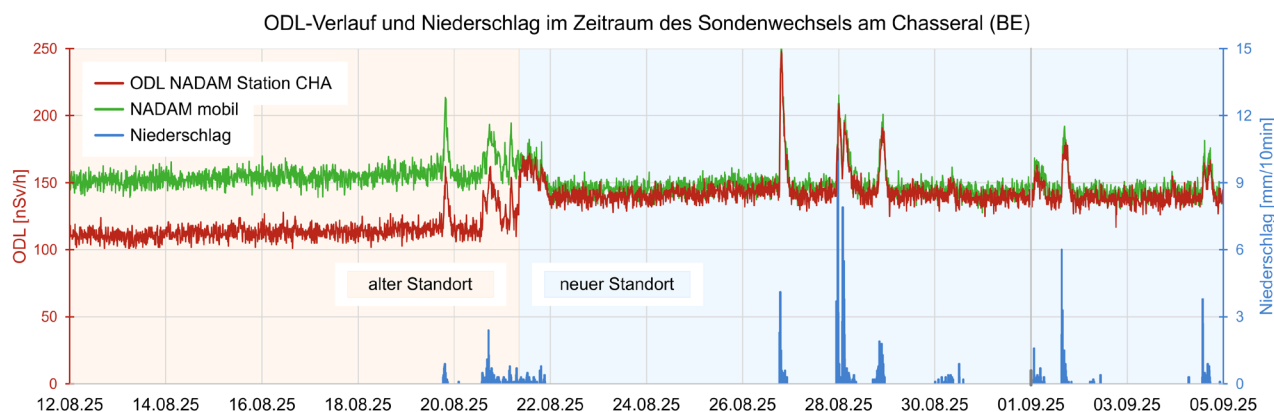
Die Häufigkeit aller auf dem Chasseral im Jahr 2025 erhobenen ODL-Messwerte ist logarithmisch skaliert in Figur 5 als rote Balken aufgetragen. Die beiden Maxima der sich ergebenden roten Diagrammfläche ergibt sich aus dem häufigsten ODL-Wert von 108 nSv/h der 2356 mal gemessen wurde, und dem Wert 139 nSv/h, 1159 mal registriert.

Am ursprünglichen Standort lagen die Werte mehrheitlich knapp über 100 nSv/h, am neuen Standort knapp unter 150 nSv/h, was sich in den erwähnten Maxima äussert. Eine Schulter aufgrund einer längeren Periode mit dauer haft tieferen Werten lässt sich nicht erkennen, weil keine länger anhaltende Schneedecke vorlag, die eine Häufung eines weiteren Wertes zur Folge gehabt hätte. Die Werte mit maximaler Schneedecke Anfang Dezember lagen um 100 nSv/h. Sie sind somit ähnlich wie die typischen Werte am alten Standort und daher in dem logarithmisch skalierten Diagramm nicht zu erkennen.



Figur 3:

Verlauf der 10 min-ODL-Werte (rot, auf der linken y-Achse skaliert) und 10 min-Niederschlagswerte (blau, rechte y-Achse) am Standort Chasseral BE über das Jahr 2025. Die ODL-Spikes jeweils bei einsetzendem Niederschlag sind gut zu erkennen. Die höchste 10 min-ODL von 248 nSv/h wurde am 26.08.2025 zwischen 17:20 und 17:30 UTC bei Niederschlag gemessen. Grün dargestellt sind die ODL-Werte, aufgezeichnet durch eine NADAM-Mobil-Sonde, die Ende März am neuen Standort aufgestellt wurde, und die auch nach der Umstellung noch zwei Monate parallel betrieben wurde.



Figur 4:

Verlauf der 10 min-ODL-Werte (rot, auf der linken y-Achse skaliert) und 10 min-Niederschlagswerte (blau, rechte y-Achse) am Standort Chasseral BE in den Tagen vor und nach der Umstellung auf den neuen Standort der Wetterstation. Die erhöhten Werte am 20. und 21.08.2025 korrelieren mit dem gleichzeitig fallenden Niederschlag, ebenso die ODL-Peaks nach dem Standortwechsel, also nach dem 21.08.2025.

Die zweite Datenreihe, dargestellt als blaue Balken, zeigt die ODL-Werte, welche aufgezeichnet wurden, wenn Niederschlag innerhalb der vorangehenden 50 Minuten oder der nachfolgenden 10 Minuten gefallen war. Der Anteil der oberhalb von 160 nSv/h gemessenen ODL-Werte ohne Bezug zu Niederschlag ist sehr gering und mit der logarithmischen Skalierung nicht visuell zu erkennen.

Im ODL-Bereich zwischen den Maxima der absoluten Werte an beiden Standorten dominieren leicht erhöhte Werte, die aufgrund von Niederschlag am alten Standort ermittelt wurden. Daher fällt der Unterschied zwischen den Balken allgemein (rot) und mit Niederschlag (blau) im ODL-Bereich um 115–125 nSv/h gering aus.

Diese relative Häufigkeit von Werten bei gleichzeitigem Niederschlag oder kurz danach ist in Figur 6 gut als lokales Maximum von über 50 % bei ca. 122 nSv/h zu erkennen. In dieser linearen Darstellung ist auch sichtbar, dass ODL-Werte oberhalb von 157 nSv/h zu mindestens 90 % während oder kurz nach Niederschlag gemessen wurden, ab 163 nSv/h zu 100 %.

Eine Detailbetrachtung der einzelnen Messwerte um 160 nSv/h ohne Bezug zu Niederschlag ergibt, dass einige dieser Werte jeweils innert 60 Minuten nach Niederschlag aufgezeichnet wurden. Dass es in einzelnen Fällen etwas länger als 50 Minuten dauerte, bis nach Niederschlag die ODL-Werte wieder in den typischen Bereich zurückfielen, ist nicht aussergewöhnlich.

Die Mehrheit der Werte um 160 nSv/h ohne Niederschlag wurde am 24.12.2025 aufgezeichnet. An diesem Tag herrschte auf dem Chasseral trübes Wetter. Der durch

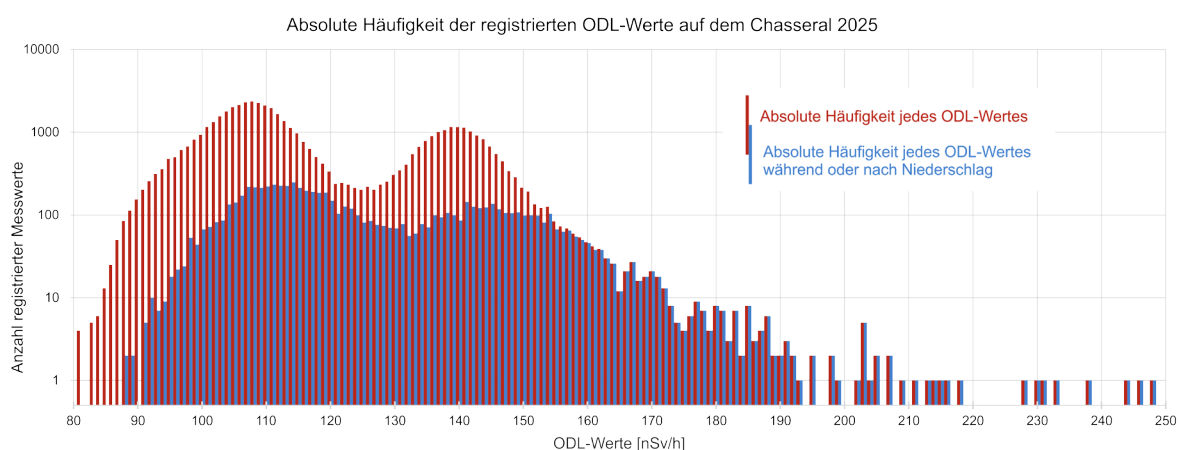
MeteoSchweiz aufgezeichnete Tagesmittelwert der Globalstrahlung betrug 8.0 W/m², verglichen mit 50 W/m² am Vortag und 79 W/m² am Folgetag. Die Sonnenscheindauer wurde mit 0 («null») registriert. Die Luftfeuchtigkeit betrug im Tagesmittel 94.8 %, die Lufttemperatur –8.1°C, und wenig Schneefall (< 1 cm) wurde gemessen.

In dieser nass-kalten Atmosphäre dürfte eine okkulte Deposition natürlicherweise radioaktiver Staubpartikel zu der leichten Erhöhung auf max. 162 nSv/h geführt haben, auch ohne Auswaschung durch ausgeprägten Niederschlag.

Kennzahlen und Eckwerte zu den Messungen im NADAM-Netz im Jahr 2025

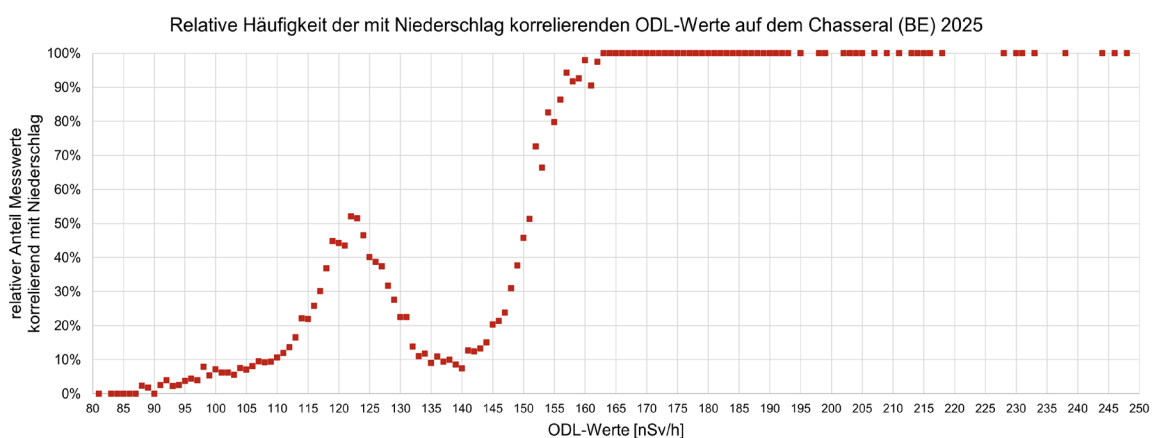
Für alle NADAM-Stationen sind für das Jahr 2025 die ODL-Jahresmittelwerte, die häufigsten Werte, Minima und Maxima der ODL-10 min-Mittelwerte in Tabelle 1 zusammengestellt. Verglichen mit anderen Jahren gibt es keine Auffälligkeiten. Die höchsten ODL-Jahresmittelwerte wurden, den langjährigen Erfahrungen entsprechend, auf den Stationen Vicosoprano (GR) und Jungfrauojoch (VS) festgestellt.

Der Niederschlagseffekt, also der Umstand, dass bei einsetzendem Niederschlag eine höhere ODL auftritt, war im Jahr 2025 am stärksten ausgeprägt an den Standorten St. Gallen (SG; niederschlagsbedingter Maximalwert 125 % über dem Jahresmittelwert), Leibstadt (AG; 128 %) und Neuchâtel (NE; 141 %).



Figur 5:

Verteilung der 10 min-ODL-Werte am Standort Chasseral (BE) im Jahr 2025, logarithmisch skaliert. Rot: Alle Messwerte, blau: Messwerte, die zeitnah mit erfolgtem Niederschlag registriert wurden.



Figur 6:

Anteil der 10 min-ODL-Werte für die Station Chasseral (BE) im Jahr 2025, welche innerhalb von 10 min vor oder 50 min nach Niederschlag gemessen wurden. Für Werte oberhalb von 163 nSv/h liegt dieser Anteil bei 100 %.

Diese ODL-Spikes aufgrund von einsetzendem Niederschlag waren 2025 weniger ausgeprägt als in den Jahren 2024 oder 2022 mit sehr trockenen Sommern, aber vergleichbar mit dem Jahr 2023. Die Höchstwerte sind auch in Figur 2 dargestellt, als Obergrenze der eingetragenen Messwertbereiche.

Aufgrund der Standortänderung gab es 2025 am Chasseral auch ohne lange anhaltende Schneedecke eine Diskrepanz zwischen dem Jahresmittelwert von 118 nSv/h und dem häufigsten gemessenen Wert 108 nSv/h. Mittelwerte, die am Deutlichsten unter den häufigsten Messwerten lagen, wurden 2025 an den schneereichen Standorten Gütsch ob Andermatt (UR; Jahresmittelwert 14.8 % unter dem häufigsten Wert), Ulrichen (VS; 10.1 % tiefer) und in Col du Grand St.-Bernard (VS; 8.7 % tiefer) gemessen.

Auf dem Chasseral (BE) lag der häufigste gemessene Wert mit 8.5 % am deutlichsten unter dem Jahresmittelwert, bedingt durch den Standortwechsel.

Erkenntnisse

Im Jahr 2025 wurden keine Werte gemessen, die auf eine erhöhte Strahlenbelastung der Bevölkerung schliessen lassen. Die NADAM-Sonden sind stabil und zuverlässig, und es wurden nur sehr wenige technische Störungen bei der Messung oder der Datenübertragung registriert.

Im Vergleich mit anderen Jahren gab es bezüglich Ortsdosisleistung in der Schweiz im Jahr 2025 keine grossen Auffälligkeiten.

Tabelle 1: Teil 1

Jahresmittelwerte, die häufigsten Werte, Minima und Maxima der ODL-10 min-Mittelwerte für alle NADAM-Stationen im Jahr 2025

Station (Kürzel)	Kanton	Inbetriebnahme	Sondenwechsel NADAM 2020	Höhe [m.ü.M]	Jahres- mittelwert [nSv/h]	Häufigster Wert [nSv/h]	Minimum [nSv/h]	Maximum [nSv/h]
Adelboden (ABO)	BE	04.11.09	25.07.22	1'322	102.3	101	73	178
Aigle (AIG)	VD	09.09.09	07.10.21	382	123.3	121	99	188
Altdorf (ALT)	UR	28.10.09	11.10.21	439	127.5	126	101	213
Basel-Binningen (BAS)	BS	19.11.09	14.10.21	317	107.3	105	83	233
Bern-Zollikofen (BER)	BE	30.09.09	08.06.21	554	101.3	100	74	193
Beznau (BEZ)	AG	19.11.09	25.08.21	327	98.1	97	80	182
Bière (BIE)	VD	12.01.17	15.04.21	684	98.7	98	77	165
Buchs/Aarau (BUS)	AG	20.11.09	14.06.21	388	93.5	92	68	172
La Chaux-de-Fonds (CDF)	NE	17.09.09	13.09.21	1'018	116.1	116	75	206
Nyon-Changins (CGI)	VD	23.09.09	29.09.21	459	112.2	109	88	205
Chasseral (CHA)	BE	17.09.09	05.07.22	1'594	118.0	108	81	248
Chur (CHU)	GR	09.10.09	12.10.21	557	105.5	105	84	178
Cham (CHZ)	ZG	29.01.18	10.06.21	442	104.3	103	82	185
Cressier (CRM)	NE	03.11.16	01.10.20	431	85.9	84	67	160
Davos (DAV)	GR	08.10.09	02.06.21	1'589	138.6	144	95	220
Delémont (DEM)	JU	03.11.16	27.10.21	439	108.7	107	77	205
Disentis/Sedrun (DIS)	GR	28.10.09	21.09.21	1'197	111.5	106	80	211
La Dôle (DOL)	VD	23.09.09	16.08.22	1'670	110.4	112	71	213
Egolfwil (EGO)	LU	22.09.10	16.08.21	523	93.6	93	50	181
Engelberg (ENG)	OW	30.10.09	01.09.21	1'035	90.5	90	64	198
Fahy/Boncourt (FAH)	JU	14.10.09	31.05.21	597	114.3	113	90	194
Bullet/La Frêtaz (FRE)	VD	24.09.09	29.09.20	1'206	109.8	109	79	179
Glarus (GLA)	GL	02.12.09	28.06.21	518	93.3	92	68	165
Gösgen (GOE)	SO	20.11.09	22.06.21	381	97.1	96	76	182
Fribourg / Grangeneuve (GRA)	FR	13.01.17	18.05.21	646	100.4	99	59	165
Grenchen (GRE)	SO	06.12.10	30.03.21	431	95.2	94	73	206
Col du Gd-St-Bernard (GSB)	VS	09.09.09	30.09.20	2'491	125.0	137	91	187
Gütsch ob Andermatt (GUE)	UR	01.09.05	10.08.21	2'296	149.2	175	90	254
Güttingen (GUT)	TG	03.12.09	28.10.21	441	102.3	101	83	229
Genève (GVE)	GE	24.09.09	27.10.20	412	102.9	101	84	169
Hallau (HLL)	SH	29.01.18	02.06.21	419	119.3	116	95	233
Hörnli (HOE)	ZH	12.11.09	08.09.21	1'133	91.1	90	68	181
Jungfrauoch (JUN)	VS	29.09.09	07.09.21	3'581	173.3	173	144	314
Kloten/Zürich (KLO)	ZH	24.11.09	11.11.21	427	99.6	98	81	211
Koppigen (KOP)	BE	13.01.17	27.10.21	484	107.8	105	86	218
Leibstadt (LEI)	AG	19.11.09	22.09.21	342	94.1	92	74	215
Lugano (LUG)	TI	21.10.09	15.12.21	273	115.0	113	84	251
Luzern (LUZ)	LU	05.11.09	29.06.21	455	100.6	99	73	208
Magadino-Cadenazzo (MAG)	TI	22.10.09	27.10.21	204	131.4	127	105	271
Meiringen (MER)	BE	06.10.11	12.10.21	590	137.9	136	93	254
Le Moléson (MLS)	FR	19.08.09	12.05.21	1'975	102.5	106	70	162

Tabelle 1: Teil 2

Jahresmittelwerte, die häufigsten Werte, Minima und Maxima der ODL-10 min-Mittelwerte für alle NADAM-Stationen im Jahr 2025

Station (Kürzel)	Kanton	Inbetriebnahme	Sondenwechsel NADAM 2020	Höhe [m.ü.M]	Jahres- mittelwert [nSv/h]	Häufigster Wert [nSv/h]	Minimum [nSv/h]	Maximum [nSv/h]
Mosen (MOA)	LU	19.01.18	13.08.21	452	95.9	94	76	209
Möhlín (MOE)	AG	09.09.10	09.06.21	341	109.4	108	91	185
Mühleberg (MUB)	BE	15.10.09	08.06.21	481	105.0	104	72	184
Napf (NAP)	BE	05.11.09	10.06.21	1'405	96.4	98	68	194
Neuchâtel (NEU)	NE	10.12.09	21.09.21	485	90.4	89	72	218
Oron (ORO)	VD	29.02.12	04.06.21	828	103.2	102	81	179
Locarno-Monti (OTL)	TI	22.10.09	22.11.21	368	148.2	147	116	248
Payerne (PAY)	VD	13.08.09	28.09.20	490	102.2	101	82	177
Piotta (PIO)	TI	29.10.09	16.06.22	990	129.2	133	77	278
Plaffeien (PLF)	FR	14.08.09	13.07.22	1'043	100.8	100	75	202
Paul Scherrer Institut (PSI)	AG	27.07.11	23.06.21	335	91.8	90	57	168
Pully (PUY)	VD	23.09.09	22.10.21	456	112.6	111	92	222
Zürich-Affoltern (REH)	ZH	13.11.09	26.04.21	444	98.3	97	79	192
Poschiavo-Robbia (ROB)	GR	07.10.09	11.11.21	1'079	152.4	145	114	322
Rünenberg (RUE)	BL	20.11.09	07.10.21	612	95.0	94	74	183
Säntis (SAE)	AI	11.11.09	20.10.21	2'503	110.3	109	79	175
Samedan (SAM)	GR	25.08.09	24.06.21	1'710	141.5	149	89	243
San Bernardino (SBE)	GR	29.10.09	06.07.21	1'640	137.2	150	74	274
Stabio (SBO)	TI	21.10.09	25.08.22	352	130.0	127	92	266
Scuol (SCU)	GR	27.08.09	10.06.21	1'305	114.7	115	80	231
Schaffhausen (SHA)	SH	04.12.09	26.08.21	439	96.9	96	70	181
Sion (SIO)	VS	10.09.09	10.11.21	482	119.0	118	90	222
Zürich-Fluntern (SMA)	ZH	24.11.09	04.11.21	557	103.7	102	86	218
Santa Maria (SMM)	GR	15.12.11	01.07.21	1'385	141.6	143	89	281
St. Gallen (STG)	SG	12.11.09	07.09.21	777	100.0	99	75	225
Aadorf/Tänikon (TAE)	TG	03.12.09	08.03.22	539	96.8	95	79	193
Thun (THU)	BE	29.01.18	15.10.21	570	83.4	81	61	185
Ulrichen (ULR)	VS	04.11.09	18.08.21	1'347	151.1	168	76	285
Vaduz (VAD)	FL	03.12.09	30.09.21	458	106.2	104	85	210
Vicosoprano (VIO)	GR	06.02.13	23.09.21	1'089	189.1	194	115	331
Visp (VIS)	VS	11.09.09	20.09.21	640	128.3	128	77	239
Villars-Tiercelin (VIT)	VD	29.01.18	26.08.22	859	113.8	112	91	186
Wädenswil (WAE)	ZH	02.12.09	11.05.22	487	104.7	102	83	204
Wynau (WYN)	BE	15.10.09	02.06.21	423	97.9	96	79	187
Zermatt (ZER)	VS	11.09.09	11.07.22	1'640	123.0	131	77	190

3.3 Aeroradiometrische Messungen

B. Bucher¹, A. Stabilini², L. Rybach³, C. Poretti⁴, S. Maillard⁵

¹Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Industriestrasse 19, 5201 Brugg

² Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Paul Scherrer Institut, Forschungsstrasse 111, 5232 Villigen PSI

³ Institut für Geophysik, ETH Zürich, 8092 Zürich

⁴ Nationale Alarmzentrale und Ereignisbewältigung NEOC, Guisanplatz 1B, 3003 Bern

⁵ Kompetenzzentrum ABC-KAMIR, 3700 Spiez

Zusammenfassung

Bei den Messflügen im Mai/Juni 2025 wurden turnusgemäss die Umgebungen der Kernkraftwerke Gösgen (KKG) und Mühleberg (KKM) abgedeckt. Die Ergebnisse lagen im Bereich der Messungen aus früheren Jahren. Ausserhalb der Werksareale konnten keine Messwerte detektiert werden, die auf den Betrieb der Anlagen zurückgeführt werden konnten. Vom 2. bis 6. Juni fand zudem die internationale Messübung AGC25 mit Teilnehmern aus Deutschland, Frankreich, Tschechien, Litauen und der Schweiz in der Schweiz statt. Detaillierte Ergebnisse der Messungen und der internationalen Messübung AGC25 finden sich im PSI-Bericht unter <https://dora.lib4ri.ch/psi>.

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 KKW-Störfälle, Transport- und Industrieunfälle mit radioaktivem Material, 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 zivil unter der Regie der Nationalen Alarmzentrale (NAZ) und militärisch unter der Regie des Kompetenzzentrums ABC-KAMIR der Armee. Zum Training der Teams, bestehend aus Operatoren (Messspezialisten an Bord), Piloten und Bodenpersonal, werden jährlich von der NAZ und dem Kompetenzzentrum ABC-KAMIR der Armee Übungsmessflüge durchgeführt.

Im Jahr 2010 (Bucher & Rybach, 2010) wurde mithilfe der Auswertung der Langzeitdaten die Nachweisgrenze der Messmethode ermittelt: Erhöhungen von 0,02 $\mu\text{Sv/h}$ werden in 95 von 100 Fällen erkannt (Vertrauensbereich 95%). Seit 2018 werden die Messungen mit einem Messsystem der Firma Mirion durchgeführt, welches durch die Rüstungsunternehmen-Aktiengesellschaft (RUAG) in den Super-Puma-Helikopter der Schweizer Luftwaffe integriert wurde. Insgesamt stehen vier Messsysteme für die Aufgaben der NAZ sowie des Kompetenzzentrums ABC-KAMIR der Armee zur Verfügung. Wartung und Unterhalt erfolgen durch die Lieferanten.

Im Rahmen einer 2024 am PSI abgeschlossenen Doktorarbeit (Breitenmoser, 2024) wurden die Grundlagen für die rechnerische Monte Carlo Kalibrierung der Schweizer Aeroradiometriesysteme geschaffen. Zudem wurde eine auf dieser Kalibrierung basierende Methodik für die Auswertung der gemessenen Spektren entwickelt. Damit sollen in der Zukunft quantitative Aussagen zu allen möglichen Radionukliden und Quellgeometrien in einer bekannten Konfiguration ermöglicht werden. Die entsprechenden Arbeiten werden am PSI weitergeführt.

Messungen und Messresultate 2025

Während der Messübung unter der Leitung der NAZ wurden turnusgemäss die Umgebungen des KKG (27. Mai 2025) und des KKM (28. Mai 2025) aeroradiometrisch gemessen. Vom 2. bis 6. Juni fand zudem die internationale Messübung AGC25 mit Teilnehmern aus Deutschland, Frankreich, Tschechien, Litauen und der Schweiz statt. Die detaillierten Ergebnisse sämtlicher Messungen sind im PSI-Bericht publiziert <https://dora.lib4ri.ch/psi>.

Die Messresultate im Messgebiet des KKG, das sich zum Zeitpunkt der Messungen im Stillstand befand, zeigten ein ähnliches Bild wie in den vorangegangenen Messkampagnen. Im Bereich des KKG sind keine besonderen Werte bei der Ortsdosisleistung (Figur 1) zu erkennen.

Die Messresultate im Messgebiet KKM, das sich im Rückbau befindet, zeigten ebenfalls ein ähnliches Bild wie in den vorangegangenen Messkampagnen. Im Bereich des KKM sind sowohl bei der Ortsdosisleistung (Figur 2) wie auch beim Man Made Gross Count (MMGC-Verhältnis) (Figur 3) erhöhte Werte zu erkennen. Das MMGC-Verhältnis steht für den Quotienten der Zählraten im Energiebereich von 400 – 1400 Kiloelektronenvolt [keV] und 1400 – 3000 keV. Da die meisten anthropogenen Radionuklide, wie Spaltprodukte oder Aktivierungsprodukte, Gammalinien im Energiebereich unterhalb von 1400 keV aufweisen, stellt das MMGC-Verhältnis ein empfindliches Instrument zur Lokalisierung künstlicher Radionuklide dar. Die erhöhten Werte im Bereich des KKM sind auf radioaktive Abfälle aus dem Rückbau zurückzuführen, die auf dem Werksareal zwischengelagert werden. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Komponenten mit dem Aktivierungsprodukt ^{60}Co . Die entsprechenden Gammalinien von ^{60}Co konnten in den gemessenen Spektren deutlich erkannt werden (Figur 4). Die in der Karte rot markierte Fläche erscheint grösser als das Kraftwerksareal. Dies liegt an der begrenzten örtlichen Auflösung der Messdaten und dem Umstand, dass der Detektor nicht nur auf senkrecht eintreffende Strahlung empfindlich ist, sondern Strahlung aus einem kegelförmigen Volumen zu den Messwerten beiträgt.

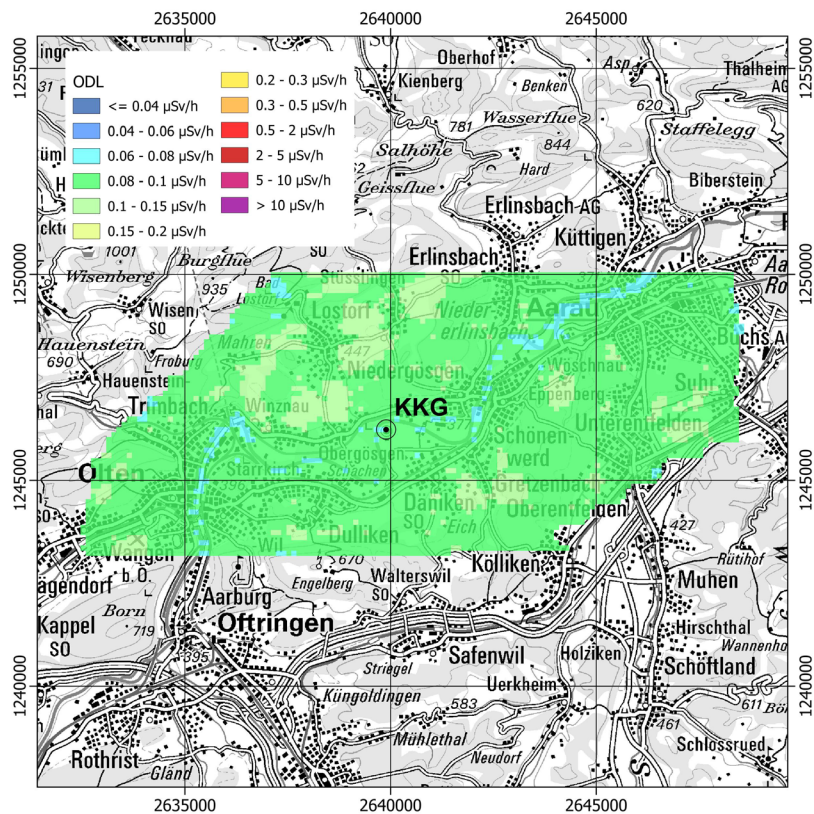
Erhöhte Werte ausserhalb des Areals von KKM waren nicht erkennbar. Weitere Unterschiede in

der Ortsdosisleistung sind auf Einflüsse der Topografie, wie Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen.

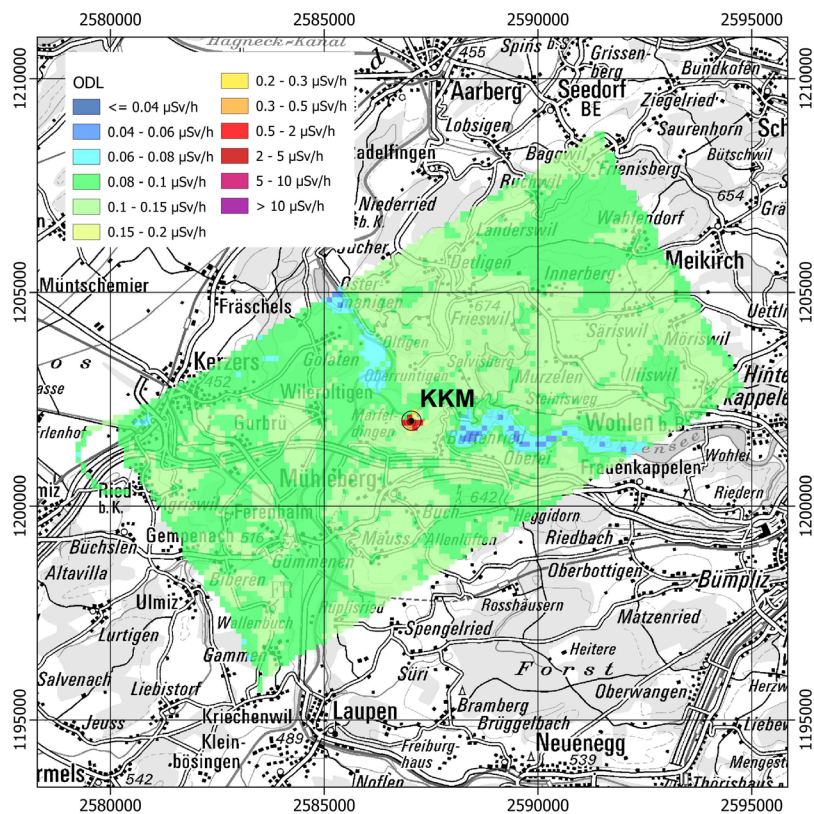
Im Rahmen der internationalen Messübung AGC25 wurde neben anderen Übungsaufgaben ein grösseres zusammenhängendes Gebiet im Mittelland innerhalb eines halben Tages durch die verschiedenen Messteams aus Deutschland, Frankreich, Litauen, Tschechien und der Schweiz gemessen. Die Flugrouten (Figur 5) wurden so geplant, dass alle Messteams zur gleichen Zeit die Messungen durchführen konnten. In der Figur 6 ist die Karte der Ortsdosisleistung dargestellt. Die Ergebnisse sind im Rahmen der Unsicherheiten sehr gut vergleichbar. Den grössten Beitrag zu den Unterschieden zwischen den verschiedenen Messteams liefert die unterschiedliche Berücksichtigung des kosmischen Dosisleistungsbeitrags.

Literatur

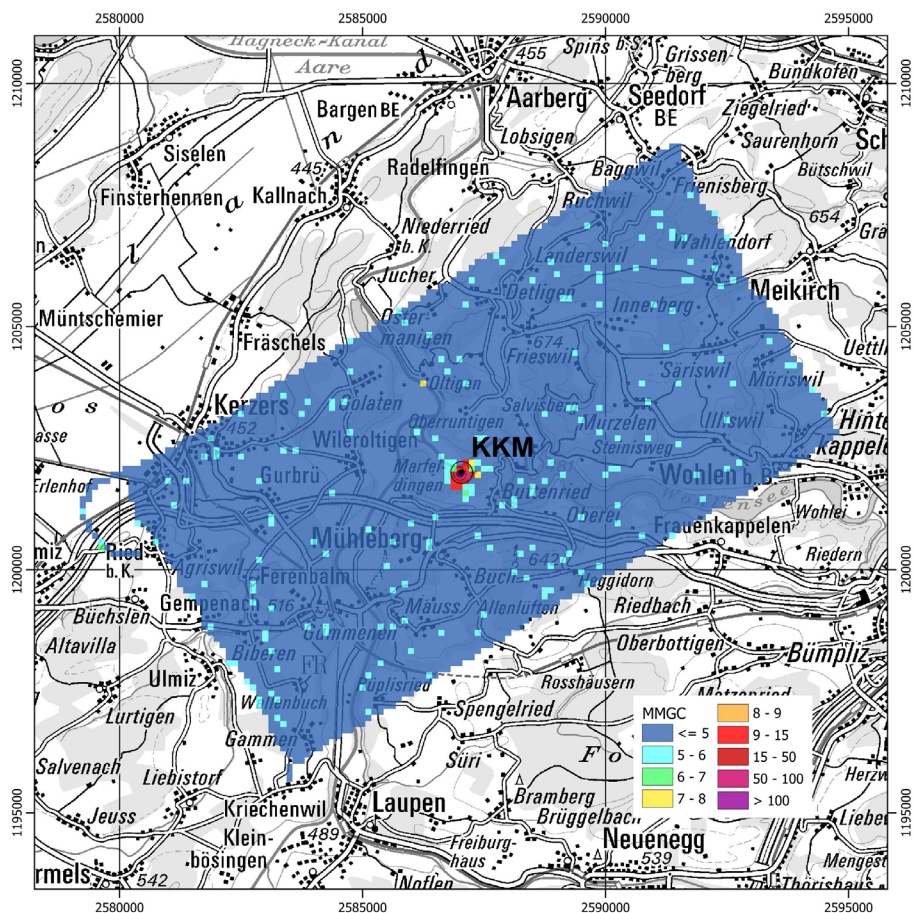
- [1] Schwarz, G. F., 1991: Methodische Entwicklungen zur Aerogammaspektrometrie. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geophysik Nr.23, Schweizerische Geophysikalische Kommission.
- [2] Breitenmoser, D., 2024: Towards Monte Carlo Based Full Spectrum Modelling of Airborne Gamma-Ray Spectrometry Systems. Doctoral Thesis. ETH Zurich. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000694094>.
- [3] Bucher, B., Rybach, L., 2010: Flächendeckende Langzeitanalyse der Strahlung in der Umgebung der Schweizer Kernanlagen mit Hilfe der Aeroradiometrie, in: Natürliche und künstliche Radionuklide in unserer Umwelt, 42. Jahrestagung des Fachverbands für Strahlenschutz e.V., FS-2010-153-T, ISSN 1013-4506, TÜV Media GmbH, Köln.
- [4] Stabilini, A., Varga, L., Geser, F., Poretti, C., Hauenstein, F., Maillard, S., ... Mayer, S. (2026). Aeroradiometric measurements in the framework of the Swiss ARM25 and International AGC25 Exercises. PSI Bericht, Report No.: 26-02. Paul Scherrer Institut PSI. <https://doi.org/10.55402/psi:84944>



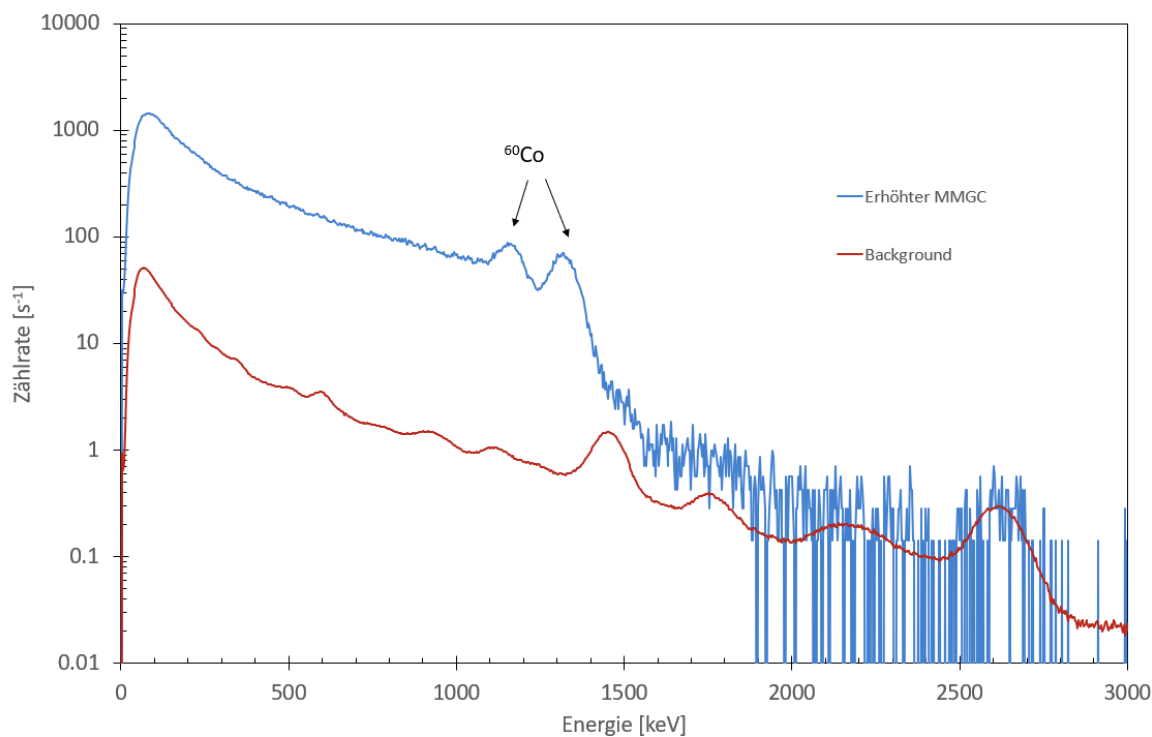
Figur 1:
Ortsdosisleistung 2025 im Messgebiet KKG. Kartendaten PK200 © swisstopo.



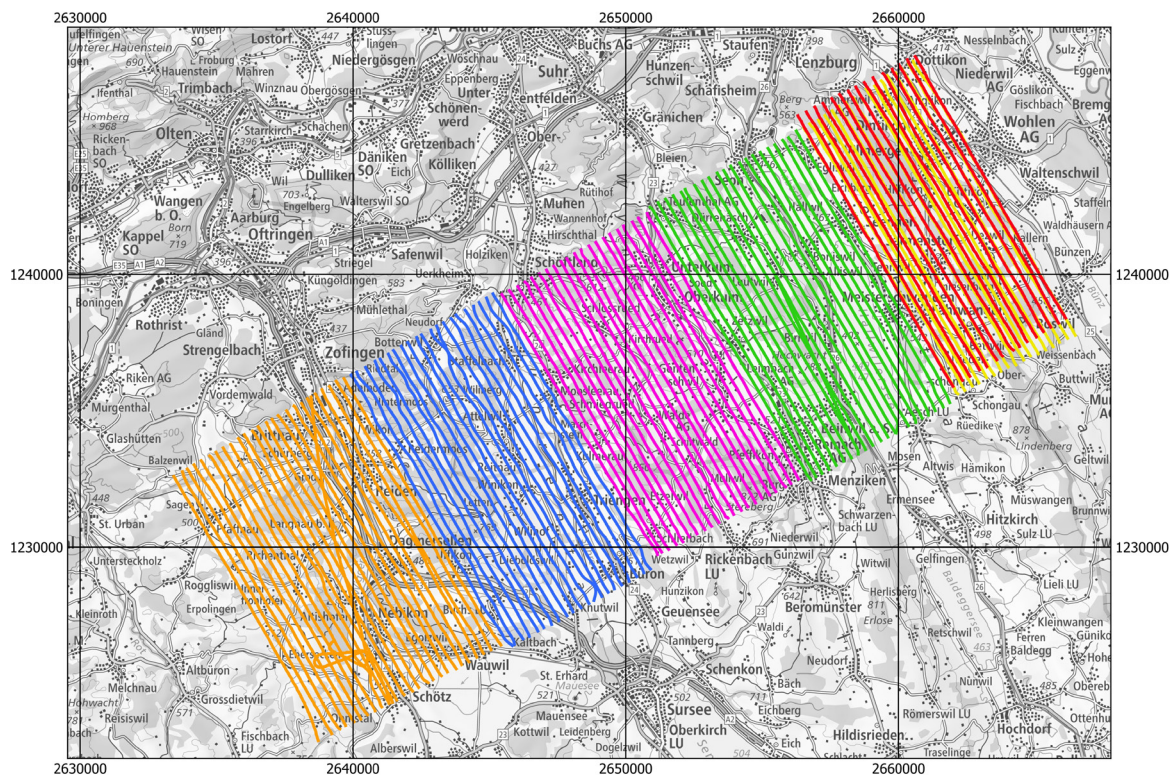
Figur 2:
MMGC-Verhältnis im Jahr 2025 im Messgebiet KKM. Kartendaten PK200 © swisstopo.



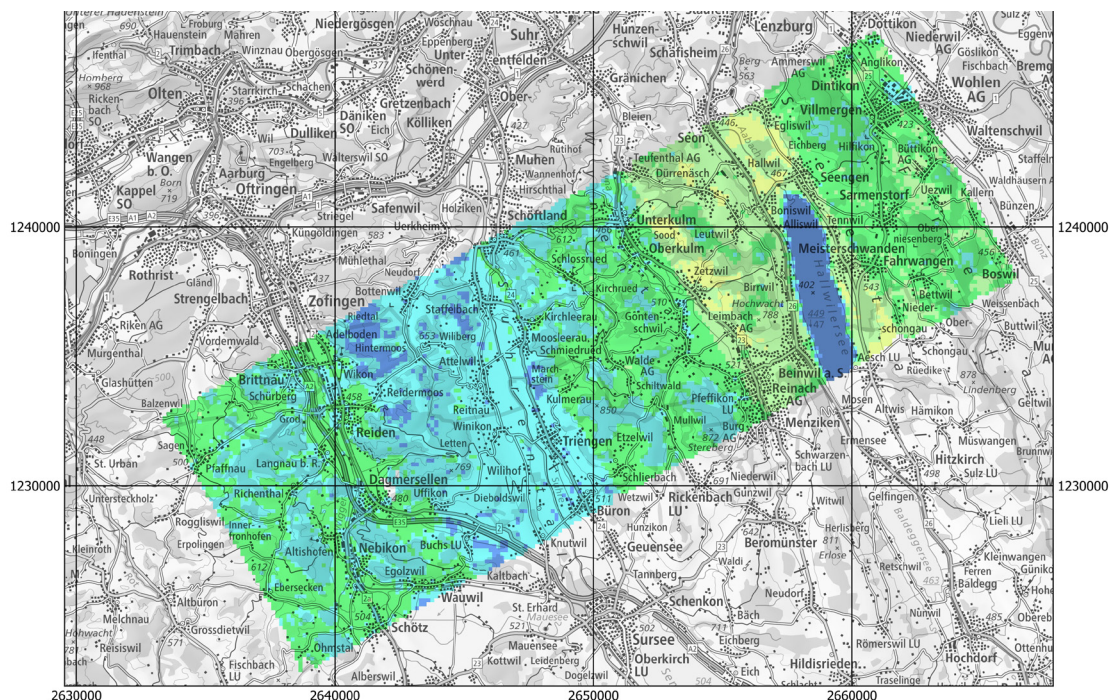
Figur 3:
MMGC-Verhältnis 2025 im Messgebiet KKM. Kartendaten PK200 © swisstopo.



Figur 4 :
Gemittelte Spektren im Bereich der erhöhten MMGC-Werte beim KKM und in der weiteren Umgebung (Background).



Figur 5 :
Fluglinien der verschiedenen Messteams bei der gemeinsamen Kartierung eines grösseren Gebietes im Schweizer Mittelland. Kartendaten PK200 © swisstopo.



Figur 6 :
Ortsdosisleistung aus der gemeinsamen Kartierung eines grösseren Gebietes im Schweizer Mittelland. Kartendaten PK200 © swisstopo.

4. Environnement Umwelt

4.1 Radioaktivität in der Atmosphäre (Aerosol und Niederschlag)

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

Zusammenfassung

Die Radioaktivität in der Luft und im Niederschlag wies 2025 keine erhöhten Werte auf, welche die Gesundheit der Bevölkerung gefährdet hätten. In der Atmosphäre dominiert die natürliche Radioaktivität. Dank der hohen Empfindlichkeit der verwendeten Messmethoden konnten aber auch kleinste Spuren künstlicher Radionuklide auf den Aerosolpartikeln nachgewiesen werden. Im Niederschlag wurden 2025 keine künstlichen Radionuklide festgestellt, mit Ausnahme von Tritium und sporadischen Spuren von ^{137}Cs . Im Tessin wurde - wie üblich - in den Wintermonaten etwas mehr ^{137}Cs in der Luft gemessen. In der unmittelbaren Umgebung von Industriebetrieben, die Tritium verarbeiten, erreichten die ^3H Konzentrationen im Regenwasser maximal 5.1 % des Immissionsgrenzwertes der StSV für öffentlich zugängliche Gewässer.

Luft

Probenahme und Messung

Für die Spurenmessung von Radioaktivität in der Luft sammelt das BAG Aerosolpartikel mit Hochvolumen-Luftfilter (High-Volume-Sampler, HVS) an 5 Standorten im Schweizer Mittelland, einem Standort in tiefer Höhenlage auf der Alpensüdseite und neu einer Station in der freien Troposphäre auf dem Jungfrauoch (siehe Tabelle 1 und www.radenviro.ch/radioaktivitaets-messstation-auf-dem-jungfrauoch). Die HVS-Geräte filtern fortlaufend zwischen 80'000 m³ und 150'000 m³ Aussenluft pro Woche. Die Stationsbetreuer und -betreuerinnen vor Ort wechseln die Filter im Routinebetrieb wöchentlich und senden sie zur Analyse ans BAG. Die Messung auf einem HPGe-Gammaspektrometer dauert 2 Tage. Die lange Messzeit ermöglicht das Erfassen kleinster Spuren von Radioaktivität. Die Messresultate werden zeitnah veröffentlicht, auf www.radenviro.ch, <http://www.bag.admin.ch/ura-hvs-de> und auch auf map.geo.admin.ch (Karte «Radioaktivität in der Atmosphäre» suchen). Ziel der HVS-Messungen ist nicht die schnelle Alarmierung (dafür gibt es URAnet, MADUK und NADAM) sondern der Nachweis von

Spuren künstlicher Radioaktivität, die von den anderen Messsystemen nicht detektiert werden können. Die Erfahrung, etwa im Jahr 2011 nach dem Reaktorunfall in Fukushima oder beim Ereignis mit ^{106}Ru im Herbst 2017, hat gezeigt, dass für eine glaubwürdige Information der Bevölkerung und als Grundlage für die Behörden eine präzise Messung der vorhandenen Radioaktivität unverzichtbar ist. Neben den HVS-Filtern betreibt das BAG Mittelvolumen-Filter (MV), welche ein 10- bis 20-mal geringeres Luftvolumen filtern und damit entsprechend höhere Nachweisgrenzen haben. Die MV-Sammler sind zur Überwachung der Kernkraftwerke bei Gösgen, Leibstadt, Mühleberg und PSI/Beznau stationiert, wobei der letztgenannte vom PSI betrieben und gemessen wird. Die Filter der MV-Sammler werden wöchentlich gewechselt und als Monatsprobe (4 - 5 Filter) gammaspektrometrisch gemessen. Im Jahr 2025 hat das BAG zudem tägliche PM-10 Filter ausgemessen, die vom Stadtlabor in Bern zur Verfügung gestellt wurden.

Tabelle 1:

HVS-Messstationen des BAG

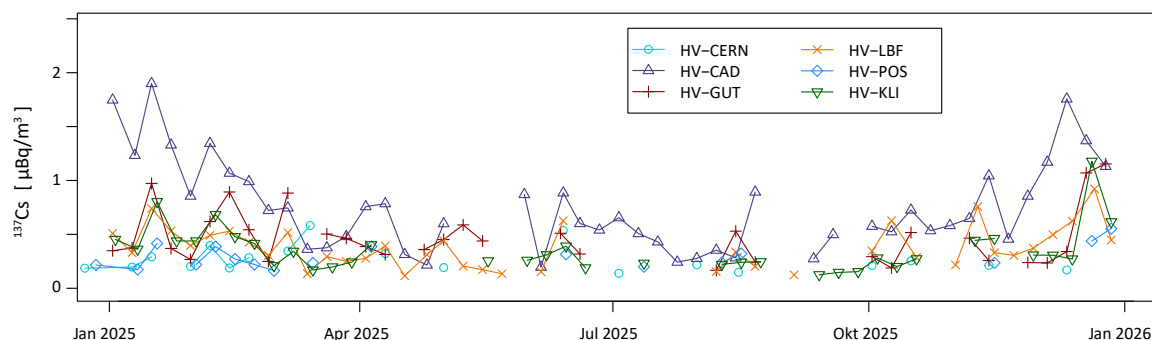
Station	H.ü.M.	Gemeinde / Ort	Umgebung	Bemerkung
CAD	203 m	Cadenazzo TI	Landwirtschaft	Referenzstation für die Alpensüdseite (Agroscope Forschungsstation)
CERN	428 m	Meyrin GE	Landwirtschaft, Stadtnähe, CERN	zur Erfassung eventueller Abgaben aus den CERN Beschleunigern
GUT	440 m	Güttingen TG	Landwirtschaft, 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)
JUN	3500 m	Jungfrauoch	Hochgebirge	Station in der freien Troposphäre Inbetriebnahme Oktober 2025

Künstliche Radioisotope in der Luft

Das einzige regelmässig in den Spurenmessungen nachgewiesene künstliche Radioisotop in der Luft war wie in den Vorjahren Cäsium-137 (^{137}Cs). Fast zwei Drittel der gemessenen Hochvolumenfiltern zeigten einen kleinen ^{137}Cs -Peak. ^{137}Cs hat eine Halbwertszeit von 30 Jahren und stammt zur Hauptsache immer noch vom Reaktorunfall in Tschernobyl im Jahr 1986. Die gemessenen Konzentrationen sind insgesamt sehr gering (fast immer kleiner als $1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$). Etwas höhere Werte wurden 2025 wie jedes Jahr in den Wintermonaten bei der Station Cadenazzo gemessen (siehe Figur 1). Zu den erhöhten ^{137}Cs Konzentrationen im Winterhalbjahr tragen das Aufwirbeln von Bodenpartikel in der vegetationsarmen Zeit sowie das Verbrennen von leicht mit ^{137}Cs kontaminiertem Holz zum Heizen bei. Die stärkere Kontamination der Böden und des Holzes im Kanton Tessin nach dem Unfall von Tschernobyl erklärt die höheren Werte der Station Cadenazzo. Die gemessenen Werte für ^{137}Cs sind alle mehr als eine Million Mal tiefer als der Immissionsgrenzwert von $8.5 \text{ Bq}/\text{m}^3$.

Das radioaktive Natrium-24 (^{24}Na) mit einer Halbwertszeit von 15 Stunden kann sowohl natürliche als auch künstliche Quellen haben. Natürliches ^{24}Na wird in der oberen Atmosphäre durch die kosmische Strahlung erzeugt. Künstliches ^{24}Na kann in Beschleunigern erzeugt werden, wie sie am CERN in Genf oder am PSI in Villigen im Einsatz stehen. Bei den Stationen HVS Klingnau (in rund 6 km Entfernung vom PSI) und HVS CERN konnten im Berichtsjahr je 6 Mal Spuren von ^{24}Na nachgewiesen werden (zwischen 26 und $177 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$). Aufgrund der kurzen Halbwertszeit von ^{24}Na kann die Nachweisgrenze variieren und betrug 2025 bei 8 % der Messungen mehr als $1'000 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Die gemessenen ^{24}Na Werte und die Nachweisgrenzen insgesamt liegen aber stets um Grössenordnungen unterhalb des Immissionsgrenzwertes von $100 \text{ Bq}/\text{m}^3$.

Geringste Spuren von Jod-131 (^{131}I) tauchten 2025 in 10 HVS Filtern der Station beim CERN auf (Maximum $5.8 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$). Ursache ist an diesem Standort jeweils



Figur 1:

^{137}Cs Konzentrationen in der Luft für das Jahr 2025.

das Auswechseln von bestrahlten Targets bei der Installation ISOLDE am CERN. Bei diesen Arbeiten können kleinste Mengen von Radioisotopen (wie z.B. ^{131}I) in die Umwelt gelangen. Gesundheitlich sind diese Konzentrationen, eine Million Mal tiefer als der Immissionsgrenzwert, nicht relevant.

Plutonium-Isotope wurden 2025 an zwei Halbjahressammelproben von HVS-Filtern der Station Liebefeld bestimmt: Eine Probe mit Filtern vom Winter (Okt. 2024 - März 2025) und eine Probe mit Filtern vom Sommer (April - Sept. 2025). Die Summe der Plutoniumisotope $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ergab $0.4 \pm 20\%$ nano-Becquerel pro m^3 Luft (nBq/m^3) im Winter und $1.5 \pm 10\%$ nBq/m^3 im Sommer. Zusätzliche Jahresproben von den Stationen CERN, Klingnau und Posieux ergaben für Oktober 2024 bis September 2025 zwischen 1.0 und 1.4 nBq/m^3 für die Summe $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$. Die gemessenen Konzentrationen der künstlichen Alphastrahler sind sehr tief und liegen wie beim ^{137}Cs eine Million Mal unter dem Immissionsgrenzwert.

In den MV-Filtern (Bern-Morgartenstrasse, Kernkraftwerk Beznau und PSI) konnten keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen werden. Resultate der MV-Filter in der Umgebung der Kernkraftwerke werden im Kapitel 8.5 näher besprochen. Die Messungen der vom Stadtlabor Bern zur Verfügung gestellten PM10 Filter wurde im Oktober aus Kapazitätsgründen eingestellt (zusätzliche Proben Jungfrauoch).

Natürliche Radioisotope in der Luft

Die 2025 auf den HVS Filtern gemessenen Radioisotope waren fast ausschliesslich natürlicher Herkunft. Vorherrschend waren das Radonfolgeprodukt Blei-210 (^{210}Pb ; Halbwertszeit 21 Jahre) und das durch die kosmische Strahlung in der Stratosphäre und in der oberen Troposphäre gebildete Beryllium-7 (^7Be ; Halbwertszeit 53 Tage).

Neunzig Prozent der 2025 bei den Stationen im Tiefland (ohne Jungfrauoch) gemessenen ^{210}Pb -Konzentrationen lagen zwischen 0.23 und 1.23 mBq/m^3 . Dies ist ein ähnlicher Bereich, wie bei der hier als Referenz verwendeten Periode 2013 - 2018 (Tabelle 2). Auffallend ist (wie in den Vorjahren) dass die Werte der Station Cadenazzo deutlich höher sind als die Werte der Stationen nördlich der Alpen: im Durchschnitt 0.86 mBq/m^3 für Cadenazzo gegenüber 0.60 mBq/m^3 für die 5 Stationen im Mittelland.

Der 5 %-Perzentil und der 95 %-Perzentil betrugen für die ^7Be Aktivitätskonzentrationen in der Luft 1.3 und 5.2 mBq/m^3 , das heisst, 90 % aller gemessenen

Konzentrationen lagen zwischen diesen beiden Werten. Der Mittelwert (2.9 mBq/m^3) und der Median (2.7 mBq/m^3) waren wie letztes Jahr tiefer als der langjährige Mittelwert (Tabelle 2), typisch für ein Jahr mit schwacher kosmischer Strahlung. Ursache für die schwache kosmische Strahlung ist die Abschirmung durch das aufgrund einer erhöhten Sonnenaktivität verstärkte Magnetfeld der Sonne. Die Sonnenaktivität war 2025 in der Mitte des Sonnenzyklus 25 besonders stark.

Die Figur 2 zeigt für jeden Monat die Verteilung der ^7Be Konzentrationen aller Stationen (ohne Jungfrauoch) im Vergleich mit dem langjährigen Jahresverlauf als Boxplot. Der Jahresverlauf der ^7Be Konzentrationen in der Luft 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 auf die ^7Be Konzentration sind Niederschlag (Auswaschen von ^7Be) und die kosmische Strahlung (Produktion von ^7Be). Die kosmische Strahlung (IGY Neutron Monitor Jungfrauoch, cosray.unibe.ch) war 2025 im Durchschnitt 13 % tiefer als 2020, dem Beginn des Sonnenzyklus 25. Die Werte für 2025 in Figur 2 sind wohl hauptsächlich aufgrund der starken Sonnenaktivität insgesamt tiefer als die Referenzwerte. Besonders stark nach unten weichen sie in den Monaten März, Juni und September ab. Die beiden letzteren waren besonders Niederschlagsreiche Monate (Klimabulletin 2025, MeteoSchweiz). Im März könnte der Neuschnees Schub (Klimabulletin) zur Entfernung von ^7Be aus der Atmosphäre beigetragen haben. Die höchsten ^7Be Konzentration sind im Juni aufgetreten. Das überdurchschnittlich warme Wetter in diesem Monat (Klimabulletin, MeteoSchweiz) führte zu stärkerer Konvektion, sprich Zufuhr von von ^7Be -reicherer Luft aus der oberen Troposphäre, und damit zu höheren ^7Be -Konzentration in der bodennahen Luft.

Neben ^7Be war in kleinsten Spuren von meist weniger als einem Mikrobecquerel pro Kubikmeter das ebenfalls kosmogene Natrium-22 (^{22}Na) nachweisbar.

Als weiteres natürliches Radioisotop findet sich in den HVS Filtern auch ^{40}K . Die Konzentrationen lagen 2025 meist im typischen Bereich von 5 bis $15 \text{ }\mu\text{Bq/m}^3$. Bei der stadtnahen Station Liebefeld tauchte der höchsten ^{40}K Wert ($34 \text{ }\mu\text{Bq/m}^3$) in der Woche mit Sylvester auf. Ursache dafür: die Feuerwerke; siehe dazu auch radenviro.ch/feuerwerk.

Statistik der 2025 in der Schweiz gemessenen ^{210}Pb und ^7Be Aktivitäten in bodennahe Luft (ohne Station Jungfraujoch) sowie der Referenz von 2013-2018. Aktivitätsangaben in mBq/m^3 .

	²¹⁰ Pb		⁷ Be	
	Referenz	2025	Referenz	2025
5 % - 95 %-Perzentil	0.18–1.18	0.23–1.23	1.48–6.40	1.27–5.32
Min - Max	0.07–2.76	0.12–1.85	0.15–8.74	0.77–6.16
Mittelwert / Median	0.57 / 0.49	0.60 / 0.51	3.66 / 3.50	2.92 / 2.69
Anzahl Messwerte	1'864	308	1'864	308

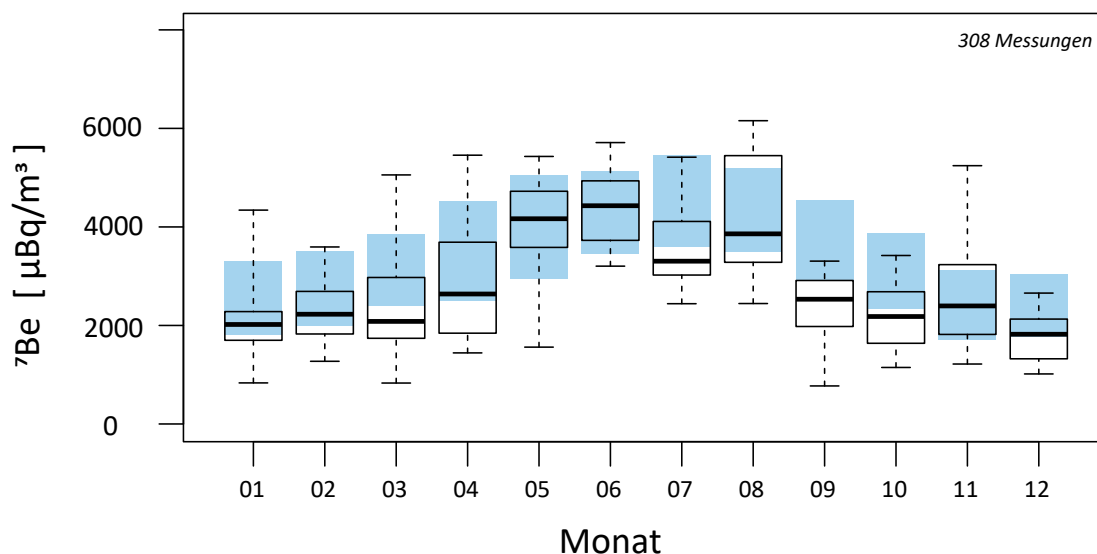
Niederschlag

Messungen von Gammastrahlern

Im Berichtsjahr 2025 wurde an folgenden Sammelstationen kontinuierlich Niederschlag gesammelt: Umgebung der Kernkraftwerke Mühleberg, Leibstadt, Gösgen und Beznau, Umgebung PSI/ZWILAG sowie Posieux FR, Güttingen TG, Cadenazzo TI, Cernier NE und Davos GR. Von diesen Stationen wird die jeweils monatlich gesammelte Probe gammaspektrometrisch untersucht. Für die natürlichen Radioisotope ^7Be und ^{210}Pb waren die Messresultate in der Grössenordnung ähnlich wie im Vorjahr (^7Be , 5 % bis 95 % Perzentil: 0.2–1.1 Bq/l, Mittelwert 0.5 Bq/l; ^{210}Pb : 0.02–0.15 Bq/l, Mittelwert 0.07 Bq/l). Rechnen wir die Radionuklid-Aktivität als Depositionsfluss pro Quadratmeter und Tag ($\text{Bq/m}^2/\text{d}$) so sind die Werte im üblichen Bereich: Für ^{210}Pb

zwischen 0.03 und 0.56 Bq/m²/d mit einem Mittelwert von 0.22 Bq/m²/d und für ⁷Be 0.2 – 6.2 Bq/m²/d mit einem Mittelwert von 1.8 Bq/m²/d.

Spuren von ^{137}Cs im Niederschlag waren 2025 nur in einer Probe messbar (Augustprobe beim Kernkraftwerk Gösgen mit einer Aktivitätskonzentrationen zwischen 0.0004 Bq/l). Ein gesundheitliches Risiko ist bei diesem sehr tiefen Wert nicht gegeben. Als Referenzpunkt kann hier der Immissionsgrenzwert aus der Strahlenschutzverordnung von 36 Bq/l ^{137}Cs in öffentlich zugänglichen Gewässern herangezogen werden, da bei starken Niederschlägen ein öffentlich zugängliches Gewässer im Wesentlichen durch Regenwasser gespeist sein könnte. Andere künstliche Gammaemitter konnten nicht nachgewiesen werden. Für eine weitere Diskussion dieser Resultate siehe auch Kapitel 8.5.



Figur 2 :

Boxplot der monatlichen ^aBe Konzentrationen bei allen HVS Stationen im Jahr 2025. 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 (siehe <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.03.012>)

Tritium-Messungen

Für die monatlichen Sammelproben von Niederschlag der Referenzstationen Posieux, Güttingen, Cadenazzo sowie bei den Stationen Basel-Binningen und La Chaux-de-Fonds lagen die Tritiumkonzentrationen nie über der Nachweisgrenze von 2 Bq/l. Das gleiche Bild zeichnen die Ergebnisse der Tritium-Messungen an Regenproben aus der Umgebung der Kernkraftwerke KKG, KKL und KKM : Kein Wert lag über der Nachweisgrenze von 2 Bq/l. Bei den Niederschlagssammelstationen PSI, KKB und Zwiilag ergaben sich 2025 wie gewohnt häufiger Werte über der Nachweisgrenze. Die höchsten Monatsmittel betrugen bei der Station KKB 48 Bq/l, bei der Station PSI 30 Bq/l und bei der Station ZWILAG 8 Bq/l. Die Jahresdurchschnitte der drei Stationen KKB, PSI und ZWILAG liegen bei 11, 9 beziehungsweise 3 Bq/l, ähnlich wie im Vorjahr. Alle gemessenen Konzentrationen liegen sehr deutlich unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte (siehe Kapitel 8.5). Höhere Tritiumwerte - aber auch hier unterhalb der

Grenzwerte - zeigten sich bei der Überwachung von Tritium-verarbeitenden Industrien. Nahe bei den betroffenen Standorten in Niederwangen BE, Root LU und Teufen AR enthielt das Regenwasser zwischen 5 und 1023 Bq/l Tritium (Minimum und Maximum) mit einem Mittelwert von 78 Bq/l. Die Höchstkonzentration entspricht rund 5.1 %, der Mittelwert 0.4 % des Immissionsgrenzwertes für öffentlich zugängliche Gewässer, der in der StSV festgehalten ist (20'000 Bq/l). Der Mittelwert ist der gleiche wie im Vorjahr. Die Tritium-Messungen im Regenwasser und zusätzlich in der Luftfeuchtigkeit in der Umgebung der Tritium-verarbeitenden Industrien werden ausführlich im Kapitel 9.3 besprochen.

4.2 URAnet aero

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

Zusammenfassung

Die 15 Aerosolmonitore und fünf ^{131}I Monitore des Messnetzes URAnet aero haben im Jahr 2025 keine erhöhte künstliche Radioaktivität in der Umgebungsluft festgestellt. In den Spektren konnten keine Peaks nachgewiesen werden, die eindeutig einem künstlichen Radionuklid zugeordnet werden können. Auch die Konzentration von gasförmigem ^{131}I blieb unterhalb der Nachweisgrenze von ca. 90 mBq/m³. Somit blieben alle Aktivitätskonzentrationen unter den in der StSV festgelegten Immissionsgrenzwerten.

Auf allen Stationen wurden die natürlich vorkommenden Radontöchter aus der Uran-Radium- und der Thorium-Zerfallskette täglich nachgewiesen, was die Funktionsfähigkeit der Aerosolmonitore bestätigt. Ein Vergleich der Tagesmittelwerte von ^{214}Pb aus der Uran-Radium-Zerfallskette und ^{212}Pb aus der Thorium-Zerfallskette mit den Messungen der Ortsdosisleistung zeigen einen Zusammenhang zwischen den Modulationen im Untergrund der Ortsdosisleistung und den Radontöchtern.

Einführung

Das im Jahr 2018 offiziell in Betrieb genommene Messnetz URAnet aero überwacht die Radioaktivität in der Umgebungsluft. Das Messnetz besteht aus 15 über die ganze Schweiz verteilten Messstationen, auf denen Aerosolmonitore kontinuierlich die Aktivitätskonzentrationen der auf Luftpartikeln gebundenen Radionuklide messen und die Messwerte per Mobilfunknetz übertragen. Fünf Messstandorte verfügen zusätzlich über einen ^{131}I Monitor, welche die ^{131}I Konzentrationen in der Gasphase der Umgebungsluft vermessen.

Das Ziel von URAnet aero ist einerseits die Überwachung der Immissionen in der Luft zur Abschätzung der Dosis für die gesamte Bevölkerung, andererseits eine rasche und zuverlässige Alarmübertragung und Alarmvalidierung im Falle einer erhöhten Aktivitätskonzentration eines künstlichen Radionuklids. Die eingesetzte Messtechnik erlaubt die Identifizierung und Quantifizierung von Radionukliden mit den von internationalen Empfehlungen geforderten Nachweisgrenzen. Da der Luftdurchsatz der Aerosolmonitore von URAnet aero mit 16 bis 18 m³/h viel niedriger ist als derjenige von Hochvolumensammlern (ca. 500 m³/h bei 1 Woche Sammelzeit, siehe Kapitel 4.1), liegen die Nachweisgrenzen der Aerosolmonitore zwar

höher, bewegen sich aber immer noch weit unter den gesetzlichen Immissionsgrenzwerten.

Von den 15 Messstationen befinden sich eine Station nördlich des Juras (Basel), eine Station südlich der Alpen (Bellinzona) und die restlichen Stationen im Mittelland zwischen Genf und dem Bodensee, mit einer besonderen Verdichtung des Messnetzes in der Umgebung der Kernkraftwerke. Abbildung 1 zeigt die Standorte der URAnet aero Stationen (Aerosolmonitore und ^{131}I Monitore) und URAnet aqua Stationen (siehe Kapitel 4.5) auf der Schweizer Karte.

Die Messgeräte sind eingebunden in das SwissMetNet der MeteoSchweiz. Innerhalb des SwissMetNet werden die Messwerte verarbeitet, im Data Warehouse von MeteoSchweiz gespeichert und gleichzeitig auf die Server der Sektion Umweltradioaktivität transferiert, von wo aus sie für die Analyse, Visualisierung und gegebenenfalls eine Alarmvalidierung verfügbar gemacht werden.

Die 12h-Mittelwerte der Radionuklide ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^7Be , ^{60}Co , ^{131}I , ^{214}Bi - und ^{214}Pb sind über die Internet-Plattform Radenviro der Öffentlichkeit zugänglich (www.radenviro.ch).

Messtechnik

Aerosolmonitore

Die Bandfilter-Messgeräte des Herstellers Thermo Fisher sind ausgestattet mit einem Reinstgermanium-Detektor mit 15 % relativer Effizienz gegenüber einem 3x3'' Nal-Detektor, über welchem sich in ca. 1cm Abstand die Bestaubungsstelle mit 5cm Durchmesser befindet. Zur Abschirmung der Umgebungsstrahlung ist dieser Detektor in einem zweiteiligen Bleighäuse eingebaut. Die beiden Teile werden durch einen metallenen Messstellenring getrennt, über welchen das Filterband bewegt werden kann. Der Messstellenring wird im Messbetrieb von vier Schraubenfedern luftdicht an das obere Bleighäuse gedrückt, während ein O-Ring die Lücke zum unteren Bleighäuse luftdicht verschliesst. Ein Seitenkanalverdichter pumpt Umgebungsluft mit einer Durchflussrate von 16 bis 18 m³/h via einen Ansaugkopf mit einem grobmaschigen 1mm-Gitter – um das Ansaugen von Insekten oder Schneeflocken zu verhindern – durch das Glasfaser-Filterband. Nach Ablauf der Bestaubungszeit von 12h wird der Messstellenring durch die von einem Kompressor generierte Druckluft gegen den O-Ring nach unten gepresst, wodurch das Filterband frei bewegt und dadurch genügend weit vorgeschoben werden kann, so dass sich die bereits bestaubte Stelle ausserhalb des Bleighäuses befindet und eine frische Filterfläche für die nächsten 12h bestaubt werden kann. Der Teil des Bleighäuses oberhalb des Messstellenrings verfügt über einen Einlass für die Luftansauglinie, während der untere Teil einen Ausgang für den Luftabzug hat.

Nach jedem Filterbandvorschub beginnt die kontinuierliche Akquisition des Gamma-Spektrums zwischen ca. 30 und 2'000 keV. Die Auswertung des Spektrums wird 20 Minuten nach Filterbandvorschub und danach alle 5 Minuten durchgeführt. Die eingesetzten Reinstgermanium-Kristalle erlauben die Aufnahme von hochaufgelösten Spektren mit Peak-Halbwertsbreiten zwischen 0.8 keV im niedrigen Energiebereich und 2.5 keV im hohen Energiebereich. Diese Peak-Halbwertsbreiten liegen somit nur unwesentlich höher als jene, die in einem Labor unter kontrollierteren Bedingungen aufgenommen werden können, obwohl die Temperaturschwankungen der angesogenen Umgebungsluft und der Messkabine während einer 12h-Bestaubungszeit den sensiblen Vorverstärker beeinflussen und damit die Energiekalibrierung beeinflussen können. Das Messsystem regelt eine mögliche Drift in der Energiekalibrierung anhand der Peaks der Radontöchter Bi-214 und Pb-214 und einer eingebauten schwachen K-40 Quelle automatisch nach.

Durch die hohe Auflösung gibt es wenige Überlappungen der einzelnen Peaks, was die eindeutige Zuordnung zu den verschiedenen Radionukliden vereinfacht. Die Peak-Fläche ist proportional zu der auf dem Filter abgelagerten Aktivität, womit unter Berücksichtigung des gefilterten Luftvolumens die Aktivitätskonzentration der Radionuklide in der Umgebungsluft berechnet werden kann. Bei jeder Auswertung werden die Spektren auf Grenzwertüberschreitungen geprüft.

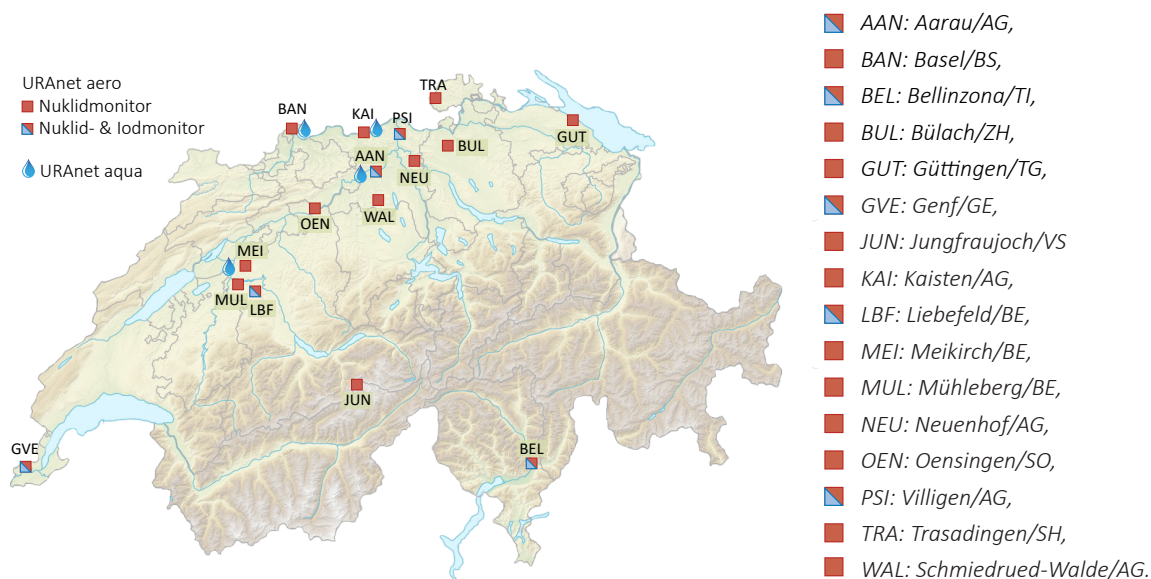


Abbildung 1:
Standorte der Messgeräte von URAnet aero

Die Aerosolmonitore des Herstellers Thermo Fisher wurden mit Germaniumdetektoren und elektrischen Kühleinheiten der Firma Ortec geliefert. Um eine optimale Funktionsfähigkeit zu garantieren, muss der Germanium-Kristall auf sehr tiefe Temperaturen von unter -150°C gekühlt werden. Um diese Temperaturen zu erreichen, wird der Kristall in einem Vakuum gehalten damit er vor den Einflüssen der Umgebungstemperatur und deren Schwankungen geschützt ist. Die Sektion Umweltradioaktivität verfügt über eine geeignete Membranvakuumpumpe um das Vakuum gegebenenfalls zu erneuern. Eine Erneuerung des Vakuums ist angezeigt, sobald sich Kondensation an der Aluminium-Kapsel des Detektors bildet. Ein Zeolith-Molekularsieb und ein Palladium-Absorber sind in der Aluminium-Kapsel des Detektors integriert, um Gase, die trotz der guten Isolation in die Kapsel eindringen können, zu adsorbieren und so das Vakuum aufrecht zu erhalten.

Auch zur Temperatur-Isolierung der Kontaktstelle zwischen der elektrischen Kühleinheit und dem Detektor ist ein Vakuum notwendig. Dieses Vakuum ist weniger stark, da es alleine durch ein weiteres Zeolith-Molekularsieb generiert wird. Mit der Zeit lässt die Adsorptions-Kapazität dieses Molekularsiebs nach. Dies ist einer der häufigsten Gründe für die Ausfälle der Messstationen.

Ohne Temperaturregulierung der Messkabine würde die hohe Wärmeproduktion des Seitenkanalverdichters rasch zu einer Überhitzung des Messgeräts führen und die Kristalle auch bei optimalem Vakuum letztlich zu stark aufwärmen. Vor allem in den Sommermonaten kann der Messbetrieb nur mit gut funktionierenden Klimageräten aufrechterhalten werden. Es werden regelmässige Wartungen der Klimageräte durchgeführt.

Im Jahr 2025 kam es zu einem längeren Unterbruch der Messstation Neuenhof. Auch die Techniker des Geräteherstellers konnten das Problem - eine Fehlerhafte Kommunikation zwischen dem Frequenzumrichter und dem Seitenkanalverdichter – erst nach mehreren Reparaturversuchen vor Ort beheben. Weiter kam es bei mehreren Stationen wie schon 2024 zu Problemen mit dem Datentransfer, was auf Probleme mit den von MeteoSchweiz zur Verfügung gestellten Geräten zurückzuführen ist.

Die Aerosolmonitore wurden durch die URA weiterentwickelt und sind nun auch kompatibel mit den Germaniumdetektoren der Firma Mirion. Aktuell sind die Stationen Kaisten, Aarau, Güttingen, Waltersholz, Neuenhof und Bülach mit Detektoren der Firma Mirion ausgerüstet. Sie weisen bislang eine höhere Beständigkeit gegenüber Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen auf, was damit zusammenhängen könnte, dass die Kühleinheit direkt mit dem Detektor verbunden ist und keine Temperatur-Isolierung der Kontaktstelle benötigt. Zusätzlich ist durch die intelligente Temperaturregulierung der Geräte von Mirion der Energieverbrauch deutlich kleiner, obschon der Germanium-Kristall bei einer niedrigeren Temperatur als bei den Ortec-Geräten gehalten werden kann.

¹³¹I-Monitore

Die fünf ¹³¹I Monitore werden nach einem ähnlichen Prinzip wie die Aerosolsammler betrieben. Bei einer Abgabe an die Umwelt durch ein Kernkraftwerk würde ¹³¹I überwiegend in gasförmiger Form vorliegen und könnte somit nicht von einem Filter zurückgehalten werden. Aus diesem Grund sind die ¹³¹I Monitore mit einer zylindrischen

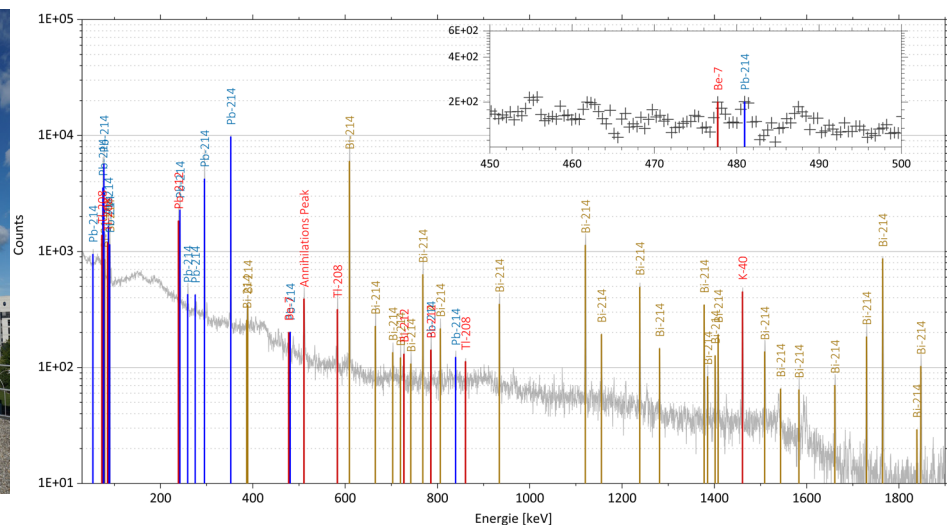


Abbildung 2 :

12h-Spektrum der Messstation Kaisten vom 1. Juni 2025 um 00:00 Uhr. Die Linien von ²¹⁴Pb und ²¹⁴Bi aus der Uran-Radium-Zerfallskette sind **gelb** und **blau** markiert, alle anderen **rot**. Der Bereich um die Linie von ⁷Be bei 477.6 keV mit den naheliegenden Nebelinien von ²¹⁴Pb ist vergrössert dargestellt. Die Auswertungs-Software konnte für die ²¹⁴Bi Linien von 469.8 keV und 474.4 keV noch keinen statistisch signifikanten Peak finden.

Kartusche ausgestattet, die mit AgNO_3 -Granulaten aufgefüllt wird, auf welche das ^{131}I adsorbiert. In der Mitte der zylindrischen Kartusche befindet sich ein NaI-Detektor, dessen Kanäle im Energiebereich von ca. 350 keV bis 380 keV gezielt nach der 364.49 keV-Linie von ^{131}I abgesucht werden. Aus der Zählrate und dem gefilterten Luftvolumen – bei den ^{131}I Monitoren ca. $10 \text{ m}^3/\text{h}$ – kann die Aktivitätskonzentration des ^{131}I in der Umgebungsluft berechnet werden. Der NaI-Detektor muss nicht gekühlt werden und ist weniger anfällig auf Schwankungen der Temperatur oder Luftfeuchtigkeit in der Messkabine.

Messresultate

Abbildung 2 zeigt das Spektrum des Aerosolmonitors der Messstation in Kaisten am Ende der 12h-Bestaubungszeit vom 9. Juni 2024 um 12:00 Uhr. Die Linien von ^{214}Pb und ^{214}Bi und deren Compton-Kontinuen dominieren das Spektrum und den Untergrund. Die Auswertungs-Software identifizierte 13 Linien von ^{214}Pb und 29 Linien von ^{214}Bi . Weiter sind auch die Peaks von ^{212}Pb , ^{208}Tl , ^{40}K , ^7Be und der Annihilations-Peak im Spektrum zu finden. Die Hauptlinie von ^{212}Pb bei 238.6 keV befindet sich unmittelbar neben einer starken Linie von ^{214}Pb bei 242.0 keV und bedarf einer stabilen Regelung der Energiekalibration, um Schwierigkeiten durch eine Peak-Überlappung zu vermeiden. Die aus diesem Spektrum abgeleiteten Aktivitätskonzentrationen (12h-Mittelwerte) betragen :

- $3.92 (\pm 0.48) \text{ Bq/m}^3$ für ^{214}Pb ,
- $3.62 (\pm 0.24) \text{ Bq/m}^3$ für ^{214}Bi ,
- $19.51 (\pm 2.05) \text{ mBq/m}^3$ für ^{212}Pb ,
- $6.03 (\pm 0.64) \text{ mBq/m}^3$ für ^{208}Tl
- $5.47 (\pm 1.70) \text{ mBq/m}^3$ für ^7Be .

Der vergrösserte Ausschnitt in Abbildung 2 zeigt den Energiebereich um die Linie von ^7Be bei 477.6 keV. Der Nachweis von ^7Be im Spektrum ist noch anspruchsvoller als jener des oben beschriebenen ^{212}Pb , da sowohl die Linie von ^{214}Pb bei 480.4 keV als auch die Linie von ^{214}Bi bei 474.4 keV (in diesem Spektrum nicht signifikant) mit dem ^7Be -Peak interferieren können. Abhängig vom Untergrund des Spektrums liegt die Nachweisgrenze von ^7Be nach 12h Messzeit in der Regel nahe bei den tatsächlichen Aktivitätskonzentrationen in der Umgebungsluft, d.h. in der Region von wenigen mBq/m^3 . Der gelegentliche Nachweis von ^7Be und die oben erwähnte präzise Vermessung der Hauptlinie von ^{212}Pb bestätigen die hohe Qualität der Spektren trotz der teilweise anspruchsvollen Bedingungen in den Messkabinen.

Abbildungen 3 (b) und (c) zeigen den Verlauf der Tagesmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen von ^{214}Pb und ^{212}Pb der Messstation Genf für das Jahr 2025. Abschnitte mit Niederschlag und windigeren Verhältnissen sind ebenfalls angegeben. Die Werte zeigen einen deutlichen Zusammenhang zwischen den Radontöchtern und dem meteorologischen Einfluss: Windigere Verhältnisse und die Auswaschung aus der Atmosphäre durch Niederschlag führen zu niedrigeren Tagesmittelwerten. Höhere Aktivitätskonzentrationen treten erst auf, wenn über längere Zeit keine Auswaschung oder Durchmischung der Atmosphäre stattfindet.

Während Niederschlag zu niedrigeren Werten der Radontöchter führt (negative Korrelation), hat er wie in Kapitel 3.2 beschrieben in der Regel eine Erhöhung der Ortsdosisleistung zur Folge (positive Korrelation). Da die Radontöchter durch den Niederschlag am Boden abgelagert werden, erfasst die NADAM-Sonde die entsprechenden Zerfälle und misst eine höhere Ortsdosisleistung. Der Verlauf der Ortsdosisleistung ist in Abbildung 3 (a) dargestellt und zeigt diese gegenteilige Wirkung des Niederschlags auf die Radontöchter und die Ortsdosisleistung während den Perioden mit Niederschlag.

Bei längeren Perioden ohne Niederschlag stimmen die Modulationen im Untergrund der Ortsdosisleistung oft mit den Schwankungen in den Aktivitätskonzentrationen von ^{214}Pb und ^{212}Pb überein und bestätigen, dass die beiden unterschiedlichen Messsysteme untereinander kohärent sind. Eine genauere Analyse müsste noch weitere Einflussfaktoren (Windverhältnisse, Schneedecke usw.) berücksichtigen.

Die gleichen Parameter sind in Abbildung 4 für die Station Güttingen aufgezeigt. Auch hier zeigt sich während längeren, trockenen Perioden der gleiche Zusammenhang zwischen der Ortsdosisleistung und den Radontöchtern wie in Genf.

Aus den Abbildungen 3 und 4 ist ersichtlich, dass bei beiden Stationen während den kälteren Monaten, vor allem Januar, November und Dezember, in der Regel sehr tiefe ^{212}Pb Aktivitätskonzentrationen gemessen werden. Beim ^{214}Pb ist ein solcher Trend kaum ersichtlich. Die Wind- oder Niederschlagsverhältnisse scheinen nur wenig Einfluss auf diesen Unterschied zwischen kälteren Monaten und dem Rest des Jahres zu haben.

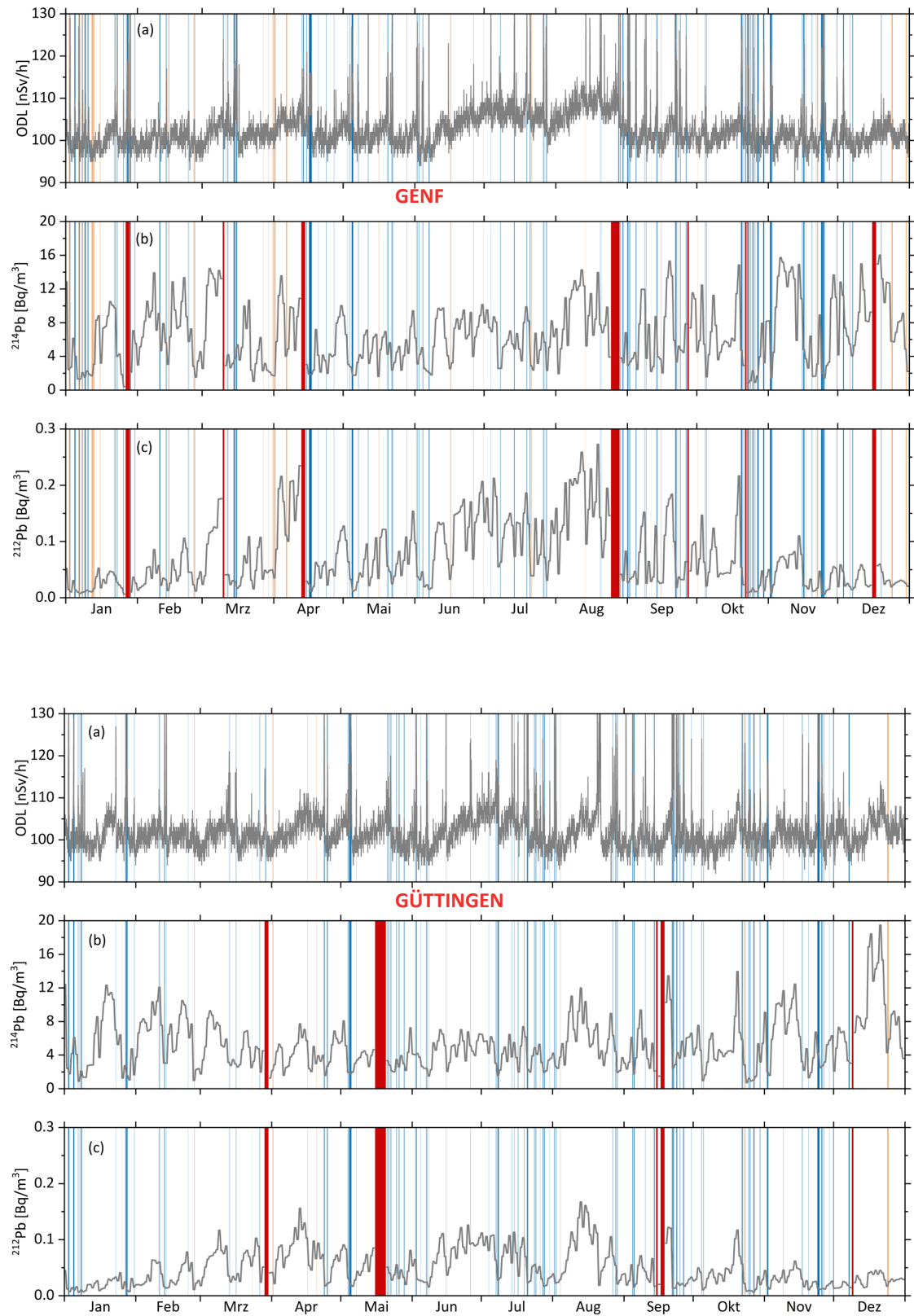


Abbildung 3 und 4 :

Jahresverläufe auf der Messstation in Genf und in Güttingen für die (a) Stundenmittelwerte der Ortsdosisleistung, (b) Tagesmittelwerte der Aktivitätskonzentration von ^{214}Pb und (c) Tagesmittelwerte der Aktivitätskonzentration von ^{212}Pb . Die Abschnitte in blau zeigen Perioden mit Niederschlag und in orange mit windigeren Verhältnissen. Während den Abschnitten in rot sind keine Messwerte verfügbar, beispielsweise aufgrund einer Wartung des Messgeräts.

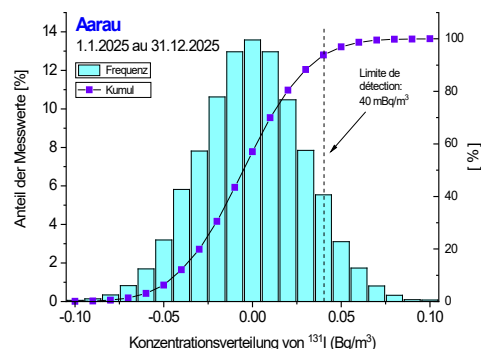
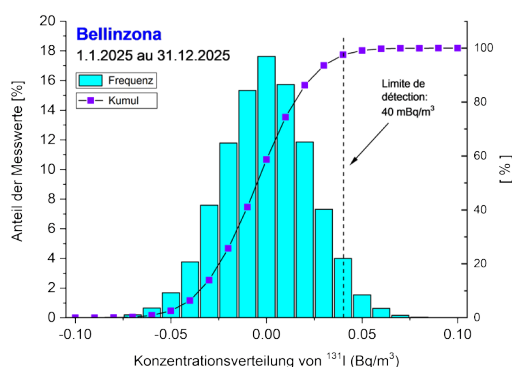


Abbildung 5 :

Histogramm der Durchschnittskonzentration von ^{131}I auf den Stationen Bellinzona und Aarau im Jahr 2025.

Vermutlich hängt dieser Trend mit den unterschiedlichen Halbwertszeiten der zwei verschiedenen Radon-Isotope aus der Thorium- und der Uran-Radium-Zerfallsreihe zusammen. In der Uran-Radium-Zerfallskette hat das gasförmige ^{222}Rn eine Halbwertszeit von mehr als drei Tagen, das ^{220}Rn aus der Thorium-Zerfallskette weniger als eine Minute. Sowohl die Migration und Exhalation aus dem Boden als auch die Verteilung auf den Aerosolpartikeln in den Luftschichten können dadurch unterschiedlich ausfallen, in Abhängigkeit der meteorologischen Bedingungen und der Bodenbeschaffenheit.

Die fünf ^{131}I Monitore der Stationen in Bellinzona, Genf, Aarau, Liebefeld und PSI haben zu keinem Zeitpunkt im Jahr 2025 gasförmiges ^{131}I in der Umgebungsluft feststellen können. Die Absenz von ^{131}I in der Umgebungsluft wird auch dadurch bestätigt, dass die Histogramme der durchschnittlichen ^{131}I Konzentrationen – in Abbildung 5 an den Beispielen der Stationen Bellinzona und Aarau gezeigt – eine Gauss'sche Glockenkurve mit einem Mittelwert von Null zeigen.

Schlussfolgerung

Weder die Aerosolmonitore noch die ^{131}I Monitore des Messnetzes URAnet aero haben im Jahr 2025 künstliche Radionuklide in der Umgebungsluft festgestellt.

Beide Messsysteme verfügen über zuverlässige automatische Regulierungen, die Schwankungen von Temperatur und Feuchte, die sich auf die Qualität der Spektren auswirken könnten, ausgleichen. Damit gewährleisten sie den Messbetrieb auch bei variierenden Bedingungen. Trotz teilweise schwierigen Bedingungen auf den Messstationen und den dominanten und möglicherweise interferierenden Peaks von ^{214}Pb und ^{214}Bi aus der Uran-Radium-Zerfallsreihe vermessen die Aerosolmonitore auch die Radontöchter ^{212}Pb , ^{212}Bi und ^{208}Tl aus der Thorium-Zerfallsreihe.

Die Zeitverläufe der Aktivitätskonzentrationen von ^{214}Pb und ^{212}Pb zeigen den Einfluss der meteorologischen Bedingungen, d.h. das Auswaschen der Radontöchter aus der Atmosphäre durch Niederschlag und in vielen Fällen auch die Durchmischung der Bodenluft. In jenen Zeiträumen wo dieser meteorologischen Einfluss geringer ist, zeigt sich ein Zusammenhang zwischen den Aktivitätskonzentrationen dieser Radontöchter und den Modulationen im Untergrund der Ortsdosisleistung.

4.3 Überwachung der Luft mit Militärflugzeugen

M. Müller, S. Estier, G. Ferreri

Sektion Umweltradioaktivität, URA / BAG, Bern

Zusammenfassung

Mittels zwei an Militärflugzeugen montierten Sammelgeräten werden in 8'000 bis 12'000 m Höhe Luftproben gesammelt. Im Falle einer Radioaktivitätsfreisetzung kann somit im Idealfall die Nuklidzusammensetzung bereits bestimmt werden, bevor sich die Radioaktivität auf Boden und Pflanzen absetzt. Das Einsatzkonzept sieht im Normalfall 6 Flüge pro Jahr vor, im Ereignisfall können nach Absprache zusätzliche Sammelflüge durchgeführt werden.

Vorgeschichte

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

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

Im Ernstfall (d.h. bei einem Kernwaffeneinsatz oder einem schweren Kernkraftwerk-Unfall) müssen die Einsatzorgane rasch über allfällige Schutzmassnahmen für die Bevölkerung entscheiden können. Es ist deshalb notwendig,

Zusammensetzung (Nuklidvektor), Ausmass und Lage einer solchen radioaktiven Wolke möglichst frühzeitig zu erfassen, bevor sich deren Radioaktivität auf Boden und Pflanzen ablagert. In der Folge wurden in Zusammenarbeit der KUER mit den damaligen Flugzeugwerken Emmen in den 1960er-Jahren Sammelgeräte entwickelt und im Windkanal kalibriert. Diese ermöglichen es, mittels Militärflugzeugen Aerosolpartikel in bis zu 12'000 m Höhe zu sammeln. Die Proben können anschliessend im Labor mittels Gamma-Spektrometrie analysiert werden. Ebenfalls ab Mitte der 1960er-Jahre wurden am Physikinstitut der Universität Freiburg die ersten Ge (Li)-Detektoren in Betrieb genommen, die für solche Messungen vom Labor der KUER für die Analyse von Luftfiltern benutzt werden konnten.

Ab dem Jahr 2000 war ein Einsatz mit den Sammelgeräten der ersten Generation nicht mehr möglich, da die 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 Tigers und Detail-Aufnahme eines Sammelgerätes.

Sammlung der Proben

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

Die Flughöhe kann vom Auftraggeber gewählt werden. Beispielsweise ist die Probenahme in der Stratosphäre erforderlich, wenn ob bei einem Ereignis die radioaktive Wolke bis in diese Höhe aufsteigt. Im Normalfall sind 6 Sammelflüge pro Jahr vorgesehen. Die Hin- und Rückflüge erfolgen jeweils je 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.

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 dieses Überwachungsverfahrens 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

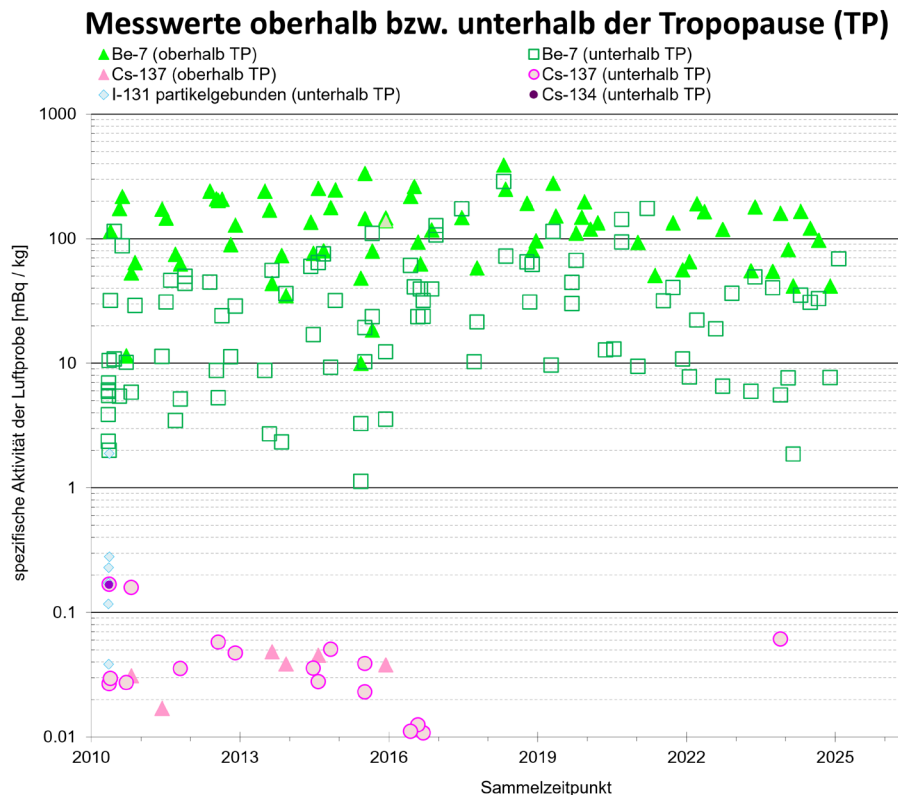
Die Messung erfolgt im Labor mittels hochauflösender Gammaskpektrometrie, wobei nach 1-2 Tagen Messzeit für ^{137}Cs eine Nachweisgrenze von 0.01 - 0.05 mBq/kg Luft erreicht wird. Anschliessend können an den Filtern weitere Untersuchungen durchgeführt werden, z.B. mit radiochemischen oder massenspektrometrischen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

Über die letzten 15 Jahre liegt die durchschnittliche Konzentration des kosmogenen Radionuklids ^7Be oberhalb der Tropopause bei 121 mBq/kg.

Bei den Messungen 1 km unterhalb der Tropopause liegt der Durchschnittswert bei 24 mBq/kg. Als Vergleich seien hier die Werte von P. Winiger [1] bis [4] erwähnt, die für ^7Be im Mittel bei 100 mBq/kg bzw. 20 mBq/kg liegen, jeweils 1'000 m über bzw. unter der Tropopause ermittelt.

schon kurze Zeit später nicht mehr messbar waren. Das Radionuklid ^{134}Cs konnte in den Jahren nach 2011 nicht mehr nachgewiesen werden.

In Figur 2 sind deutlich sichtbar die nach dem Reaktorunfall Fukushima (Japan) gemessenen ^{131}I -Konzentrationen, welche jedoch infolge der Halbwertszeit von 8 Tagen



Figur 2:

^7Be -, ^{134}Cs -, ^{137}Cs - und partikelgebundene ^{131}I - Messwerte in mBq/kg Luft in den Jahren 2010-2025.

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). P. Winiger, O.
- [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, P. Rünzi

Eawag, Überlandstrasse 133, Dübendorf

A. Pregler

Kantonales Labor Basel-Stadt, Gruppe Radioaktivität, Basel

Zusammenfassung

In den Wasserproben von Aare und Rhein wurden 2025 keine künstlichen Radionuklide aus Abgaben der Kernkraftwerke Mühleberg, Gösgen, Beznau oder Leibstadt nachgewiesen. In den Schwebestoffproben von Aare und Rhein wurden vereinzelt ^{54}Mn , sowie in allen Proben ^{137}Cs oberhalb der Nachweisgrenzen gefunden. In Stichproben von Schwebstoffen im Rhein bei Weil (D) wurden ausser ^{137}Cs die kurzlebigen Radionuklide ^{131}I , ^{177}Lu und ^{223}Ra gefunden, welche in der Nuklearmedizin eingesetzt werden.

In einer Probe eines Fisches aus dem Rhein bei Kaiseraugst wurde eine geringe Aktivität von ^{137}Cs gemessen. In Wasserpflanzen und Grundwasserproben wurden keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen.

Übersicht

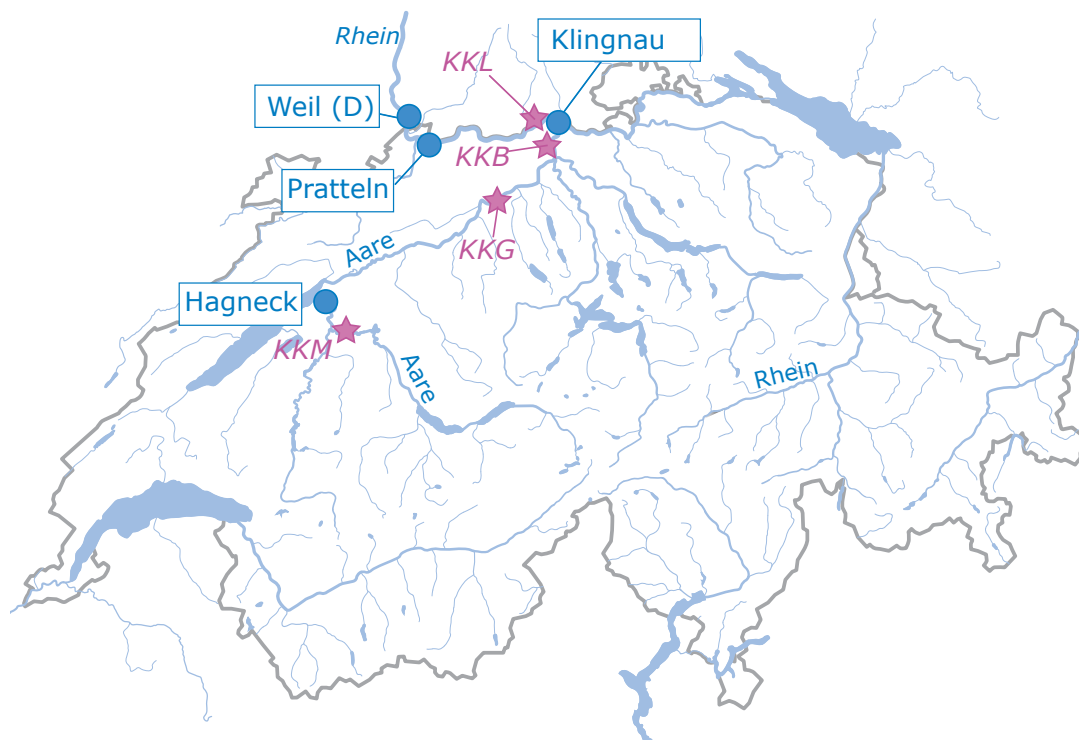
Die meisten künstlichen Radionuklide gelangen direkt über Einleitung von Abwässern oder indirekt über den Niederschlag in den Wasserkreislauf. Entsprechend wird die Radioaktivität in aquatischen Systemen kontinuierlich analysiert, um die Radionuklid-Immissionen der entsprechenden Betriebe zu überwachen.

Die kumulierten Radionuklidabgaben der Kernkraftwerke werden von der Eawag mittels monatlicher Wasserproben an verschiedenen Standorten entlang von Aare und Rhein überwacht (Figur 1). Die Station Hagneck liegt stromabwärts des im Rückbau befindlichen Kernkraftwerks Mühleberg, 900 m 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 überwacht.

Komplementär zu den Wasserproben aus Rhein und Aare werden bei Hagneck, Klingnau und Pratteln auch die spezifischen Aktivitäten von Radionukliden überwacht, welche auf Schwebstoffen angelagert sind. Zusätzlich werden einmal jährlich auch Grundwasser-, Fisch- und Wasserpflanzenproben untersucht.

Die Aktivitäten der Radionuklide in allen Proben werden an der Eawag mittels Gammaskpektrometrie bestimmt.

Zusätzlich zu diesen monatlichen Sammelproben entnimmt das Amt für Umwelt und Energie Basel-Stadt (AUE BS) bei der Rheinüberwachungsstation Weil am Rhein (D) Stichproben von Rheinwasser und Schwebstoffen. Diese werden vom kantonalen Labor Basel-Stadt (KLBS) gammaspektrometrisch analysiert.



Figur 1:

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

Wasserproben aus Aare und Rhein

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 80 Proben genommen, was monatliche Sammelproben zwischen 50 L und 200 L ergibt. Zur Bestimmung der monatlichen Fracht der Radionuklide in Aare und Rhein werden die Radionuklide aus den Sammelproben durch eine Eisenhydroxidfällung extrahiert. Danach wird das Fällungsprodukt getrocknet und darin die Aktivitäten der betreffenden Radionuklide bestimmt. Die Radionuklidfracht ergibt sich aus dem Produkt der gemessenen Aktivität und der während der Sammelperiode abgeflossenen Wassermenge.

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

Die Summe der Radionuklidabgaben aus den Kernkraftwerken in die Aare bzw. in den Rhein waren für ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{65}Zn , ^{134}Cs und ^{137}Cs vorwiegend durch

das KKW Beznau dominiert. ^{60}Co stammt aus den KKWs Mühleberg, Beznau und Leibstadt; aus letzterem stammt auch ein kleinerer Teil der Gesamtmenge ^{54}Mn . Das KKW Gösgen hat kaum zu den Abgaben der genannten Nuklide beigetragen, wohl aber zu anderen Nukliden, wie $^{99\text{m}}\text{Tc}$ und $^{123\text{m}}\text{Te}$.

Bei allen drei Stationen (Hagneck, Klingnau und Pratteln) wurden in den Wasserproben aus der Aare und dem Rhein über das ganze Jahr keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen. In früheren Jahren wurden vereinzelt Spuren dieser Nuklide nahe der Nachweisgrenze gefunden, als die Abgaben aus den KKW noch systematisch höher waren. Über die letzten zwei Jahrzehnte sind die Abgaben dieser Radionuklide aus den KKW jedoch um mehrere Grössenordnungen zurückgegangen und liegen in ihrer Summe seit 2023 auf einem Tiefststand (siehe weiter unten).

Ausser den oben diskutierten Radionukliden wurden keine weiteren künstlichen Radionuklide nachgewiesen, wohl aber natürliche wie ^7Be , ^{40}K und Töchter von Uran und Thorium.

Konzentrationsmaxima im Vergleich zu den Immissionsgrenzwerten

Figur 3 zeigt die jährlichen Maxima der Konzentrationen bzw. Nachweisgrenzen von ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{131}I , ^{134}Cs und ^{137}Cs im Wasser, normiert auf die Immissionsgrenzwerte für Gewässer gemäss Anhang 7 StSV. Diese Grenzwerte sind so definiert, dass eine Person, die den gesamten Trinkwasserbedarf aus dem analysierten Gewässer decken würde, maximal 3/10 der zulässigen Dosis für die Bevölkerung erhalten würde. Die Maxima liegen ausser bei ^{131}I um mindestens fünf Grössenordnungen unterhalb der Immissionsgrenzwerte.

Langfristige Entwicklung der Radionuklidabgaben 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 – 2025. 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 von 2005 bis ca. 2009 tendenziell abgenommen. Danach ist bis 2013 zunächst keine systematische Veränderung erkennbar. Von 2014 bis 2019 zeigt sich nochmals eine Reduktion der Abgaben von ^{54}Mn , ^{58}Co und ^{60}Co . Die Abgabe dieser Nuklide stieg 2020 wieder an, lag aber 2021 wieder in der Grössenordnung von 2019. Für ^{137}Cs erfolgten 2022 leicht höhere Abgaben als in den vorherigen 6 Jahren, für 2025 lagen die Abgaben von ^{54}Mn und ^{60}Co nach dem Tiefstand von 2023 – 2024 wieder geringfügig höher.

^3H -Überwachung bei der Rheinüberwachungs-station Weil am Rhein (D)

Bei der Rheinüberwachungsstation Weil am Rhein (D) werden durch das Amt für Umwelt 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. Die Nachweisgrenze liegt seit 2022 bei 4 Bq/L anstatt 2 Bq/L, wodurch der Anschein erweckt werden kann, es wurde seltener Tritium im Wasser gefunden.

Die ^3H -Aktivität des Rheinwassers ist in Figur 5 dargestellt.

Die ^3H -Konzentrationen betragen mit einer Ausnahme in KW 15 (12 Bq/L) über das ganze Jahr < 10 Bq/L. Bei 80% aller Proben liegen die ^3H -Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze von 4 Bq/L.

Schwebestoffe in Aare und Rhein

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

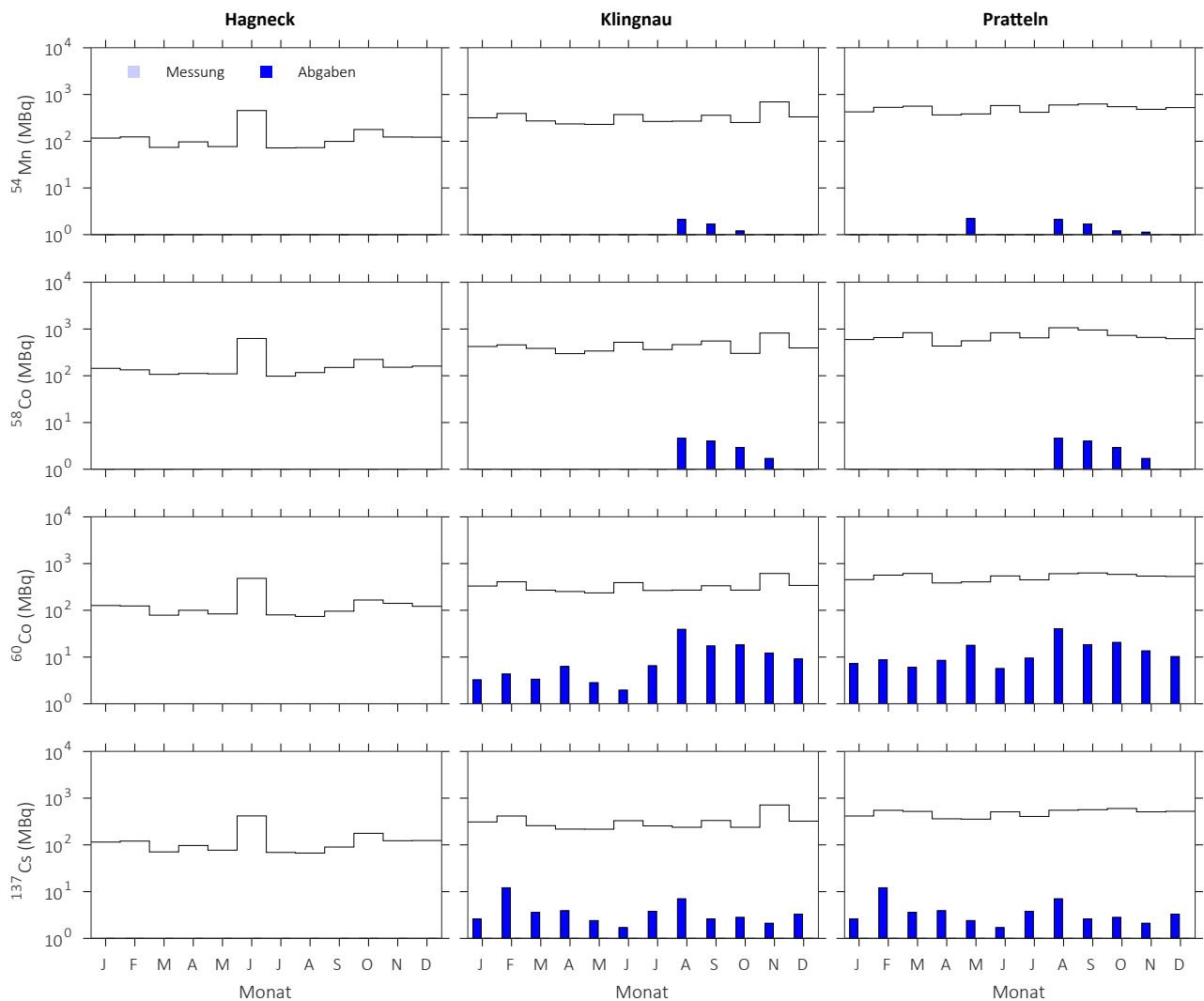
Mit Hilfe von Sedimentfallen gewinnt die Eawag monatliche Sammelproben der Schwebestoffe bei den Stationen Hagneck, Klingnau und Pratteln. Diese Schwebstoffproben werden gefriergetrocknet, gemörsert und danach gammaspektrometrisch analysiert.

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 6).

Die ^{137}Cs -Nachweise werden auf die Remobilisierung von ^{137}Cs vom Unfall im KKW Tschernobyl zurückgeführt. In einigen Proben wurde ausserdem ^{54}Mn gefunden; ^{58}Co , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{131}I und ^{134}Cs wurden nicht nachgewiesen.

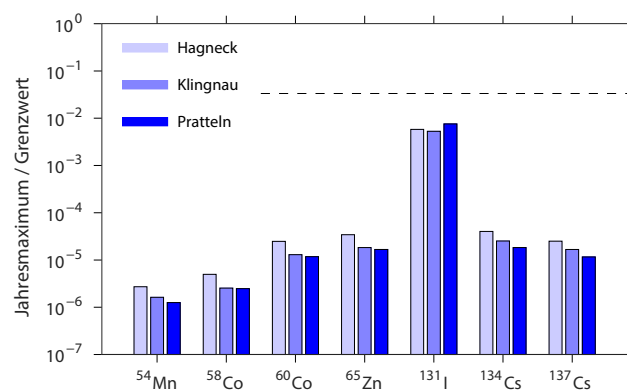
Das AUE BS sammelt bei Weil am Rhein monatlich Schwebstoff-Stichproben. Dabei wird über Zeiträume von einigen Tagen Rheinwasser aus der Querschnittmischung entnommen und davon die Schwebestoffe abzentrifugiert.

Die Radionuklidaktivitäten der Stichproben des AUE BS werden auf die monatlichen Radionuklidfrachten auf suspendierten Partikeln bei Weil am Rhein hochgerechnet. Dabei ist zu beachten, dass die Hochrechnung auf der Annahme beruht, dass die über 1–4 Tage gesammelten Stichproben repräsentativ für den ganzen Monat sind, was aufgrund der diskontinuierlichen Abgaben der Emittenten nicht zutreffen muss.



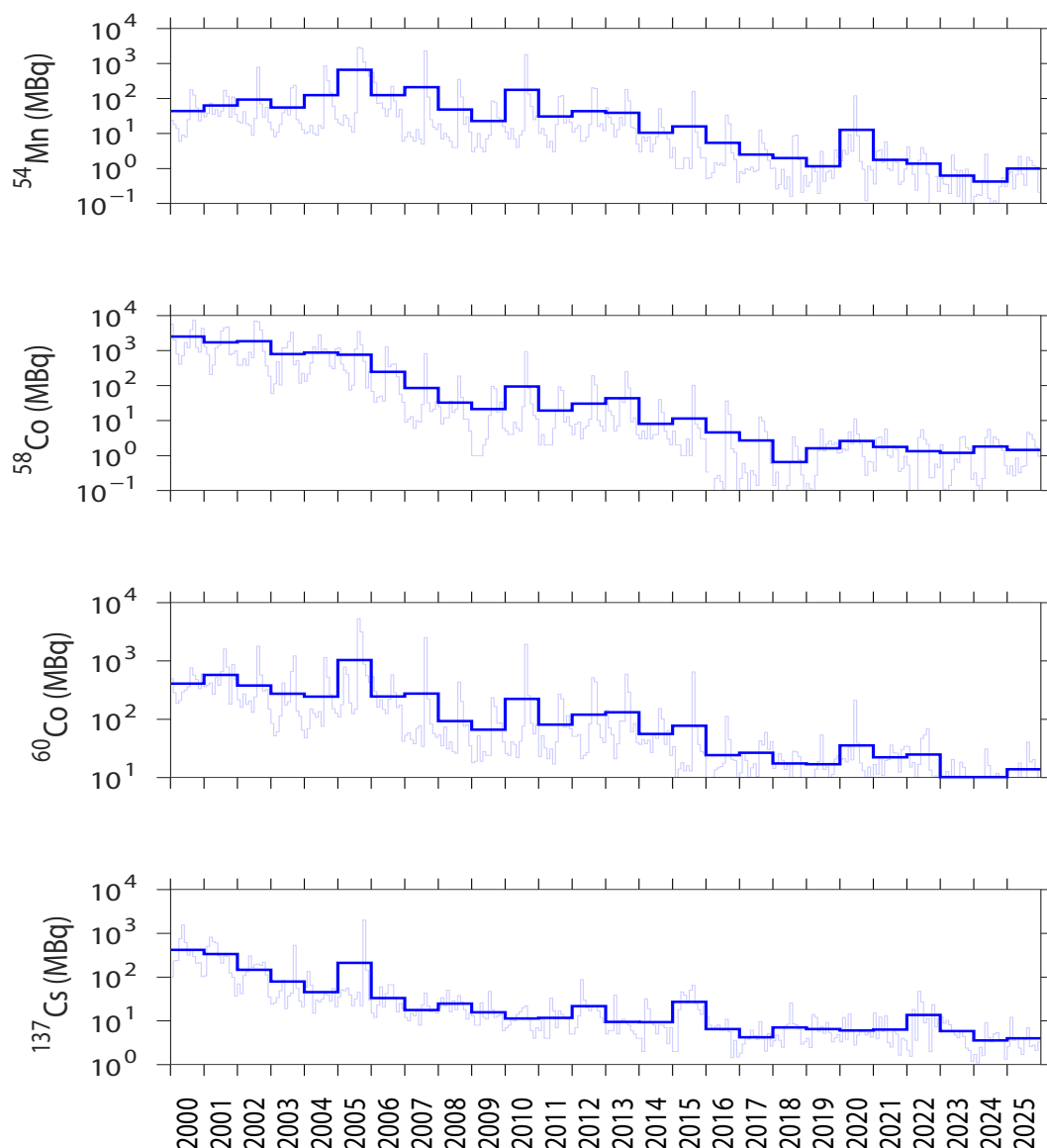
Figur 2 :

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 bilanzierten Abgaben der flussaufwärts gelegenen Kernkraftwerke. Die Messwerte lagen immer unter der Nachweisgrenze (Stufenlinie).

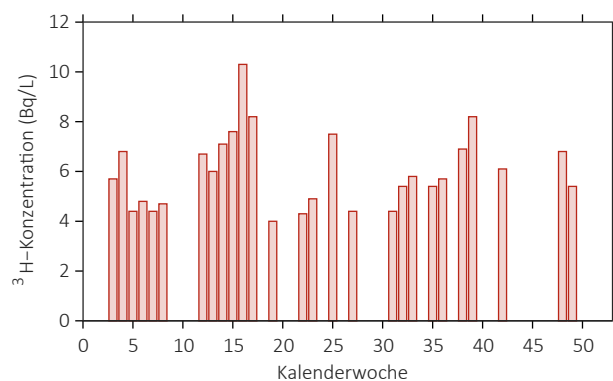


Figur 3 :

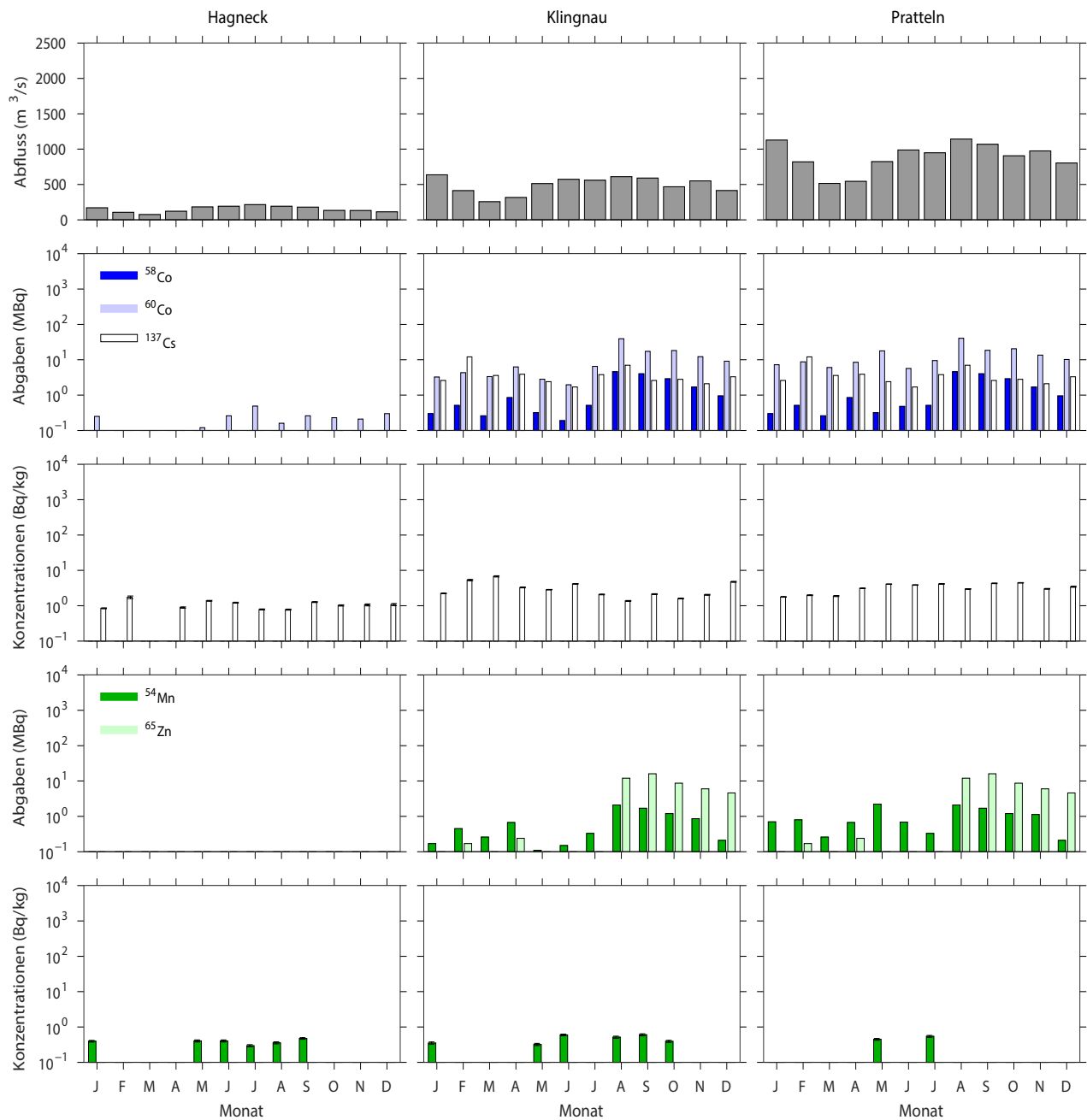
Maxima der Konzentrationen von ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{131}I , ^{134}Cs und ^{137}Cs im Wasser bei Hagneck, Klingnau und Pratteln (Jahresmaxima der Nachweisgrenzen), normiert auf die Immissionsgrenzwerte für Gewässer gemäss StSV. Die gestrichelte Linie markiert die Untersuchungsschwelle (1/30 der Immissionsgrenzwerte).



Figur 4 :
Entwicklung der summierten Abgaben der Kernkraftwerke über Abwasser von 2000 - 2025. Die hellblaue Linie zeigt die Abgaben pro Monat, die dunkelblaue jeweils das Jahresmittel.



Figur 5 :
 ^3H -Aktivitätskonzentration im Rhein bei Weil am Rhein (D).



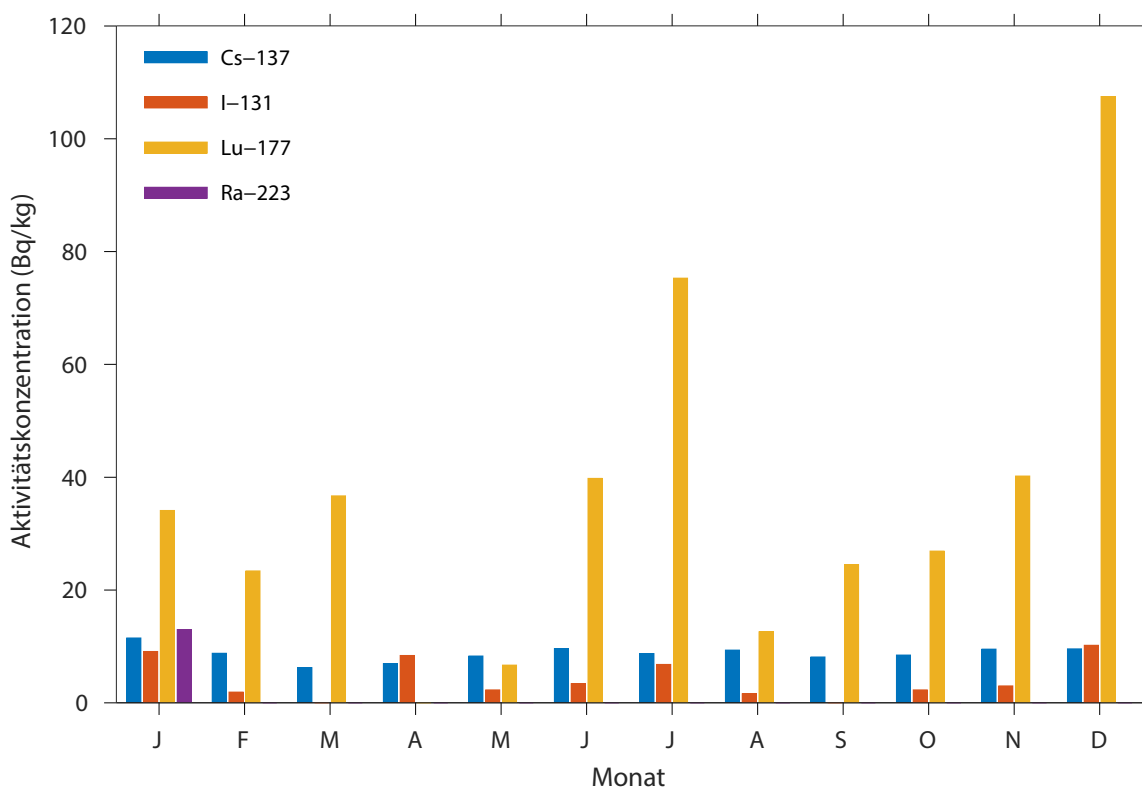
Figur 6 :

Spezifische Aktivitäten von ⁵⁴Mn, ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ⁶⁵Zn und ¹³⁷Cs in den monatlichen Partikelproben aus den Sedimentfallen bei Hagneck, Klingnau und Pratteln im Vergleich mit dem Abfluss und den kumulierten bilanzierten Abgaben der stromaufwärts gelegenen Kernkraftwerke. Die Messwerte wurden nur dann eingezeichnet, wenn die Nachweisgrenze der jeweiligen Messung erreicht wurde.

Figur 7 zeigt die aus den Stichproben bei Weil am Rhein (D) abgeschätzten Frachten von ^{137}Cs auf Schwebestoffen, welches jeden Monat nachgewiesen wurde. Auch diese Ergebnisse werden wiederum primär auf die Remobilisierung von ^{137}Cs aus dem Unfall im KKW Tschernobyl zurückgeführt. ^{54}Mn , ^{58}Co und ^{60}Co wurden nicht nachgewiesen. Zusätzlich zu den relativ langlebigen Radionukliden konnten in den Stichproben von Weil am Rhein (D) auch die kurzlebigen Radionuklide ^{131}I (Halbwertszeit: 8 Tage), ^{177}Lu (Halbwertszeit: 6.7 Tage) und einmalig ^{223}Ra (Halbwertszeit: 11.4 Tage) nachgewiesen werden (ebenfalls Figur 7), welche in der Nuklearmedizin eingesetzt werden.

Fische und Wasserpflanzen in Aare und Rhein

Die Fisch- und Wasserpflanzenproben (ohne Wurzeln) werden stromabwärts der Kernkraftwerke entnommen. Die Fische werden filetiert. Die Wasserpflanzenproben werden gereinigt, um eine Partikelkontamination mit Radionukliden zu vermeiden. Die Fisch- und Wasserpflanzenproben werden vor der Analyse homogenisiert und gefriergetrocknet.



Figur 7:

Monatliche Frachten von ^{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.

Die spezifische Aktivität dieser Proben wird in Bezug auf das Trockengewicht angegeben.

Fische: Im Jahr 2025 wurden nur Fische aus dem Bielersee (06.11.2025), und dem Rhein bei August (16.08.2025) analysiert. In allen Fischproben wurden natürliche Radionuklide gefunden, z.B. ^{40}K (442 – 701 Bq/kg). Es wurde in der Probe aus dem Rhein eine kleine Menge ^{137}Cs unterhalb der Grenzwerte gemäss der Tschernobyl-Verordnung und der Befreiungsgrenze gemäss StSV nachgewiesen, ansonsten keinerlei künstliche Radionuklide.

Aufgrund von alters- und krankheitsbedingten Ausfällen der Auftragsfischer und geringem Interesse der Nachfolger die Aufgaben zu übernehmen, konnte für die verbleibenden 3 Standorte für 2025 keine Proben erhoben werden. Für 2026 wird versucht, für die Probennahme dieser Standorte die kantonalen Fischereibehörden zu rekrutieren.

Wasserpflanzen: Am 06.08.2025 wurden Wasserpflanzen aus der Aare oberhalb der Station in Hagneck, in Küttigen, oberhalb des Klingnauer Stausees, und aus dem Rhein bei Möhlin entnommen. In allen Proben wurden nur natürliche Radionuklide wie das kurzlebige ^7Be (155 – 300 Bq/kg) gefunden.

Grundwasser bei Aarberg, Döttingen und Pratteln

Am 21.10.2025 wurden die Grundwasserströme bei Schönenwerd (Pumpwerk Aarefeld in Gretzenbach, neben dem KKW Gösgen), im Hardwald bei MuttENZ (Grundwasserbrunnen 16 der Hardwasser AG) und bei Böttstein (Pumpwerk Schulhaus, unterhalb des KKW Beznau) beprobt, am 19.12.2025 ausserdem der Grundwasserstrom bei Aarberg (Pumpwerk Römerstrasse II, in der Nähe der Überwachungsstation Hagneck). Dabei werden die Radionuklide aus 150 L Grundwasser analog zu den Flusswasserproben vor der Analyse angereichert und analysiert. Es wurden keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen (Nachweisgrenzen 0.05 – 0.5 mBq/L).

4.5 URAnet aqua Automatisches Messnetz Flusswasser

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

Zusammenfassung

Die vier automatische Natrium-Iodid-Sonden (NaI) des Messnetzes URAnet aqua messen fortlaufend die Konzentration von Gammastrahlern in Aare und Rhein flussabwärts der Kernkraftwerke. Sie übermitteln alle 10 Minuten einen Messwert. Künstliche Radionuklide konnten im Berichtsjahr im Flusswasser nicht nachgewiesen werden. Die Überwachung der Aare unterhalb KKM während des Rückbaus wird durch die Sonde in Niederried sichergestellt. Die vier Sonden in Niederried, Aarau und Basel hatten 2025 keine Betriebsunterbrüche zu verzeichnen, während die Sonde in Laufenburg im November für mehrere Tage ausgefallen ist. Im März 2025 wurde am neuen Standort Chancy in der Rhone, kurz bevor diese die Schweiz verlässt, eine Sonde der Generation Sara-2 installiert.

Das Messnetz und seine Aufgaben

Das Messnetz URAnet aqua überwacht kontinuierlich und automatisch das Flusswasser von Aare und Rhein stromabwärts der Kernkraftwerke (Figur 1). Die Überwachung der Aare flussabwärts des sich im Rückbau befindenden Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) wird durch die Sonde beim Stausee Niederried sichergestellt. Für diese Sonde ist am BAG in Liebfeld eine Ersatzsonde vorgehalten, die im Falle einer Störung rasch in Niederried eingesetzt werden kann. Flussabwärts des Kernkraftwerks Gösgen (KKG) sowie der beiden relativ nahe beieinander liegenden Standorte Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) sind zwei weitere Sonden installiert (bei Aarau und bei Laufenburg). Eine vierte Sonde überwacht das von IWB für die Trinkwasserversorgung der Stadt Basel aus dem Rhein entnommene Wasser. Damit befinden sich zwei Messsonden zwischen dem letzten Kernkraftwerk und der Trinkwasserentnahme in Basel. Die Aufgabe der 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 Strahlenschutzverordnung zu setzen. Für ^{137}Cs , ^{60}Co und ^{131}I ist diese 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 aufgrund der höheren Radiotoxizität bei 250 Bq/l. Bei Überschreitung der unteren Meldeschwelle wird die Sektion Umweltüberwachung am Bundesamt für Gesundheit (BAG) sowie die Nationale Alarmzentrale (NAZ) benachrichtigt. Das BAG verifiziert die Messwerte, 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. Eine jährliche von der NAZ organisierten Übung überprüft das Funktionieren des Alarmsystems. Die automatischen Messsonden sind komplementär zu den monatlichen Messungen der EAWAG (siehe Abbildung 1), die mit einer mehr als tausendmal tieferen Nachweisgrenze auch geringste Abgaben der Kernkraftwerke erfassen können (Kap. 4.4). Diese empfindlichen Messungen haben keine Alarmfunktion.

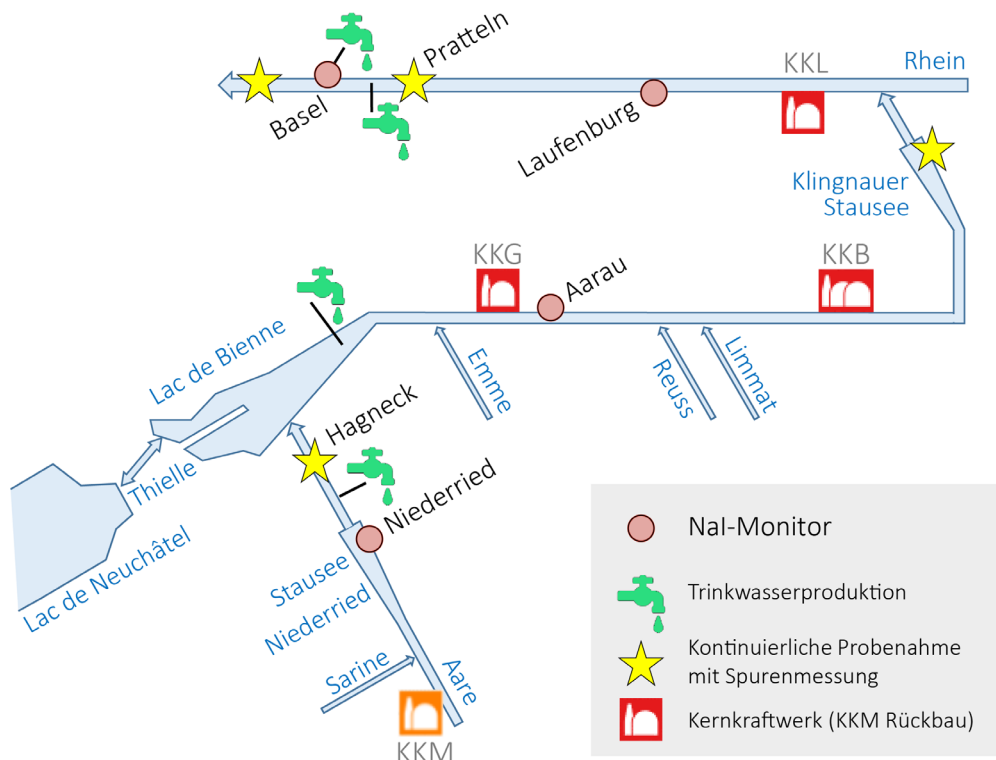


Abbildung 1 :

Einrichtungen zur Überwachung des Flusswassers flussabwärts der Kernkraftwerke: Nal-Sonden (BAG), EAWAG-Stationen für Spurenmessungen (Hagneck, Klingnau und Pratteln), Rheinüberwachungsstation RUS in Weil a.Rhein. Ebenfalls eingezeichnet sind Entnahmestellen von Trinkwasser (Bielersee: Biel; Rhein: Pratteln und Basel; Aare: Uferfiltrat vor Bielersee).

Messtechnik

Die eingesetzten Sonden enthalten 3“ Nal-Detektoren, welche im Wasser eine «Sichtweite» von rund einem Meter haben. Die Nal-Kristalle registrieren die Gammastrahlung und die Sonde zeichnet ein Energiespektrum auf. Alle 10 Minuten werden die Messwerte an die Messzentrale weitergeleitet. Am Ende einer vollen Stunde werden die sechs 10-Minuten-Spektren addiert und neu ausgewertet, was eine tiefere Nachweisgrenze ermöglicht (1 Bq/l für ^{137}Cs). Bei der Detektion von kleinsten Konzentrationen von ^{131}I muss manuell geprüft werden, ob verwendete Gammalinie von ^{131}I (Energie 364 keV) von der stärksten Linie des natürlichen ^{214}Pb (352 keV) beeinflusst ist. Ein Beitrag der ^{214}Pb Linie kann anhand der ^{214}Bi Linie bei 609 keV korrigiert werden, da die beiden Radontöchter im Gleichgewicht vorliegen.

Verfügbarkeit der Messsonden und Messergebnisse 2025

Die Verfügbarkeit der Sonden, d.h. das Vorhandensein von 10-Minuten-Spektren, ist in Tabelle 1 zusammengefasst. Generell sind diese Werte hoch. Werte von 99.9 % in der Tabelle bedeuten, dass die Sonden nur wenige Stunden im Jahr nicht einsatzbereit waren und zwar während

den jährlichen Messungen zur Konstanzprüfung, bei der Reinigung oder bei einem Austausch der Sonden. Der Zielwert für die Mindestverfügbarkeit des URAnet aqua Messnetzes ist so festgelegt, dass für die Stationspaare Aarau-Laufenburg, Laufenburg-Basel sowie für die Station Niederried (Station mit schnell einsetzbarer Ersatzsonde) während mehr als 99 % der Zeit mindestens eine Sonde in Betrieb sein muss. Obwohl die Sonde bei Laufenburg durch einen Defekt nach der Reinigung am 3.11. für neun Tage ausgefallen ist, ist das Kriterium für 2025 eingehalten, da die Sonden in Aarau und Basel während dieser Zeit gemessen haben. Bei den auf radenviro.ch publizierten Tagesmittelwerten ist der Anteil fehlender Werte etwas höher, als die in der Tabelle 1 genannten Uptime-Angaben. Der Grund dafür ist, dass die Sonde beim Fehlen eines einzigen 10-Minuten Wertes keinen Tagesmittelwert rechnet.

Die Nal-Detektoren des URAnet aqua Messnetzes konnten 2025 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. Das ist teilweise auch im Verlauf der Tagesmittelwerte auf radenviro.ch sichtbar.

Neue Messstation Chancy

Beim Stauwehr in Chancy-Pugny wurde im März 2025 eine neue Nal-Sonde installiert. Die kontinuierlichen Messungen dieser Sonde ersetzen die gammaspektrometrischen Messungen von eingedampften Monatsproben (ca. 5 L) im Labor, die bisher an der Bafu-Station Chancy, 1 km weiter flussabwärts, erhoben wurden. Am Standort Chancy, der stromabwärts des CERN liegt, wird das Rhonewasser überwacht, bevor es die Schweiz verlässt. Die neue Sonde sendet bei erhöhten Messwerten eine Nachricht direkt an die Sektion URA und ermöglicht dadurch ein viel schnelleres

Erkennen eines Ereignisses als bisher. Die Tritium-Messungen an den Monatsproben aus der Bafu-Station werden weitergeführt.

Im Mai war die Sonde in Chancy während 2 Woche nicht im Wasser, aufgrund des alle 4 Jahre stattfindenden "Abaissement partiel de Verbois", ein Absenken des Wasserspiegels der Rhone bei den Stauwehren, um Sedimente hinter der Verbois-Staumauer auszuspülen. Bei Chancy-Pugny sinkt der Wasserspiegel um rund 10 m. Die Sonde, die sonst 3 m unter Wasser ist, hing so einige Zeit in der Luft (Abbildung 2). Aufgrund mehrerer Pannen waren die Messungen zwischen Mitte Juli und Mitte Dezember grossenteils unterbrochen.

Tabelle 1:
Verfügbarkeit (Uptime) der Nal-Wassersonden 2025.

Station	Uptime	Inbetriebnahme	Bemerkung
Basel	99.9 %	Juli 2013	Sara-2 seit Januar 2024
Niederried	99.9 %	Juni 2014	Sara-2 seit Dezember.2023
Aarau	99.9 %	Juni 2014	Sara-2 seit März 2022
Laufenburg	97.1 %	Januar 2015	Sara-2 seit Januar 2024
Chancy	-	März 2025	Sara-2



Abbildung 2:
Die Nal-Sonde in Chancy ist oberhalb des Kraftwerks in einer Tiefe von normalerweise 3 m installiert. Während dem Absenken des Wasserstands der Rhone um Sedimente hinter der Verbois-Staumauer auszuspülen (APAVÉR 2025) hing die Sonde während gut 2 Wochen in der Luft.

4.6 Tritium-Monitoring

(Stadt Bern und Raum Leibstadt)

R. Purtschert, T. Wagner

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

Zusammenfassung

Im Jahr 2025 führte die Abteilung für Klima- und Umweltphysik (KUP) der Universität Bern das Tritium-Monitoring (^3H) in der Region Leibstadt und der Stadt Bern fort. Das Programm wurde 2017 im Auftrag der BKW Energie AG sowie des Kantons Bern mit Unterstützung des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) gestartet und lief in dieser Partnerschaft bis Ende 2019.

Von Januar 2020 bis Juni 2024 wurde das Monitoring durch BAG und KUP in reduzierter Form weitergeführt. Seit Mitte 2024 umfasst es Messungen von Zweitagesproben des Rheins im Raum Leibstadt sowie von Niederschlagsproben vom Dach des Physikalisches Instituts der Universität Bern.

Hintergrund

Tritium (^3H) gehört zu den Radionukliden, die in der Schweiz durch das Bundesamt für Gesundheit (BAG) überwacht werden.

Im Zusammenhang mit der Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg (KKM) am 20.12.2019 bestand, unter anderem gestützt auf die Richtlinien des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (ENSI, 2014; Art. 4.5 und 5.4.4), der Bedarf, die Tritiumkonzentration in der Aare mit hoher zeitlicher Auflösung zu erfassen.

Zur Charakterisierung des Zustands der Fließgewässer vor der Stilllegung führte die Abteilung für Klima- und Umweltphysik (KUP) von Anfang 2017 bis Ende 2019 ein entsprechendes Messprogramm durch. Dieses diente als Referenz, um mögliche spätere Veränderungen zuverlässig detektieren zu können.

Dabei wurden jährlich mehr als 900 Wasserproben auf Tritium analysiert.

Probenahmen

Im Jahr 2025 wurden im Rahmen dieses Monitorings die folgenden Standorte beprobt:

- Dach des Physikalisches Instituts der Universität Bern (Monatsproben)
- Rhein flussabwärts vom Kernkraftwerk Leibstadt (Zweitagesproben)

Im Einzelnen wurden im Jahr 2025 folgende Proben gemessen:

Tabelle 1:

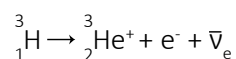
Anzahl durchgeführter Tritium-Messungen Januar bis Dezember 2025 nach Art oder Entnahmeort der Probe

Art oder Entnahmeort der Probe	Anzahl
Niederschlag Physikalisches Institut	12
Rhein flussabwärts vom KKL	187
Standards/NulleffektVergleichsmessungen	42
Total: 241	

Die regelmässigen Probenahmen aus dem Rhein flussabwärts des KKL erfolgten mittels eines automatischen Probenehmers (Typ ISCO 6712). Das Gerät entnimmt in festen Zeitabständen kleine Mengen Flusswasser und füllt diese in Probeflaschen ab, sodass jede Flasche eine Mischprobe über ein 48-Stunden-Intervall repräsentiert.

Nachweis und Messung des Tritiumgehalts

Der Tritiumgehalt der Wasserproben wurde indirekt über den radioaktiven Zerfall des enthaltenen Tritiums bestimmt. Tritiumkerne sind instabil und zerfallen mit einer Halbwertszeit von 4500 ± 8 Tagen (12.32 Jahren) unter Emission eines Elektrons und eines Antineutrinos in das Heliumisotop ^3He (β^- -Zerfall):



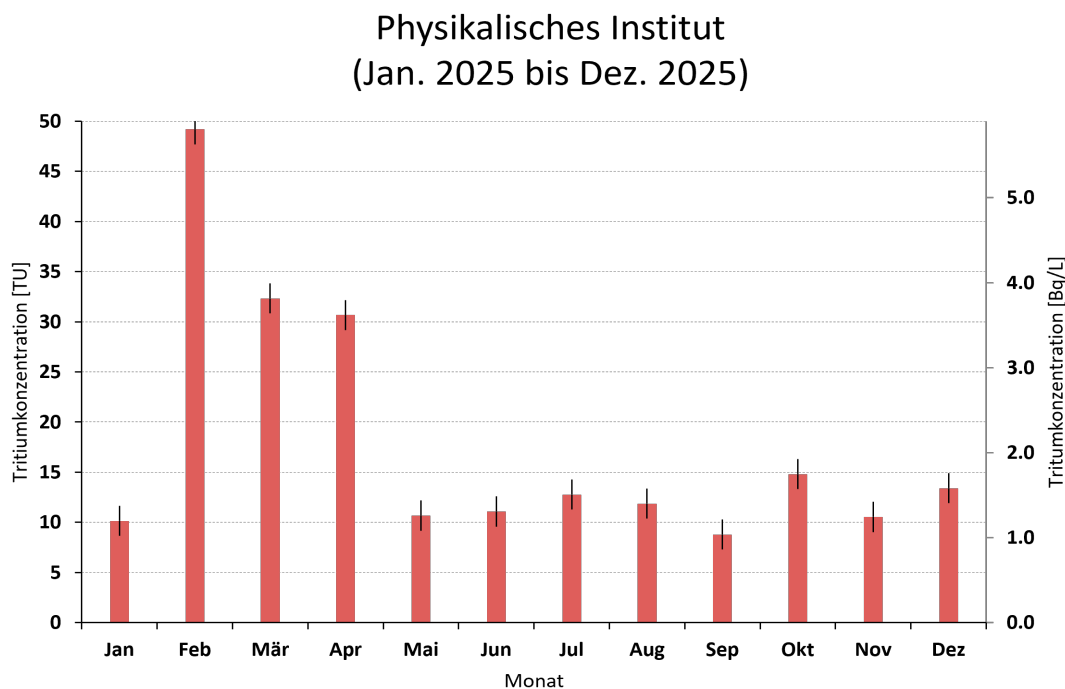
Zum Nachweis der in den Wasserproben emittierten Elektronen wurde, wie in den Vorjahren, ein Flüssigszintillationsmessgerät (Typ Aloka LSC-LBIII) eingesetzt. Dieses ist im Tieflabor des Physikalischen Instituts der Universität Bern installiert.

Die Nachweisgrenze beträgt ca. 4 Tritium Units (TU; entsprechend 0.5 Bq/L), sodass auch die natürliche Hintergrundaktivität von ^3H im Niederschlag zuverlässig erfasst werden kann.

Messergebnisse Januar bis Dezember 2025

Standort Physikalisches Institut, Stadt Bern (Regenwasser)

Aufgrund lokaler gasförmiger Emissionen, insbesondere durch die Firma mb-microtec in Niederwangen, ist die Tritiumkonzentration im Niederschlag im Raum Bern generell höher als an anderen Standorten in der Schweiz. Die im Jahr 2025 analysierten Monatsproben wurden auf dem Dach des Physikalischen Instituts der Universität Bern gesammelt. Die gemessenen Werte lagen insgesamt deutlich unter den Maximalwerten der Vorjahre. Der höchste Messwert betrug 49 TU (5.8 Bq/L) und wurde im Februar registriert.



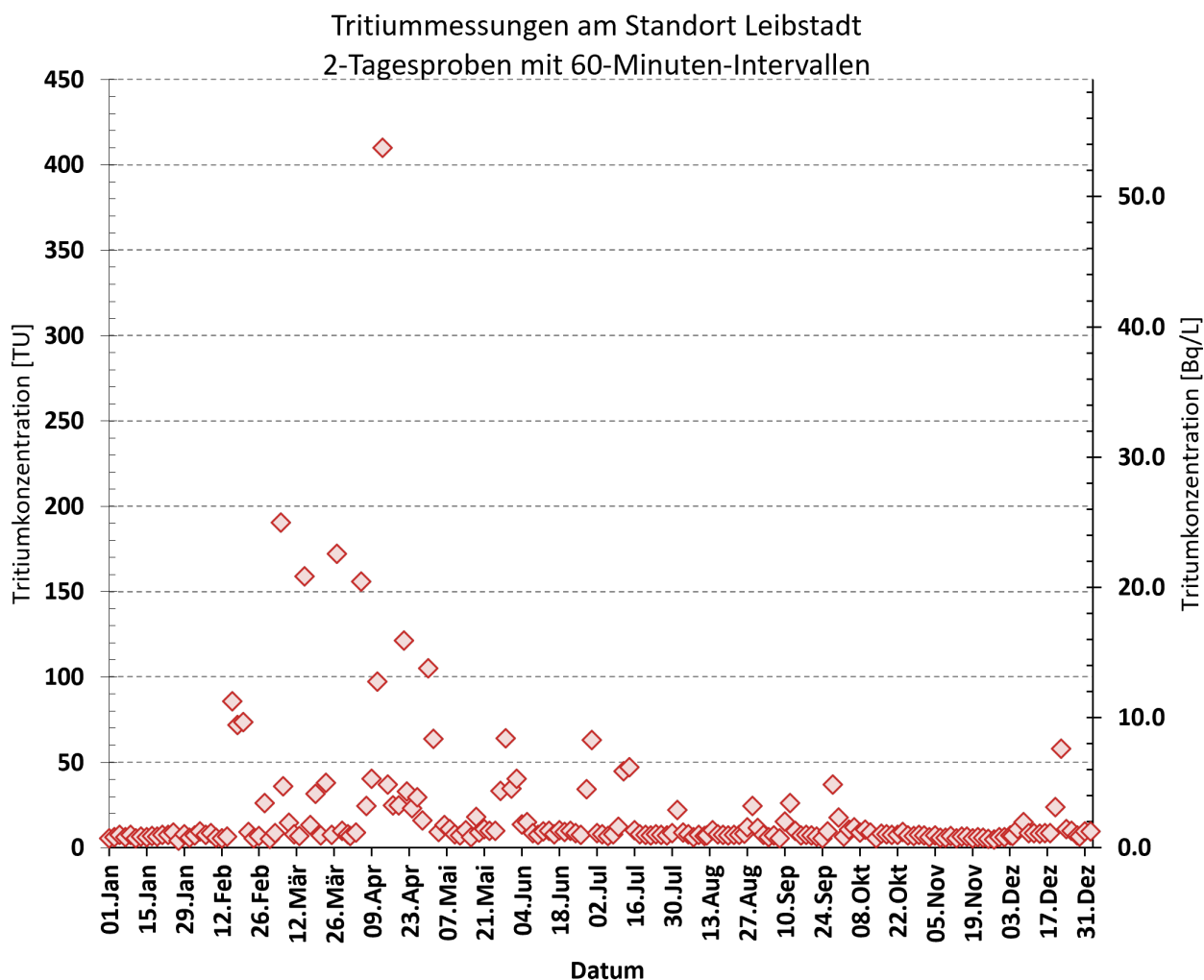
Figur 1 :

Tritium-Messwerte des Regenwassers vom Dach des Physikalischen Instituts der Universität Bern (Monatsproben).

Standort Leibstadt (Rhein)

Zur Bestimmung des Tritiumgehalts des Rheins im Jahresverlauf sowie vor, während und nach dem Revisionsstillstand wurde stromabwärts des Kernkraftwerks Leibstadt (KKL) ein automatischer Probennehmer betrieben. Es wurden Zweitagesproben mit einem Sammelintervall von jeweils 60 Minuten entnommen. Die Probenahme begann am 24.04.2024 und wird seither kontinuierlich fortgeführt.

In früheren Jahren traten die Höchstwerte im Zusammenhang mit dem Revisionsstillstand auf und lagen bei etwa 100 TU, entsprechend rund 12 Bq/L. Im Jahr 2025 wurde dieser Wert mehrfach überschritten. Der höchste Messwert betrug 410 TU, entsprechend 48 Bq/L. Dieser Wert wurde Mitte April 2025 registriert, also bereits zwei Wochen vor dem Revisionsstillstand, welcher vom 28.04.2025 bis 27.05.2025 stattfand (Figur 2).



Figur 2 :

Tritium-Messwerte im Rhein stromabwärts vom Kernkraftwerk Leibstadt Revisionsstillstand: 28.04.2025 bis 27.05.2025.

4.7 Radioactivité du sol et de l'herbe

P.-A. Pittet, C. Pilloud, P. Froidevaux, R. Cusnir, M. Straub

Institut de radiophysique, CHUV, Grand Pré 1, Lausanne

S. Estier, P. Steinmann, A. Gurtner

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

A. Pregler

Laboratoire Cantonal de Bâle, Kannenfeldstr. 2, Basel

R. Gosteli, S. Rölli, S. Kradolfer, R. Althaus, H. Sahli, J. Corjo Alvarado, C. von Gunten, M. Stauffer

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 réalisés en atmosphère jusque dans les années soixante ainsi qu'aux retombées de l'accident de Tchernobyl.

Introduction

Le ^{90}Sr et le ^{137}Cs ont été largement dispersés dans l'environnement à la suite des essais nucléaires des années soixante. Une dissémination supplémentaire de ^{137}Cs a été causée par 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 biologiques, 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 [1] et les dents [2]. La mesure du ^{90}Sr dans des échantillons de sol, d'herbe, de céréales, de lait, de vertèbres et de dents de lait est effectuée en Suisse depuis les années soixante. La Figure 3 du chapitre 1.1 illustre l'évolution des moyennes annuelles obtenues depuis plus de soixante ans pour chaque type d'échantillon correspondant à un compartiment de l'environnement. Après avoir atteint des valeurs maximales au milieu des années soixante, une décroissance continue de l'activité en ^{90}Sr est observée depuis l'arrêt des essais nucléaires atmosphériques. L'utilisation de ces données expérimentales a permis de montrer que les demi-

vies biologiques de ce radioélément dans chacun des compartiments étaient très similaires, avec une demi-vie moyenne de 13.1 ± 2 ans [3]. Le ^{137}Cs passe également du sol aux végétaux et rejoint la chaîne alimentaire. Contrairement au ^{90}Sr , il se retrouve principalement dans les tissus musculaires des vertébrés et éliminé plus rapidement que le strontium. Les essais nucléaires atmosphériques ont également conduit à une dissémination de plutonium, présent sous la forme des isotopes 238, 239, 240 et 241. La décroissance relativement rapide du ^{241}Pu ($T_{1/2} = 14.4$ ans) est à l'origine de la présence de ^{241}Am dans les dépôts des retombées radioactives. Ces actinides, au contraire du césium et du strontium, sont peu mobilisables et se retrouvent principalement dans les sols.

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 0.6 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 0.21 Bq/kg pour le plutonium et à 0.10 Bq/kg pour l'américium sur le plateau suisse et des valeurs plus élevées pour les sites en altitude, ainsi qu'au sud des Alpes où 0.596 Bq/kg de plutonium et 0.290 Bq/kg d'américium ont été mesurés à Stabio.

Les rapports $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ (voir le chapitre 7.2) confirment que cette contamination est due aux essais nucléaires des années soixante. Les activités en ^{90}Sr et des actinides mesurées sur les sites à proximité des installations nucléaires ne sont pas significativement différentes de celles mesurées sur les autres sites du Plateau (Posieux, Arenenberg et Güttingen). Ceci indique l'absence d'un nouvel apport de ces radioéléments par ces installations et est confirmé par la Figure 1 qui montre la lente mais constante diminution de l'activité moyenne en ^{90}Sr dans les sols suisses au cours des 25 dernières années.

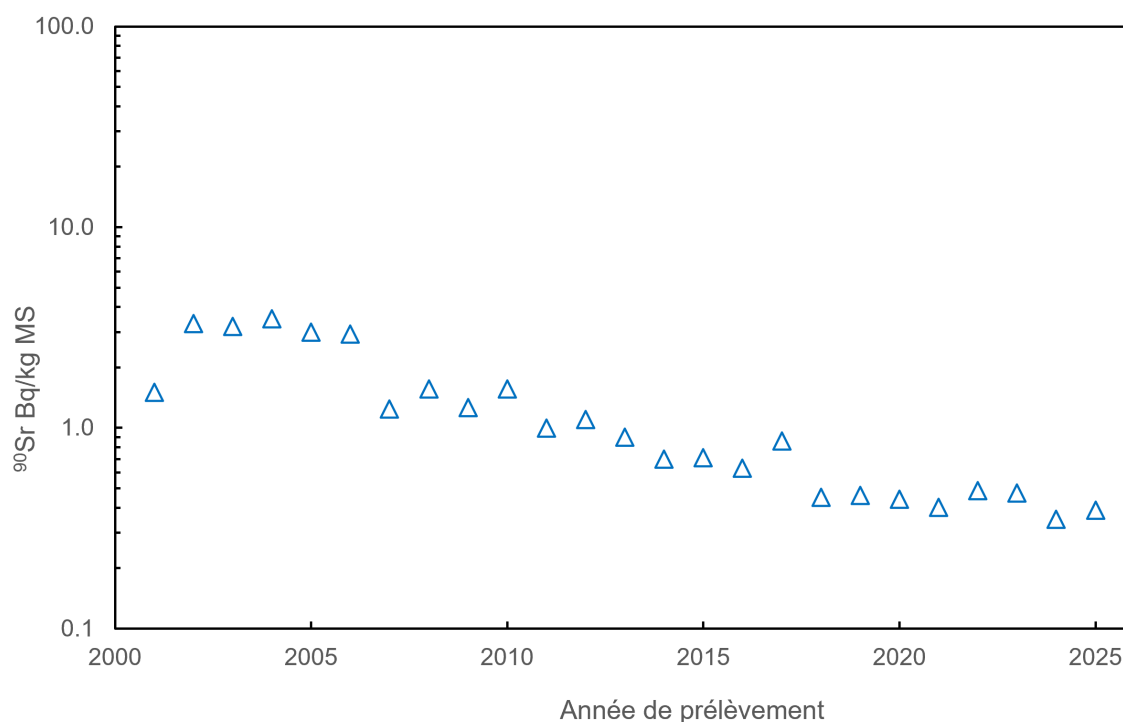


Figure 1

Evolution de l'activité moyenne en ^{90}Sr dans les sols suisses au cours de la période 2001 - 2025.

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 s'étant produites 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, de 14 à 183 Bq/kg. Le passage du nuage de Tchernobyl ayant également touché le nord-est de la Suisse, la valeur relevée à Arenenberg (15 Bq/kg) est supérieure à celles obtenues sur les autres sites du plateau suisse (4 à 13 Bq/kg). Toutes les activités mesurées sont toutefois restées dans la gamme des valeurs habituellement observées sont en constante décroissance depuis l'accident de Tchernobyl, comme l'illustre la Figure 2.

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 décelée. Enfin, c'est pour le ^{40}K , un des trois isotopes constituant le potassium naturel, que l'activité mesurée est la plus élevée. Ces résultats, obtenus à partir des mesures effectuées en laboratoire, sont en accord avec les mesures in-situ (voir aussi le chapitre 3.1), qui permettent une évaluation directe de la présence d'émetteurs gamma tels que le ^{137}Cs .

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.

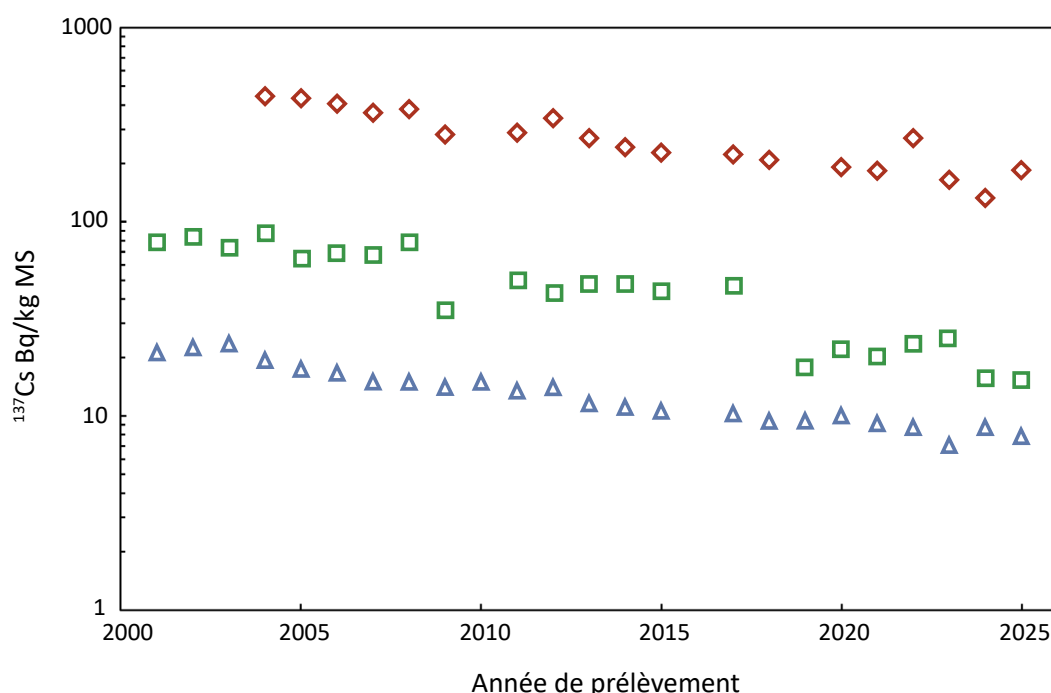


Figure 2

Evolution de l'activité en ^{137}Cs dans les sols suisses au cours de la période 2001-2025. Arenenberg (□), Stabio (◇) et valeur moyenne (Δ) pour le plateau suisse (KKB, PSI, ZWILAG, KKL, KKG, KKM, Posieux, CERN).

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 en ^{90}Sr de l'herbe est principalement fonction de celle du sol, les valeurs les plus importantes étant observées en altitude (0.7 - 7.3 Bq/kg) et au Tessin (1.2 à 5.7 Bq/kg), tandis que pour les échantillons collectés sur le plateau, les activités en ^{90}Sr ne dépassent pas 1 Bq/kg. Les activités en ^{137}Cs sont inférieures à 3.1 Bq/kg ou carrément non quantifiables, sauf sur le site de Centovalli, où l'activité atteint 53 Bq/kg.

Conclusions

Les mesures de la radioactivité dans les sols et les herbes en Suisse en 2024 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. La distribution du plutonium et de l'américium dans les sols dépend également de la localisation et suit celle du ^{90}Sr .

Un marquage assez important en ^{137}Cs dans des échantillons de sol et d'herbe de certains sites de prélèvement du Tessin est encore observé presque quarante ans après l'accident de Tchernobyl.

Références

- [1] Froidevaux, P. 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
- [2] Froidevaux, P.; Geering, J.-J.; Valley, J.-F. ^{90}Sr in deciduous teeth from 1950 to 2002: The Swiss experience. *Sci. Total Environ.* 2006, 367, 596
- [3] Froidevaux, P. et al., Radionuclides in the Environment in Switzerland: A Retrospective Study of Transfer from Soil to the Human Body. *Chimia* 2020, 74, 984-988.
- [4] Froidevaux, P. et al., chap. 4.6 de "Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnement en Suisse", 2005, OFSP.

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 2025 (Bq/kg matière sèche, fraction < 2 mm).

Canton / Lieu	n	^{40}K	^{60}Co	^{134}Cs	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$	^{241}Am
AG (Voisinage KKB)	2	425 ± 24	<0.9	<0.7	9.7 ± 0.8	0.28 ± 0.09	0.124 ± 0.012	0.050 ± 0.005
AG (KKB in-situ)	2	310 ± 23			5.6 ± 0.5			
AG (PSI)	1	418 ± 33	<0.5	<0.4	8.7 ± 0.8	0.30 ± 0.09	0.142 ± 0.021	0.057 ± 0.005
AG (PSI in-situ)	1	283 ± 30			4.8 ± 0.7			
AG (ZWILAG)	1	444 ± 35	<0.8	<0.7	10.2 ± 1.1	0.54 ± 0.12	0.169 ± 0.014	0.081 ± 0.007
AG (ZWILAG in-situ)	1	310 ± 32			6.3 ± 0.7			
AG (Vois. KKL)	4	411 ± 16	<0.8	<0.7	9.6 ± 0.4	0.58 ± 0.15	0.205 ± 0.022	0.091 ± 0.008
AG (KKL in-situ)	4	313 ± 16			6.4 ± 0.5			
AG/SO (Vois. KKG)	4	452 ± 17	<0.6	<0.5	9.7 ± 0.5	0.42 ± 0.09	0.155 ± 0.015	0.099 ± 0.008
AG/SO (KKG in-situ)	4	307 ± 16			5 ± 0.4			
BE (Voisinage KKM)	7	678 ± 19	<0.8	<0.7	6.2 ± 0.3	0.44 ± 0.12	0.156 ± 0.012	0.068 ± 0.006
BE (KKM in-situ)	7	520 ± 20			4 ± 0.3			
BE (Mürren) ¹⁾	1	380 ± 34	<0.5	<0.5	30.3 ± 3.6	7.6 ± 1.1	1.30 ± 0.04	0.66 ± 0.12
BE (Gimmelwald)	1	295 ± 28	<0.4	<0.5	10.3 ± 1.3	2.2 ± 0.3	0.45 ± 0.02	0.19 ± 0.05
BE (Fahrni) ²⁾	1	430 ± 37	<0.4	<0.5	9.1 ± 1.1	1.9 ± 0.3	0.04 ± 0.02	0.21 ± 0.05
BE (Diesse/Jura)	1	410 ± 36	<0.4	<0.5	11.6 ± 1.4	1.1 ± 0.2	0.4 ± 0.01	0.23 ± 0.06
BL (Sissach)	1	557 ± 28	<0.03	<0.03	13.3 ± 0.7	2.0 ± 0.8		
FR (Posieux)	1	411 ± 32	<0.6	<0.5	4.3 ± 0.6	0.52 ± 0.13	0.197 ± 0.028	0.091 ± 0.007
FR (Posieux, in-situ)	1	364 ± 38			3.8 ± 0.6			
GE (Vois. CERN)	5	443 ± 11	<0.8	<0.6	4.7 ± 0.2	0.29 ± 0.11	0.113 ± 0.011	0.046 ± 0.005
GE (CERN in-situ)	5	318 ± 11			2.8 ± 0.2			
TG (Arenenberg)	1	439 ± 35	<0.8	<0.6	14.6 ± 1.4	0.20 ± 0.07	0.129 ± 0.017	0.056 ± 0.005
TG (Arenenberg in situ)	1	296 ± 31			11.7 ± 1.3			
TG (Güttingen)	1	338 ± 28	<0.8	<0.6	12.6 ± 1.2	0.33 ± 0.09	0.143 ± 0.021	0.065 ± 0.006
TG (Güttingen in-situ)	1	257 ± 37			8.4 ± 1			
TI (Centovalli)	1	506 ± 19	<0.15	<0.16	181 ± 19	12.5 ± 5.0		
TI (Prato Leventina)	1	506 ± 19	<0.15	<0.13	14.1 ± 0.8	5.0 ± 2.0		
TI (Sessa)	1	586 ± 20	<0.11	<0.12	42.4 ± 1.6	5.3 ± 2.0		
TI (Cadenazzo)	1	700 ± 52	<0.6	<0.5	69.7 ± 5.3	0.85 ± 0.19	0.114 ± 0.013	0.066 ± 0.007
TI (Cadenazzo in-situ)	1	520 ± 53			31.9 ± 3.3			
Ti (Caslano)	1	613 ± 45	<0.7	<0.6	61.1 ± 4.7			
Ti (Caslano in-situ)	1	508 ± 52			36.5 ± 3.8			
TI (Stabio)	1	636 ± 39	<0.5	<0.5	183.1 ± 11.7	1.08 ± 0.23	0.596 ± 0.041	0.290 ± 0.019
TI (Stabio in-situ)	1	477 ± 49			83.9 ± 8.5			

n = nombre d'échantillons; ¹⁾ alpage (Allmendhubel, 1'900 m); ²⁾ 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 2025 lors de deux saisons (printemps et automne) de coupe (Bq/kg de matière sèche).

Canton/Lieu	n	^7Be	^{40}K	^{60}Co	^{134}Cs	^{137}Cs	^{90}Sr
AG (Voisinage KKB)	4	89 ± 6	679 ± 27	<1.5	<1.5	< 1.5	0.41 ± 0.10 ³⁾ 0.62 ± 0.14 ⁴⁾
AG (PSI)	2	89 ± 8	562 ± 34	<1.1	<1.0	< 1.0	0.40 ± 0.09 ³⁾ 0.36 ± 0.09 ⁴⁾
AG (ZWILAG)	2	135 ± 11	804 ± 48	<1.6	<1.3	< 1.5	0.95 ± 0.20 ³⁾ 1.01 ± 0.22 ⁴⁾
AG (Voisinage KKL)	8	87 ± 4	747 ± 21	<1.3	<1.0	3.1 ± 0.7 (n=1) <1.2 (n=7)	0.50 ± 0.12 ³⁾ 0.62 ± 0.15 ⁴⁾
AG/SO (Voisinage KKG)	8	129 ± 5	750 ± 21	<1.2	<1.4	<0.9	0.38 ± 0.09 ³⁾ 0.52 ± 0.11 ⁴⁾
BE (Voisinage KKM)	8	96 ± 8	988 ± 27	<1.3	<1.3	<1.3	0.34 ± 0.08 ³⁾ 0.66 ± 0.14 ⁴⁾
BE (Lauterbrunnen)	1	20 ± 4.4	490 ± 41	<0.4	<0.4	1.02 ± 0.4	1.2 ± 0.3
BE (Mürren) ¹⁾	1	106 ± 15	840 ± 71	<0.3	<0.2	<0.3	7.3 ± 1.3
BE (Gimmelwald)	1	213 ± 30	500 ± 42	<0.3	<0.2	<0.2	2.1 ± 0.4
BE (Fahrni) ²⁾	2	256 ± 65	870 ± 105	<0.5	<0.3	<0.3	1.8 ± 1.7
BE (Diesse/Jura)	2	152 ± 32	990 ± 118	<0.4	<0.3	<0.3	0.7 ± 0.7
BL (Sissach)	1	165 ± 11	1177 ± 52	<0.2	<0.2	< 0.2	0.72 ± 0.29
FR (Posieux)	2	263 ± 22	1003 ± 55	<1.0	<0.9	< 0.9	0.30 ± 0.07 ³⁾
GE (Voisinage CERN)	4	287 ± 13	647 ± 26	<1.4	<1.0	< 1.1	0.83 ± 0.17 ⁴⁾
TG (Güttingen)	2	96 ± 9	947 ± 53	<1.6	<1.3	< 1.3	0.43 ± 0.09 ³⁾
TI (Centovalli)	1	97 ± 7	336 ± 18	<0.06	<0.06	53.12 ± 2.75	5.68 ± 2.25
TI (Prato Leventina)	1	71 ± 5	904 ± 39	<0.08	<0.07	2.28 ± 0.22	1.57 ± 0.62
TI (Sessa)	1	207 ± 15	597 ± 32	<0.15	<0.13	0.27 ± 0.29	1.21 ± 0.48
TI (Cadenazzo)	2	118 ± 10	948 ± 54	<1.2	<1.1	< 1.3	2.69 ± 0.53 ³⁾
Ti (Stabio)	1	164 ± 15	474 ± 37	<0.7	<0.6	2.6 ± 0.5	

n = nombre d'échantillons; ¹⁾ alpage (Allmendhubel); ²⁾ bord des Alpes, 850 m; ³⁾ coupe de printemps; ⁴⁾ coupe d'automne, ⁵⁾ fourrage en hiver.

5. Radioactivité dans l'alimentation

Radioaktivität in Lebensmitteln

P. Steinmann, S. Estier

Sektion Umweltradioaktivität, URA / BAG, Bern
mit Daten und Angaben von:

A. Pregler

Kantonales Laboratorium, Basel

C. Gemperle

Amt für Verbraucherschutz, Aarau

S. Nussbaumer, F. Stöht

Kantonales Laboratorium, Bern

R. Brogioli

Amt für Lebensmittelkontrolle und
Verbraucherschutz, Luzern

D. Baumann, S. Schmid

Amt für Lebensmittelsicherheit und
Tiergesundheit, Chur

N. Forrer, M. De Rossa, G. Visconti

Laboratorio Cantonale, Bellinzona

S. Reber

Kantonales Labor, Zürich

R. Cusnir, P. Froidevaux, P.-A. Pittet, M. Straub

Institut de Radiophysique, Lausanne

G. Ferreri, A. Gurtner

Sektion Umweltradioaktivität, URA/BAG, Bern

Zusammenfassung

Insgesamt wurden 2025 rund 230 Lebensmittelproben aus der Schweiz (Spezialkampagnen für Wildschweine nicht mitgezählt) sowie rund 70 importierte Lebensmittel auf Radioaktivität untersucht. Die Analysen fanden im Rahmen des BAG Probenahmeplans und von kantonalen Messkampagnen statt. In den Hauptnahrungsmitteln waren die künstlichen Radionuklide ^{137}Cs , ^{90}Sr und Tritium wie erwartet nur in Spuren nachweisbar. Bei 2.5 % der untersuchten Wildschweine aus dem Tessin lag der ^{137}Cs -Gehalt über dem Grenzwert von 600 Bq/kg. Damit war der Anteil konfiszierter Wildschweine vergleichbar mit den Vorjahren. Auch bei Wildpilzen konnte in einer Probe eine Überschreitung des Grenzwertes für ^{137}Cs festgestellt werden (688 Bq pro kg Frischgewicht). Eine Milchprobe aus dem Tessin zeigte immer noch messbare Spuren von ^{137}Cs (17 Bq/l).

Bei den importierten Lebensmitteln waren die festgestellten Konzentrationen künstlicher Radionuklide im allgemeinen sehr tief. Auch hier zeigten Pilze und Wildbeeren die höchsten ^{137}Cs -Aktivitätskonzentrationen (Maxima : 61 Bq/kg, bzw. 310 Bq/kg). Bei allen anderen Proben waren die Konzentrationen von künstlichen Radionukliden sehr tief.

Ausser bei den 10 Wildschweinproben und der Wildpilzprobe wurden keine Grenzwertüberschreitungen festgestellt.

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 Gammaskpektrometrie 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. Informationen zu den Messungen der KL finden sich auch in deren Tätigkeitsberichten (siehe www.kantonschemiker.ch).

Höchstwerte für Lebensmittel

Die wichtigsten Höchstwerte für Radionuklide in Lebensmitteln sind in Tabelle 1 zusammengefasst. In der Schweiz gilt für Lebensmittel (einheimische Produkte und Importe), die aufgrund des Reaktorunfalls in Tschernobyl (1986) kontaminiert sind die Tschernobyl-Verordnung.

Die in der Kontaminantenverordnung (VHK) festgehaltenen Höchstwerte würden nach einem radiologischen Unfall zur Anwendung kommen.

In der Trinkwasserverordnung (TBDV) übernimmt die Schweiz Richtwerte für Radioaktivitätsparameter aus der Richtlinie 2013/51/ EURATOM für Trinkwasser.

Für die vergleichende Einordnung der Radioaktivität in Lebensmitteln bieten sich die abgeleiteten Konzentrationen (AK) aus der Trink-, Dusch- und Badewasserverordnung (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	125 ^a	125	125	750	7'500
	TBDV AK	-	4.9	-	-	-	-
Summe der Iod-Isotope insbesondere ¹³¹ I	VHK HG	150	500 ^a	500	500	2'000	20'000
	TBDV AK	-	6.2	-	-	-	-
Summe Plutonium- und Transplutonium isotope	VHK HG	1	20 ^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	1'000 ^a	1'000	1'000	1'250	12'500
	Japan HG	50	10	50	10 ^b	100 ^c	100
	TBDV AK	-	11	-	-	-	-
³ H, ²²² Rn	TBDV PW	-	100	-	-	-	-
Gesamtdosis	TBDV PW	-	0.1 mSv/a ^d	-	-	-	-

VHK: Kontaminantenverordnung, 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 aus der Gesamtdosis abgeleiteten Konzentrationen (AK). Eine Überschreitung erfordert weitere Abklärungen.

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

HG: Höchstgrenzen.

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

^{a)} Mit der Revision vom 1.7.2020 gelten Höchstwerte der VHK auch für Trinkwasser.

^{b)} Für Tee gilt ein Zubereitungsfaktor von 50, d.h. die Höchstgrenze für getrocknete Teeblätter ist 500 Bq/kg.

^{c)} Für Pilze gilt ein Rekonstitutionsfaktor von 5, d.h. die Höchstgrenze für getrocknete Pilze ist 500 Bq/kg.

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

Ergebnisse der Überwachung der Lebensmittel aus der Schweiz

¹³⁷Cs, ¹³¹I und ⁹⁰Sr in Milch

2025 wurden rund 135 Milchproben gamma-spektrometrisch analysiert. Für ¹³⁷Cs waren die meisten Werte tiefer als die Nachweisgrenze, die zwischen 0.02 Bq/l und 1 Bq/l lag. Ein einziger Messwert war grösser als 2 Bq/l. Er wurde bei einer Probe aus dem Centovalli festgestellt (17 Bq/l). Solche leicht erhöhten Werte in der Nähe des Parameterwertes für Trinkwasser (11 Bq/l) sind in den letzten Jahren sporadisch in Proben aus dem Tessin oder den Bündner Südtälern immer wieder aufgetreten. Diese geringfügig erhöhten Werte sind immer noch eine Folge der hohen ¹³⁷Cs-Depositionen nach dem Unfall von Tschernobyl in der Südschweiz. Alle Werte liegen deutlich unterhalb der Höchstgrenze von 370 Bq/l aus der Tschernobyl-Verordnung. ¹³¹I konnte 2025 in keiner Milchprobe nachgewiesen werden (Nachweisgrenze meist < 1 Bq/l oder tiefer). Das KL-BS, das IRA in Lausanne und das LABOR SPIEZ untersuchten insgesamt 78 Milchproben auf ⁹⁰Sr. Alle gemessenen Werte waren sehr tief mit einem Maximum von 0.23 Bq/l und einem Median von < 0.05 Bq/l. Als Vergleich können wir die abgeleitete Konzentration aus der TBDV (4.9 Bq/l) oder auch den in Japan gültigen Höchstwert (50 Bq/l) heranziehen.

¹³⁷Cs und ⁹⁰Sr in Getreide, Obst und Gemüse

Bei 19 Getreideproben und 42 Gemüse- und Obstproben aus der Schweiz konnte ¹³⁷Cs nicht nachgewiesen werden (Nachweisgrenzen typischerweise 1 Bq/kg). Ein Unterschied zwischen Proben aus der Umgebung der Kernkraftwerke und aus davon entfernten Gebieten konnte nicht festgestellt werden.

Die ⁹⁰Sr Werte der Getreideproben (n=17), sowohl aus der Umgebung von Kernkraftwerken als auch aus entfernten Gebieten, variierten zwischen 0.01 und 0.29 Bq/kg Frischgewicht; mit Durchschnitt = 0.10 Bq/kg. Diese tiefen, mit den Vorjahren vergleichbaren Werte sind noch Folgen der Kontamination mit ⁹⁰Sr aus den Atombombentests in den frühen 60er-Jahren. Die Werte liegen deutlich unter den in der VHK vorgesehenen Höchstwerten und auch unterhalb der aus dem Parameterwert abgeleiteten Konzentration für ⁹⁰Sr von 4.9 Bq/l aus der Trinkwasserverordnung (siehe Tabelle 1).

Sechs Gemüse- und Obstproben aus der Umgebung des KKL zeigten ⁹⁰Sr-Spuren zwischen 0.01 und 0.07 Bq/kg Frischgewicht. Neun Gemüseproben aus dem Kanton Waadt befanden sich in einem Bereich zwischen 0.01 und 0.20 Bq/kg ⁹⁰Sr.

Tritium (³H) in Obst und Milch

Die genehmigten Abgaben an die Umwelt der Firma mbmicrotec in Niederwangen verursachen lokal erhöhte Tritiumwerte im Niederschlag (siehe Kapitel 9.3). 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 2025 ergaben im Vergleich mit dem Vorjahr nur eine schwache Markierung mit Tritium im Destillat (13 Proben; Mittelwert: 4 Bq/l, Maximum 6 Bq/l). Die ebenfalls nur leicht erhöhte ³H-Aktivität der Milch aus der Umgebung des genannten Betriebes (3 bzw. 5 Bq/l im Destillat von zwei Milchproben) ist auf die Aufnahme von ³H aus lokalen Futtermitteln zurückzuführen.

In 8 Milchproben aus der Umgebung des KKW Mühleberg konnten keine Werte > 5 Bq/l Tritium nachgewiesen werden. Für Tritium gibt es für diese Art Proben keinen gesetzlichen Höchstwert. Der Vergleich mit dem für Trinkwasser geltenden Parameterwertes für Tritium von 100 Bq/l zeigt, dass alle untersuchten Gemüse-, Obst- und Milchproben darunter liegen.

¹³⁷Cs in Wildschweinen

Der Kanton Tessin hat die in Zusammenarbeit mit dem BAG eingeführten Triagemessungen an Wildschweinen mit einem empfindlichen Dosisleistungsmessgerät im Jahr 2025 weitergeführt. Tiere, bei denen die Triagemessung (Dosisleistung) vor Ort einen zu hohen Wert anzeigte, wurden konfisziert. Dies war bei 10 von 409 untersuchten Tieren der Fall. Das entspricht, ähnlich wie in den letzten Jahren, einer Quote von ca. 2.5 %. Bei diesen Tieren liegt die ¹³⁷Cs Konzentration im Fleisch über dem Grenzwert aus der Tschernobylverordnung von 600 Bq/kg. Nachmessungen der Proben (Zunge) im Labor ergaben einen Höchstwert von 6'680 Bq/kg ¹³⁷Cs.

Andere Lebensmittel aus der Schweiz

In je einer Fischprobe aus dem Rhein und dem Bielersee wurden keine ¹³⁷Cs Aktivitätskonzentrationen von mehr als 1 Bq/kg Frischgewicht festgestellt. In den Proben werden auch die Aktinide Plutonium, Americium und Curium gemessen; die Aktivitätskonzentrationen lagen unterhalb von 1 mBq/kg Frischgewicht. Für die Summe der Aktinide (Pu und Am) würde bei Anwendung der VHK ein Grenzwert von 80'000 mBq/kg gelten.

Eine grössere Kampagne zu Pilzen hat das KL-TI durchgeführt. Bei den 48 untersuchten Proben betrug der Mittelwert für ¹³⁷Cs 110 Bq/kg mit einem Maximalwert von 668 Bq/kg bei einem Reispilz.

Diese eine Probe zeigt, dass auch bei einheimischen Wildpilzen der Grenzwert von 600 Bq/kg aus der Tschernobylverordnung ausnahmsweise noch immer überschritten werden kann.

Da solche Befunde heute aber selten sind und der Konsum von Wildpilzen insgesamt eher klein ist, entsteht dadurch keine Gefährdung der Gesundheit.

In 13 Proben von Joghurt und ähnlichen Milchprodukten konnte das KL-BS weder ^{137}Cs noch ^{90}Sr nachweisen. In 12 Trinkwasserproben hat das KL-BS erwartungsgemäss keine künstlichen Radionuklide nachweisen können.

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 72 importierte Lebensmittel geprüft.

Das KL-ZH untersuchte 15 importierte Beerenproben gammaspektrometrisch. Zwei davon zeigten etwas erhöhte ^{137}Cs Aktivitäten (81 und 310 Bq/kg). Hingegen enthielten 10 Proben von Kopffüßern (Calamares, Sepia und Pulpo) kein detektierbare Mengen dieses Isotopes. Bei 21 Proben von importierten Pilzen liessen war die durchschnittliche ^{137}Cs Aktivitätskonzentration tief (12 Bq/kg) und auch das Maximum (61 Bq/kg) deutlich unterhalb des Grenzwertes der Tschernobyl-Verordnung (600 Bq/kg).

Das KL-BS analysierte 17 Proben von importiertem Fleisch von Wild und konnten teilweise tiefe ^{137}Cs Aktivitätskonzentrationen nachweisen (< 17 Bq/kg).

Grenzwertüberschreitungen sind damit bei den importierten Lebensmitteln im Berichtsjahr 2025 nicht aufgetreten.

Bewertung der künstlichen Radionuklide

Der Grenzwert für ^{137}Cs der Tschernobyl-Verordnung (600 Bq/kg) wurde 2025 von 10 Wildschweinproben aus der Schweiz überschritten (Maximum 6'680 Bq/kg). Bezogen auf die Gesamtzahl untersuchter Proben machen diese Grenzwertüberschreitungen mit 2.5 % der untersuchten Tiere aus; das ist im Rahmen der letzten Jahre. Das untersuchte Wildschweinfleisch aus der Jagd ist im Allgemeinen nicht für den Markt bestimmt.

Tiere mit ^{137}Cs Gehalten über dem Grenzwert werden konfisziert.

Leicht erhöhte ^{137}Cs Werte, aber mit einer Ausnahme deutlich unter dem Grenzwerte der Tschernobyl-Verordnung, traten erwartungsgemäss auch in einheimischen Wildpilzen (Maximum 668 Bq/kg Frischgewicht) und importierten Pilz- (Maximum 61 Bq/kg) und Wildbeeren (Maximum 310 Bq/kg) auf. Ebenfalls erwartet war die gemessenen Spuren von ^{137}Cs in einer Milchprobe aus dem Tessin (17 Bq/l).

Bei allen anderen Lebensmitteln aus der Schweiz und bei den Importierten sind die Konzentrationen von künstlichen Radionukliden sehr tief und der Grenzwert für ^{137}Cs war eingehalten.

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 (ohne Kalium) bei durchschnittlich rund 0.22 mSv.

Natürliche Radionuklide in der Nahrung

Natürliche Radionuklide aus den Zerfallsreihen von Uran und Thorium kommen in allen Lebensmitteln vor. Die geschätzte durchschnittliche jährliche effektive Dosis durch natürliche Radionuklide in Lebensmitteln für Erwachsene in der Schweiz beträgt 0.22mSv. Die Radionuklide mit dem grössten Dosisbeitrag sind ^{210}Po , ^{210}Pb und ^{228}Ra .

Die jährliche Strahlendosis, die eine Person durch natürliche Radioaktivität in der Nahrung erhält, hängt stark vom individuellen Ernährungsverhalten. Für Personen mit hohem Konsum von Muscheln (1 % der Schweizer Bevölkerung) erhöht sich die jährliche Strahlendosis durch natürliche Radionuklide in der Nahrung um 0.45 mSv oder mehr.

Eine ausführliche Diskussion der Strahlendosis durch natürliche Radionuklide in Lebensmitteln findet sich im Jahresbericht «Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 2023», BAG 2024, (bag.admin.ch/ura-jb).

6. Radioactivité dans le corps humain

Radioaktivität im Menschen

6.1 Mesures de ^{90}Sr , ^{210}Po et ^{226}Ra dans les vertèbres humaines

R. Cusnir, P.-A. Pittet, P. Froidevaux, C. Pilloud, M. Straub
Institut de radiophysique (IRA), CHUV, Grand Pré 1, Lausanne

Résumé

L'évolution temporelle de la radioactivité mesurée dans les vertèbres humaines constitue un indicateur pertinent pour évaluer l'impact potentiel sur la santé ainsi que le niveau de contamination de la chaîne alimentaire. En 2025, la collecte d'échantillons auprès des instituts de pathologie s'est poursuivie, permettant l'analyse du ^{90}Sr dans quinze vertèbres provenant des cantons de Vaud et du Tessin, ainsi que du ^{210}Po (cinq échantillons) et du ^{226}Ra (quatre échantillons) pour le canton de Vaud. Ces prélèvements ont été réalisés conformément au plan national de surveillance de la radioactivité de l'OFSP.

Les niveaux d'activité en ^{90}Sr mesurés dans les vertèbres restent très faibles et ne dépassent pas 10 $\text{mBq g}^{-1} \text{Ca}$. Les activités en ^{210}Po varient entre 9.2 et 41.5 $\text{mBq g}^{-1} \text{Ca}$, tandis que celles en ^{226}Ra se situent entre 1.0 et 3.1 $\text{mBq g}^{-1} \text{Ca}$ et sont proches des valeurs obtenues les années précédentes avec une moyenne de 2.1 $\text{mBq g}^{-1} \text{Ca}$.

Introduction

Le ^{90}Sr est un produit de fission de l'uranium qui constitue un traceur majeur de l'activité nucléaire. Sa détermination dans les différents compartiments de l'environnement, de la chaîne alimentaire et chez l'homme permet d'évaluer les transferts et l'exposition associés, notamment à la suite d'événements radiologiques. Depuis les années soixante, l'IRA, sur mandat de l'OFSP surveille le ^{90}Sr dans les vertèbres humaines, permettant ainsi une évaluation de la contamination de la chaîne alimentaire, étant donné sa similitude chimique avec le calcium.

Par ailleurs, le ^{210}Po , issu de la désintégration du ^{238}U , fait l'objet d'un suivi depuis une quinzaine d'années. Sa mesure dans les vertèbres permet d'appréhender l'incorporation du ^{210}Pb , notamment via l'inhalation des descendants du

^{222}Rn et l'ingestion d'aliments, en particulier de produits de la mer.

De même, la mesure du ^{226}Ra dans les os humains vise à établir une référence pour la population suisse, notamment en lien avec les héritages radiologiques industriels, tel que ceux de l'industrie horlogère. Comme le ^{90}Sr , le ^{226}Ra , en raison de sa similitude chimique avec le calcium, se dépose dans la masse osseuse, en suivant les voies métaboliques du calcium. L'objectif est de constituer une base de données pour la population non professionnellement exposée à ce radioélément.

En 2025, la collecte d'échantillons de vertèbres s'est poursuivie dans les instituts de pathologie du Tessin et de

Lausanne, permettant de déterminer l'activité en ⁹⁰Sr dans quinze échantillons. Par rapport à la période de surveillance précédente, un nombre de mesures de ²¹⁰Po (5 mesures) et de ²²⁶Ra (4 mesures) inférieur a été effectué, tout en permettant de compléter les données avec de nouvelles entrées du canton de Vaud et canton de Tessin.

Méthodes

Les méthodes analytiques du ⁹⁰Sr et du ²¹⁰Po sont décrites dans les références [2] et [3], tandis que celle du ²²⁶Ra est détaillée dans la référence [4]. Les concentrations en ⁹⁰Sr, ²¹⁰Po et ²²⁶Ra déterminées dans les os sont rapportées en mBq de radionucléide par g Ca de façon à prendre en compte les variations de la densité osseuse en fonction de la constitution de chaque individu.

Résultats et discussion

Les analyses de ⁹⁰Sr dans les vertèbres humaines mettent en évidence des valeurs stables, sans anomalie, et en diminution continue depuis la fin des essais nucléaires atmosphériques des années soixante (voir figure 3 du chapitre 1.1). En 2025, l'activité moyenne en ⁹⁰Sr pour quatorze échantillons de vertèbres humaines en Suisse s'est établie à 5.1 ± 1.7 mBq g⁻¹ Ca. Depuis 2015, cette valeur moyenne annuelle est inférieure à 10 mBq g⁻¹ Ca, alors que des valeurs supérieures à

100 mBq g⁻¹ Ca étaient mesurées en 1966 et 1967. Ces résultats suggèrent l'absence de nouvel apport de ce radionucléide dans l'environnement suisse. Malgré la faible magnitude des valeurs actuelles, l'incertitude, majoritairement inférieure à 30 %, souligne la sensibilité de la mesure du ⁹⁰Sr.

Depuis plusieurs années, l'activité du ²¹⁰Po est déterminée de manière régulière dans les vertèbres humaines. En 2025, la base de données dépasse désormais une centaine de cas, avec une moyenne de 25.2 mBq g⁻¹ Ca et un écart-type de 19.6 mBq g⁻¹ Ca. L'incorporation de ²¹⁰Pb/²¹⁰Po varie selon les personnes et dépend de plusieurs facteurs, dont les habitudes en matière de tabagisme et d'alimentation, ainsi que l'exposition au ²²²Rn. Dans le métabolisme humain, c'est le plomb qui cible préférentiellement la masse osseuse [1]. On peut donc faire l'hypothèse que le ²¹⁰Pb et le ²¹⁰Po sont à l'équilibre radioactif dans ce compartiment du modèle biocinétique du polonium.

A la suite de la découverte d'un nombre significatif de bâtiments contaminés par l'utilisation de peinture contenant du ²²⁶Ra dans le cadre d'activités horlogères, l'OFSP a lancé un programme d'assainissement de ces structures. Dans ce contexte, la détermination d'une activité de référence du ²²⁶Ra dans les os humains de la population suisse non professionnellement exposée à ce radioélément s'est avérée nécessaire.

Tableau 1:
Activités en ⁹⁰Sr, ²¹⁰Po et ²²⁶Ra, normalisées au calcium, dans les vertèbres de personnes décédées en Suisse en 2025. Incertitudes à 95% (k=2).

Lieu décès	⁹⁰ Sr (mBq/g Ca)	²¹⁰ Po (mBq/g Ca)	²²⁶ Ra (mBq/g Ca)
Lausanne	2.9 ± 1.2	9.5 ± 0.7	1.0 ± 0.1
	4.4 ± 1.3	13.3 ± 0.9	3.1 ± 0.3
		20.0 ± 1.3	
		41.5 ± 2.5	1.4 ± 0.2
		9.2 ± 0.6	2.7 ± 0.3
	5.0 ± 1.4		
	4.2 ± 1.4		
	3.6 ± 1.3		
	4.9 ± 1.4		
	6.2 ± 1.9		
Verscio	5.3 ± 2.1		
Camorino	9.4 ± 2.5		
Agno	6.4 ± 2.4		
Stabio	6.5 ± 1.8		
Moyenne ± écart-type	5.1 ± 1.7 (n = 14)	18.7 ± 13.5 (n = 5)	2.1 ± 1.1 (n = 4)

Profitant du programme de mesure de radioactivité dans les vertèbres humaines, nous avons inclus la mesure du ^{226}Ra . Nos observations n'ont révélé aucune différence significative d'activité du ^{226}Ra entre les vertèbres (os trabéculaire) et les fémurs ou les os de la mâchoire (os cortical), suggérant que le ^{226}Ra est assimilé dans l'organisme de manière similaire au calcium, probablement principalement via l'alimentation (y compris les boissons) [5].

En 2025, les activités mesurées sont restées parfaitement cohérentes avec les mesures précédentes et n'indiquent aucune exposition au ^{226}Ra autre que d'origine naturelle.

Conclusions

Les mesures réalisées en 2025 sur les vertèbres humaines ne mettent pas en évidence de niveaux d'activité susceptibles d'entraîner une dose préoccupante pour la population suisse. Les activités du ^{226}Ra et du ^{210}Po reflètent une exposition naturelle à ces radioéléments, principalement par ingestion alimentaire.

L'intégration de la mesure de différents radioéléments d'importance dosimétrique dans les analyses de routine du plan national de surveillance de la radioactivité permet l'acquisition de données précieuses pour une utilisation future. Malgré la contrainte temporelle liée au prélèvement d'échantillons humains, il est essentiel de maximiser l'information extraite de ces échantillons, compte tenu de leur disponibilité limitée.

La constitution de bases de données représentatives de l'exposition naturelle de la population suisse à ces radioéléments demeure essentielle pour permettre une réaction rapide en cas de situation exceptionnelle.

Remerciements

Nous remercions les instituts de pathologie de Locarno et de Lausanne pour la collecte des vertèbres.

Références

- [1] Legett, 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] Desorgher et al. Dosimetry in the lung of alpha-particles (^{210}Po) and beta-particles (^{210}Pb) present in the tobacco smoke of conventionnal cigarettes and heated tobacco products. *J. Environ. Radioact.* 2023, 263, 107178.

6.2 Inkorporationsmessungen mittels Ganzkörperzähler

Der mobile Ganzkörperzähler präsentiert sich in einem neuen Gewand

R. Althaus, S. Kradolfer

Fachbereich Nuklearchemie, Labor Spiez

Zusammenfassung

Mit dem Abschluss der Fahrzeugbeschaffung für den mobilen Ganzkörperzähler im Jahr 2025 und der Fertigstellung des neuen Stationsgebäudes (2023) verfügt die Inkorporationsmessstelle des Labors Spiez nun über eine hochmoderne Infrastruktur. Die Einsatzbereitschaft wurde durch die Ausbildung der Laborspezialisten der ABC Abw Kp'en 10/3 und 20/3, Messungen an 50 Personen im Rahmen des URA-Programms 2025 sowie die erfolgreiche Teilnahme an einem internationalen Ringversuch gefestigt.

Mobile Messfahrzeuge

Das Bedürfnis der Bevölkerung, nach einer radiologischen Belastung die Auswirkungen auf die eigene Gesundheit zu erfahren, ist sehr hoch. Das Labor Spiez betreibt bereits seit den frühen 1990er-Jahren ein Spezialfahrzeug für Ganzkörpermessungen, welches bei Ereignissen mit erhöhter Radioaktivität in betroffenen Regionen eingesetzt werden kann. So untersuchte ein Einsatzteam schon 1992 mit dem mobilen Labor «Blau» die Bevölkerung im Norden der Ukraine im Nachgang zur Nuklearkatastrophe in Tschernobyl. Im Zuge einer Modernisierung der Messtechnik im Jahr 2015 von Natrium-Iodid- zu hochauflösenden HPGe-Detektoren (2x BEGe, ~34%) wurde der Ganzkörperzähler zudem in ein neues Trägerfahrzeug integriert. Das Fahrzeug wurde gezielt als Personenwagen konzipiert, damit es mit dem Führerschein der Kategorie B gefahren werden kann. Im Rahmen der Nutzung und von Übungen stellte sich heraus, dass die geringe Nutzlast sowie die geringe Isolation zu betrieblichen Einschränkungen führen können. Die Folgebeschaffung eines Sprinter Kastenwagens ermöglichte es 2025, eine neue und optimale Infrastruktur für den Ganzkörperzähler

zu realisieren. Dank des höheren zulässigen Gesamtgewichts konnten eine bessere Isolierung verbaut und die Nutzlast deutlich gesteigert werden.

Messmethode

Das Herzstück von unserem Ganzkörperzähler bilden zwei verstellbare Reinstgermanium-Detektoren, die für eine optimale Geometrie direkt unter der liegenden Person positioniert werden. Innerhalb einer Messdauer von 3 bis 20 Minuten erfassen sie die emittierte Gammastrahlung der inkorporierten Radionuklide. Aus dem resultierenden Spektrum und einer spezifischen Effizienzkalibrierung wird die Aktivität jedes nachgewiesenen Nuklids bestimmt, die als Basis für die Berechnung der Folgedosis dient. Je höher die gesamte Folgedosis ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass stochastische Schäden im Verlauf der Lebenszeit auftreten. Für die Effizienzkalibrierung werden die IGOR-Phantome P0 bis P6 verwendet, wobei die Messung und Analyse für den Standardmensch (P4) akkreditiert betrieben wird.



Figur 1:
(1992) Reges Interesse der Bevölkerung von Mlachevka (Ukraine) am «Moblab Blau»



Figur 2:
(2015) Erste Messungen nach dem Einbau des neuen mobilen Ganzkörper im «Moblab Gelb», später G1

Messkampagne 2025

Im Verlauf des Jahres 2025 konnten 50 Freiwillige im Alter zwischen 12 und 61 Jahren auf dem stationären Ganzkörperzähler ausgemessen werden, darunter waren auch zwei Jugendliche, welche das Labor Spiez im Rahmen des Zukunftstages besuchten. Die übrigen Personen sind Angehörige der Armee sowie Mitarbeitende des Labors Spiez, welche entweder die Ruhe in der Stahlkammer schätzten oder gespannt auf ihre Messergebnisse warteten.

Bei keiner Person konnten künstliche Radionuklide nachgewiesen werden. Die Nachweisgrenze für ^{137}Cs variierte je nach Messung zwischen 17 Bq und 63 Bq und lag im Mittel bei 42 Bq. Der Kalium-40 Gehalt variiert je nach Gewicht, Grösse, Geschlecht und Alter zwischen 1700 und 6760 Bq pro Person. Die derzeitige Messstrategie für das URA-Programm mit einer Messzeit von 20 Minuten ergibt typische Messunsicherheiten von beinahe 20% ($k=2$).



*Figur 3:
(2025) Der mobile Ganzkörperzähler bekommt ein neues Trägerfahrzeug G2, welches über eine verbesserte Isolation und eine erhöhte Nutzlast verfügt.*

7. Mesures de nucléides spéciaux

Messung von Spezialnukliden

7.1 Kohlenstoff-14 und Krypton-85

S. Szidat, M. Staub und E. Vogel

Departement für Chemie, Biochemie und Pharmazie, Universität Bern, Freiestrasse 3, 3012 Bern

R. Purtschert und T. Wagner

Abt. Klima- und Umweltphysik, Physikalisches Institut, Universität Bern, Sidlerstrasse 5, 3012 Bern

A. Bollhöfer, M. Konrad und S. Schmid

Bundesamt für Strahlenschutz, D-79098 Freiburg im Breisgau

M. Heule

Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen-PSI

Zusammenfassung

Die Messungen des Gehalts an Kohlenstoff-14 (^{14}C) im Laub von Bäumen wurde 2025 weitergeführt in der Umgebung der Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt, der Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) Bern, des Paul Scherrer Instituts und an verschiedenen Standorten der Stadt Basel. Hingegen wurden diese Untersuchungen eingestellt beim Kernkraftwerk Mühleberg und bei den KVAs Lausanne und Zürich-Hagenholz. Als Referenzwert diente der ^{14}C -Gehalt von Laubbäumen an drei Standorten ohne lokale ^{14}C -Quellen und -Verdünnungen, an denen im Jahresverlauf je drei Messungen (im Juni, Juli und Oktober 2025) durchgeführt wurden. Aus diesen Messungen resultierte für 2025 der $\Delta^{14}\text{C}$ -Referenzwert $-16 \pm 2 \text{ ‰}$.

Die 64 auf ^{14}C untersuchten Standorte unterscheiden sich von diesem von diesem Referenzwert -13 ‰ (Basel Stadt, Standort W-42 bei der KVA Basel) bis maximal $+116 \text{ ‰}$ (Kernkraftwerk Leibstadt, Standort Fullerfeld). Im Raum Basel lag der Netto-Höchstwert bei $+5 \text{ ‰}$ (Standort E-34). Der Grossteil der übrigen Standorte in Basel wies Messwerte $< 0 \text{ ‰}$ auf. Selbst die Maximalwerte entsprechen einer zusätzlichen Strahlendosis für die Bevölkerung von nicht mehr als $1 \text{ } \mu\text{Sv}$ ($1 \text{ } \mu\text{Sv} = 10^{-6} \text{ Sievert}$) in einem Jahr. Im Vergleich zur natürlichen Strahlenbelastung von ca. $4'500 \text{ } \mu\text{Sv/a}$ fallen die gemessenen geringfügigen Erhöhungen im Berichtsjahr nicht ins Gewicht.

Das Edelgas-Radionuklide Krypton-85 (^{85}Kr) wird in der Atmosphäre auf natürliche Weise nur in sehr geringen Mengen gebildet. Die Aktivitätskonzentration liegt derzeit auf einem annähernd konstanten Niveau. Das Isotop verursacht keine signifikante Erhöhung der jährlichen Strahlendosis.

Kohlenstoff-14 (^{14}C)

Die ^{14}C -Messungen im Berichtsjahr wurden ausschliesslich vom Labor zur Analyse von Radiokohlenstoff mit AMS, LARA (AMS: accelerator mass spectrometry) des Departements für Chemie, Biochemie und Pharmazie der Universität Bern durchgeführt. Das ^{14}C -Labor der Klima- und Umweltphysik (KUP) des Physikalischen Instituts der Universität Bern, das über fast 50 Jahre den Gehalt an ^{14}C im Laub untersucht hatte, wurde im letzten Jahr geschlossen.

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). Der ^{14}C -Gehalt von atmosphärischem CO_2 nahm seitdem durch Aufnahme von $^{14}\text{CO}_2$ durch die Ozeane und Verbrennung fossiler, d. h. ^{14}C -freier, Brennstoffe weltweit wieder ab. Mittlerweile hat dieser Gehalt den als Basis für die Radiocarbonatierung definierten Standardwert für das Jahr 1950 unterschritten :

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

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 spiegelt in seinem ^{14}C -Gehalt im Wesentlichen den zeitlichen Verlauf der atmosphärischen $^{14}\text{CO}_2$ -Konzentration wider.

Radiocarbon-Quellen (KKW und Pharma) und -Verdünnungen (KVA, Industrie, Strassenverkehr) 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 Monitor von atmosphärischem $^{14}\text{CO}_2$.

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 2025 ein Referenzwert für Laub in ungestörter Umgebung definiert. Als Basis hierzu dienten die im Juni, Juli und Oktober gesammelten Blätter.

$$\Delta^{14}\text{C}_{\text{Ref, 2024}} = -12 \pm 3 \text{ [‰]} \quad (3)$$

$$\text{Netto } \Delta^{14}\text{C} = \Delta^{14}\text{C}_{\text{Probe}} - \Delta^{14}\text{C}_{\text{Ref, 2025}} \quad (4)$$

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

Seitdem das ^{14}C -Labor der KUP geschlossen wurde, wird die ^{14}C -Bestimmung nur noch im ganzen

Tabelle 1:

Messwerte 2025 und Koordinaten der Referenzstationen für Laubmessungen

Ort	$\Delta^{14}\text{C}$ [‰]			Koordinaten	[m.ü.M.]	Baumart/Standort
	Juni	Juli	Okt.			
Taanwald	-14	-18	-17	601'320 / 186'150	938	Rotbuchen im Wald
Belpberg	-15	-17	-16	606'096 / 190'600	825	Rotbuchen auf Krete
Ballenbühl	-13	-16	-17	612'550 / 192'800	852	2 Linden, freistehend

Blatt angewandt. Die früher ebenfalls genutzte ^{14}C -Bestimmung in der Blattohale wird nicht weiter eingesetzt.

^{14}C im Umfeld der Schweizer Kernkraftwerke

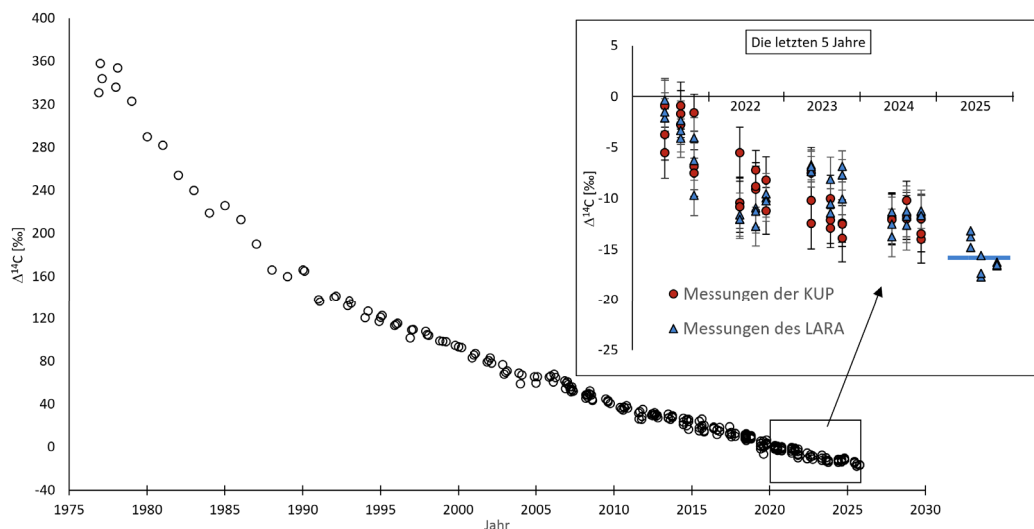
Gemäss Jahresrückblick des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats ENSI [1] wurden die Schweizer Kernkraftwerke im Jahr 2025 sicher betrieben. Es traten fünf automatische Schnellabschaltungen auf: je eine im Kernkraftwerk Leibstadt (KKL) und eine im Kernkraftwerk Beznau I und drei im Kernkraftwerk Beznau II.

Das Kernkraftwerk Gösgen (KKG) hat mit der Revision wie geplant am 24. Mai 2025 begonnen; aufgrund von Verzögerungen beim Einbau von gedämpften Rückschlagklappen wurde KKG jedoch erst am 23. März 2026 wieder in Betrieb genommen.

Das Kernkraftwerk Mühleberg (KKM), dessen Leistungsbetrieb am 20. Dezember 2019 eingestellt wurde, gilt seit dem 15. September 2020 als endgültig ausser Betrieb genommen. Rückbau und Stilllegung sollen im Jahr 2034 abgeschlossen sein.

Die ^{14}C -Messungen im Umfeld des Kernkraftwerks wurden aber auch während des Rückbaus noch für einige Jahre fortgesetzt. Da in den vergangenen Jahren keine erhöhten Messwerte gegenüber den Blättern der Referenzstationen festgestellt werden konnten, wurde die Überwachung Ende 2024 eingestellt. In diesem Bericht werden daher keine ^{14}C -Messungen mehr für KKM präsentiert.

Die Laubprobenahmen im Umfeld der noch im Leistungsbetrieb befindlichen Kernkraftwerke erfolgten im Allgemeinen während oder nach der jeweiligen Jahresrevision, um auch mögliche ^{14}C -Abgaben während des Revisionsstillstands erfassen zu können.



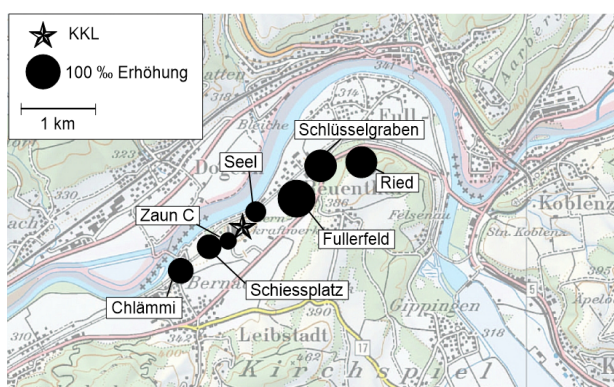
Figur 1:
 $\Delta^{14}\text{C}$ -Konzentrationen in Buchen- und Lindenblättern von den Referenzstationen. Die blaue Linie zeigt den bestimmten Referenzwert während der Vegetationszeit. Kreise in der Detailsicht: Messungen KUP. Dreiecke (ab 2017): Messungen LARA.

Kernkraftwerk Leibstadt

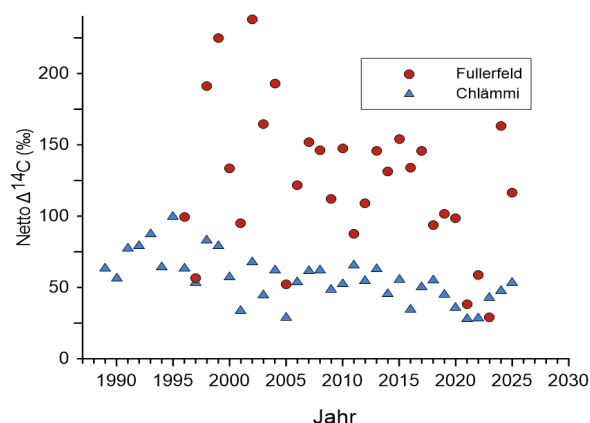
Im Umfeld des Kernkraftwerks Leibstadt (KKL) wurde im Jahr 2025 die Probenahme der Blattproben am 07. Oktober 2025 durchgeführt. Es wurden Blätter von Laubbäumen an verschiedenen Standorten in beiden Hauptwindrichtungen gesammelt und auf ihren ^{14}C -Gehalt hin untersucht. Dabei wurden die z. T. seit 1984 geführten Zeitreihen fortgesetzt. Die höchste ^{14}C -Konzentration mit einer Erhöhung von +116 % ergab sich in ca. 1.5 km Distanz vom KKL in nordöstlicher Richtung am Standort Fullerfeld (Figur 2).

In südwestlicher Richtung wies der Standort Chlärmi mit +53 % den höchsten Wert auf. In der folgenden Abbildung sind die Messergebnisse dargestellt.

Figur 3 zeigt die Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Höchstwerte der Standorte Fullerfeld und Chlärmi seit Messbeginn. Es sind dies die beiden Standorte mit den traditionell höchsten Werten in der jeweiligen Windrichtung. Der grösste Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Wert seit Messbeginn beträgt 238 % und stammt vom Standort Fullerfeld (2002).



Figur 2:
 Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Messwerte in der Umgebung des Siedewasserreaktors Leibstadt (KKL) im Jahr 2025. Revisionsabschaltung: 28.04.2025 bis 30.05.2025. Probenahme: 07.10.2025. Die Kreisflächen sind proportional zur Erhöhung gegenüber den unbelasteten Referenzstationen.

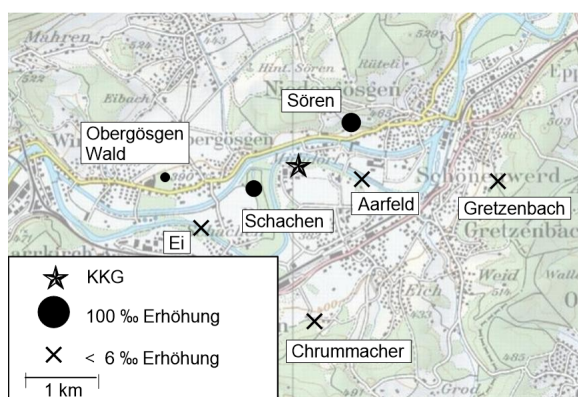


Figur 3:
 Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Werte nordöstlich (Fullerfeld) und südwestlich (Chlärmi) des Kernkraftwerks Leibstadt. Der Standort Fullerfeld wird seit 1996, derjenige von Chlärmi seit 1989 beprobt (Standorte: siehe Figur 2). Messungen bis 2016: KUP. Messungen ab 2017: LARA.

Kernkraftwerk Gösgen

Figur 4 zeigt die Resultate der am 01. Juli 2025 gesammelten Blattproben in der Umgebung des Kernkraftwerks Gösgen (KKG). Der höchste ^{14}C -Messwert westlich vom KKG resultierte mit einer Erhöhung von 26 % am Standort Schachen, in östlicher Richtung mit 36 % am Standort Sören.

Im Gegensatz zum Siedewasserreaktor KKL, bei dem nahezu alle gasförmigen ^{14}C -Emissionen in Form von $^{14}\text{CO}_2$ auftreten, wird beim Druckwasserreaktor KKG neben $^{14}\text{CO}_2$ auch $^{14}\text{CH}_4$ (also radioaktives Methan)

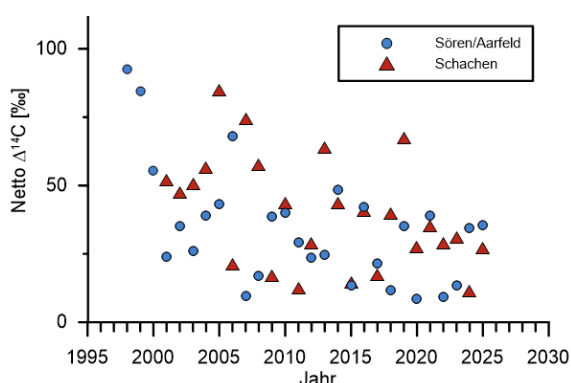


Figur 4:

Örtliche Verteilung der Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Werte in der Umgebung des Druckwasserreaktors Gösgen (KKG). Revisionsabschaltung und Verzögerungen beim Wiederanfahren: 25.05.2025 bis 23.03.2026. Probenahme: 01.07.2025. Die Kreisflächen sind proportional zur Erhöhung gegenüber den unbelasteten Referenzstationen.

emittiert in einem $^{14}\text{CO}_2 / \text{CH}_4$ -Verhältnis von etwa 20/80% [2]. Da durch die Fotosynthese nur CO_2 , aber kein CH_4 von den Blättern aufgenommen wird, fällt die Erhöhung bei KKG deutlich geringer aus als bei KKL.

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.



Figur 5:

Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Höchstwerte östlich (Sören/Aarfeld) und westlich (Schachen) des Kernkraftwerkes Gösgen. Standorte: siehe Figur 4.

Paul Scherrer Institut, Zentrales Zwischenlager Würenlingen, Kernkraftwerk Beznau

Im Jahr 2025 wurde die Probenahme ausschliesslich durch das LARA durchgeführt. In den vergangenen Jahren erfolgte diese noch durch die KUP mit Unterstützung des PSI. Die Messwerte im Umfeld von PSI, ZWILAG und KKB lagen im Jahr 2025 tendenziell unterhalb der Werten des Vorjahrs. Sämtliche beprobten Standorte wiesen Erhöhungen von mehr als 6 % gegenüber den unbelasteten Referenzstandorten auf.

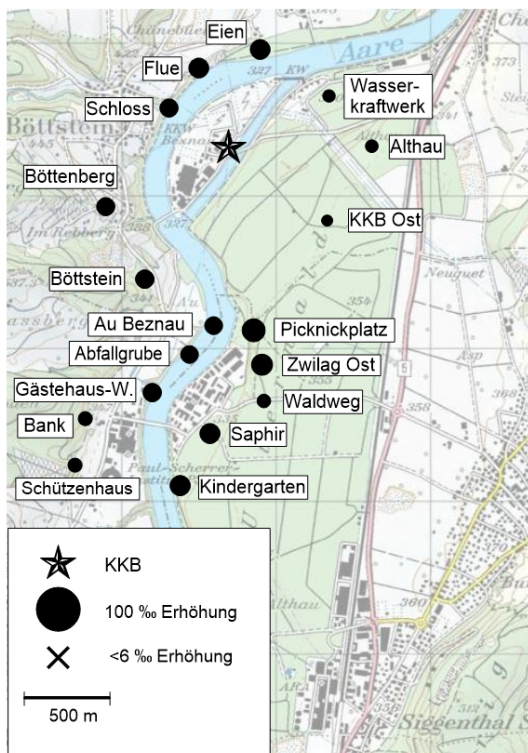
Die grösste Erhöhung (27 %) wurde am Standort Picknickplatz gemessen.

In Figur 7 sind Zeitreihen der Standorte aufgeführt, für die historisch gesehen die höchsten Messwerte ermittelt wurden.

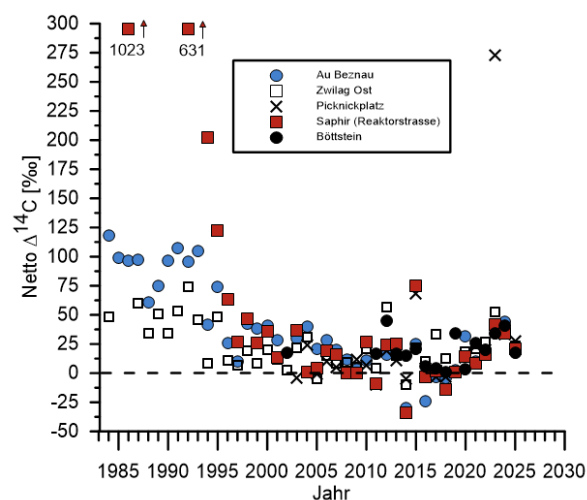
Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) Bern

In Blättern von Bäumen, die am 31. Juli 2025 an vier Probenahmestellen im Umfeld der Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) Bern Forsthaus gesammelt wurden, konnte praktisch keine erhöhte ^{14}C -Konzentration festgestellt werden.

Die meisten Werte lagen deutlich unter dem Referenzwert von 12 ‰, nur im Bremgartenfriedhof (Standort B-3) wurde eine geringe Erhöhung um +0.1 ‰ gemessen. Im Gegensatz zu Blättern, die im Umfeld der Kernkraftwerke gesammelt wurden, findet 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 Brenn- und Treibstoffen, welche von den Bäumen aufgenommen werden (siehe «Suess»-Effekt weiter oben).

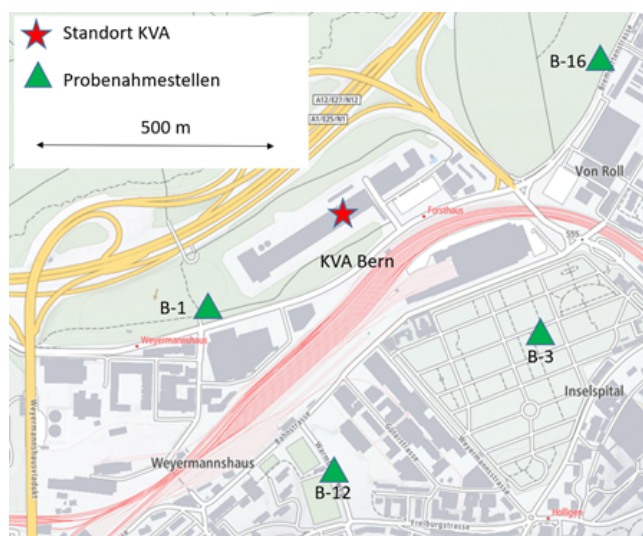


Figur 6:
Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Werte in der Umgebung des Paul Scherrer Instituts (PSI), des Zentralen Zwischenlagers Würenlingen (ZWILAG) und des Kernkraftwerks Beznau (KKB) im Jahr 2025. Revisionsabschaltung KKB I: 08.04.2025 bis 21.04.2025, KKB II: 01.08.2025 bis 03.10.2025. Probenahme: 07.10.2025. Die Kreisflächen sind proportional zur Erhöhung gegenüber den unbelasteten Referenzstationen.

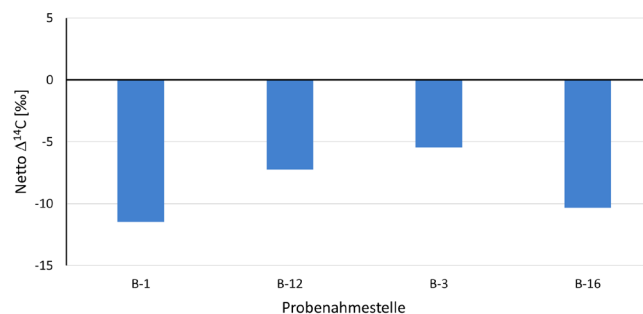


Figur 7:
Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Höchstwerte westlich (Au Beznau und Böttstein) und östlich (Zwiilag Ost, Picknickplatz und Saphir) des PSI/ ZWILAG sowie des Kernkraftwerks Beznau seit Messbeginn. Standorte: siehe Figur 6. Messungen bis 2016: KUP (Standort Böttstein) und PSI. Messungen 2017 bis 2019: LARA (Standort Böttstein) und PSI. Messungen ab 2020: LARA.

In Figur 8 sind oben die vier Probenahmestellen und darunter die entsprechenden Messwerte im Vergleich zu den unbelasteten Referenzstationen dargestellt.



KVA Bern 2025
Messwerte an den 4 gemessenen Probenahmestellen
im Vergleich zum Referenzwert (in Promille)



Figur 8:

Probenahmestellen und $\Delta^{14}\text{C}$ -Messwerte in der Umgebung der KVA Bern.

Messungen in der Region Basel-Stadt

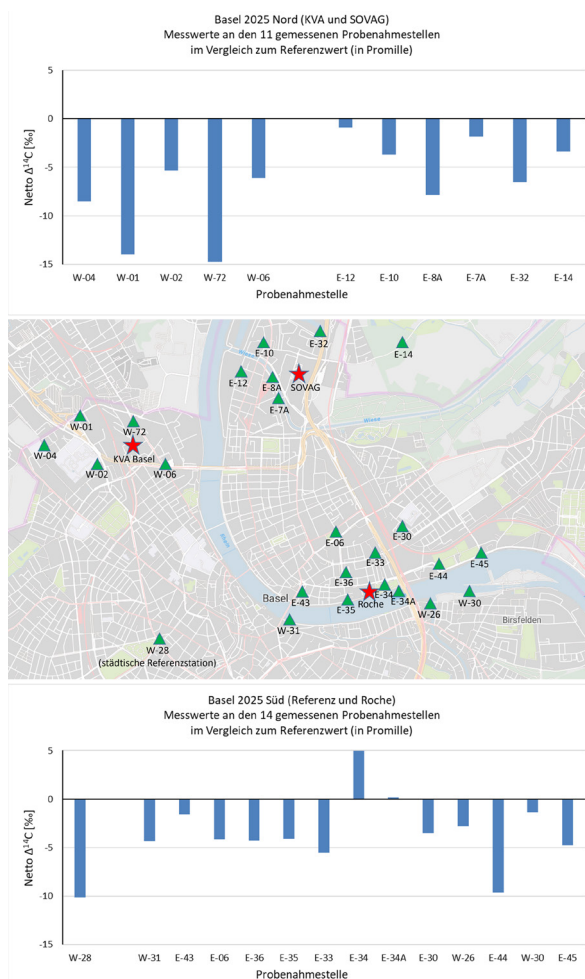
Im Jahr 2025 wurden in Basel zwei Laubprobenahmen durchgeführt. Im Rahmen der ersten Probenahme am 10. Juni wurden hauptsächlich die Standorte im Südosten des Stadtgebietes um das Areal der Firma F. Hoffmann-La Roche AG sowie die Standorte um das Areal der von der Firma SOVAG betriebenen regionalen Sondermüllverwertungsanlage (RSMVA) beprobt. Die zweite, etwas umfangreichere Probenahme fand am 07. August statt und umfasste zusätzlich zu den Standorten der ersten Probenahme auch Standorte um die KVA Basel im Westen der Stadt. Fanden an einem Standort mehrere Laubprobenahmen statt, wurde im Bericht jeweils der höchste Messwert angegeben.

An den meisten Standorten wurde aufgrund des weiter oben erwähnten Suess-Effekts eine Verdünnung der $^{14}\text{CO}_2$ -Konzentration relativ zu den unbelasteten Referenzstationen festgestellt, zum Teil um 10 ‰ oder mehr (Figur 9). Bei den Standorten E-34 und E-34A nahe dem Areal der Firma F. Hoffmann-La Roche wurden Erhöhungen von 5 bzw. 0.1 ‰ registriert.

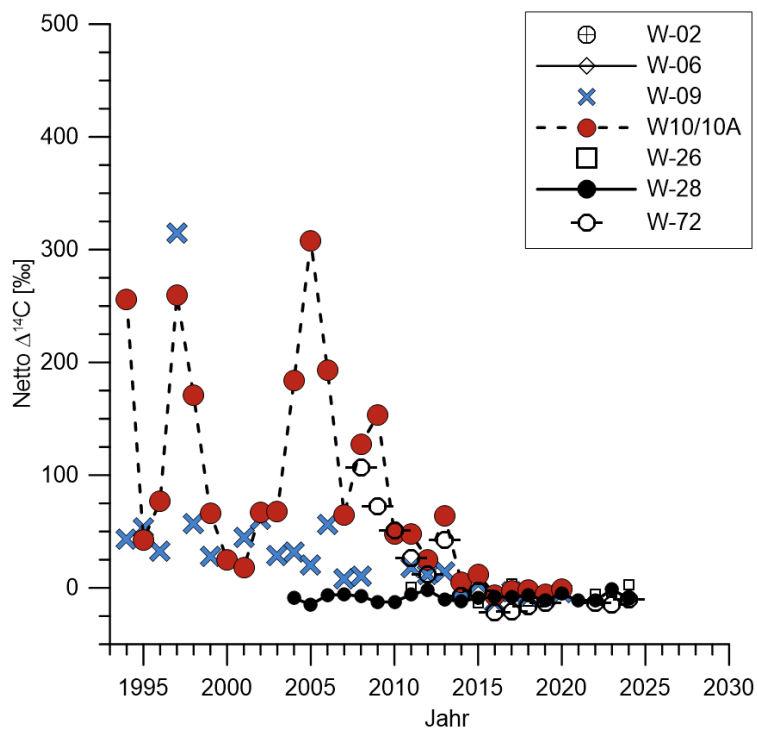
Im oberen Teil von Figur 9 sind die Messergebnisse von den Probenahmestellen im Norden der Stadt Basel, im unteren Teil diejenigen vom Süden der Stadt dargestellt, jeweils als Erhöhung bzw. Absenkung gegenüber den unbelasteten ländlichen Referenzstationen. Liegen von einem Standort mehrere Messwerte vor, so ist in Figur 9 der jeweils höhere Wert dargestellt.

Die Figuren 10 und 11 zeigen die Messergebnisse seit Messbeginn an ausgewählten Standorten. Die Netto-Messwerte haben sich in den letzten Jahren auf einem sehr niedrigen Niveau stabilisiert.

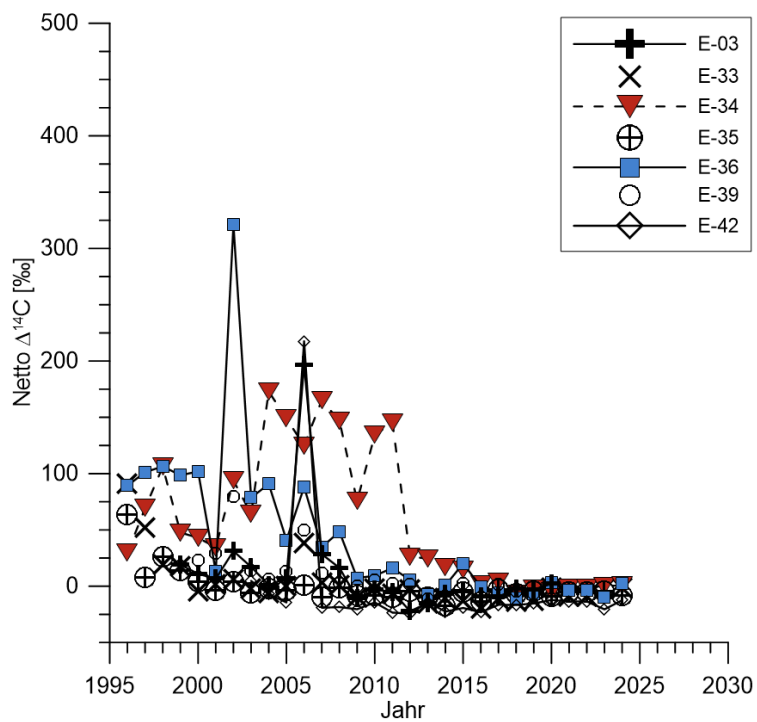
Der Rückgang der ^{14}C -Werte gegenüber früheren Jahren ist darauf zurückzuführen, dass die Firma Novartis das benötigte ^{14}C zunehmend von externen Zulieferern bezieht. Im Falle der F. Hoffmann-La Roche AG ist der Rückgang mit durchschnittlich deutlich geringeren Anfangsaktivitäten bei den Synthesen zu erklären. Westlich des Rheins wurden die historischen Netto-Höchstwerte (beispielsweise Standort W-10A auf dem Areal der Firma Novartis) bereits seit einigen Jahren nicht mehr erreicht, sodass diese Standorte seit 2021 nicht mehr beprobt werden. Auch die Standorte östlich des Rheins im Umfeld der Firma F. Hoffmann-La Roche AG sind weit von ihren Netto-Höchstwerten entfernt: der im Jahr 2002 gemessene Höchstwert von 320 ‰ am Standort E-36 wurde in den letzten Jahren deutlich unterschritten.



Figur 9:
Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Messwerte für Blattproben aus dem Raum Basel. Die Balkendiagramme stellen die Erhöhung bzw. Absenkung der Messwerte gegenüber den unbelasteten ländlichen Referenzstationen dar.



Figur 10:
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 Messwerte vor, so ist der höchste Netto $\Delta^{14}\text{C}$ -Wert eingetragen.



Figur 11:
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.

Krypton-85 (^{85}Kr)

Das radioaktive Edelgasisotop Krypton-85 ist ein β -Strahler mit einer Halbwertszeit von 10.74 ± 0.02 Jahren. Natürliches atmosphärisches Krypton-85 entsteht durch den Einfang kosmischer Neutronen an stabilem Krypton-84 sowie durch Spaltprozesse von Uran und anderen Aktiniden in der Lithosphäre. Diese Prozesse führen zu einem natürlichen atmosphärischen Inventar von etwa 1012 Bq bzw. zu einer spezifischen Aktivitätskonzentration von rund $0.2 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft.

Das heutige atmosphärische Krypton-85 stammt hingegen überwiegend aus der Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen und wird lokal sowie zeitlich gepulst freigesetzt. Die derzeit grösste Emissionsquelle ist die Wiederaufarbeitungsanlage in La Hague. Durch radioaktiven Zerfall nimmt das globale Inventar jährlich um etwa 6.2 % ab. Über viele Jahre wurden diese Verluste jedoch durch höhere Emissionsraten überkompensiert, was zu einem Anstieg der atmosphärischen Hintergrundkonzentration führte. In der letzten Dekade ist in Mitteleuropa eine Stabilisierung auf etwa $1.4 \text{ Bq}/\text{m}^3$ Luft zu beobachten.

In der Schweiz wird Krypton-85 in wöchentlich integrierten Luftproben auf dem Jungfrauoch gemessen und im Edelgaslabor des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS) in Freiburg analysiert. Ergänzend werden Stichproben in Bern am Universität Bern entnommen und vor Ort im Tiefenlabor der KUP untersucht. Vergleichsdaten aus Freiburg im Breisgau zeigen, dass die Basiswerte an allen Stationen (Jungfrauoch, Bern, Freiburg) übereinstimmen.

Während Phasen erhöhter Emissionen in La Hague treten charakteristische Aktivitätsspitzen auf, die insbesondere in Freiburg deutlich über dem Basiswert liegen.

Aufgrund der hochalpinen Lage ist das Jungfrauoch weniger von bodennahen Emissionen beeinflusst und zeigt entsprechend geringere Amplituden. In Bern führen der kürzere Probenahmezeitraum und die grössere Distanz zur Quelle zu Abweichungen gegenüber Freiburg, bei insgesamt vergleichbarem Aktivitätsniveau.

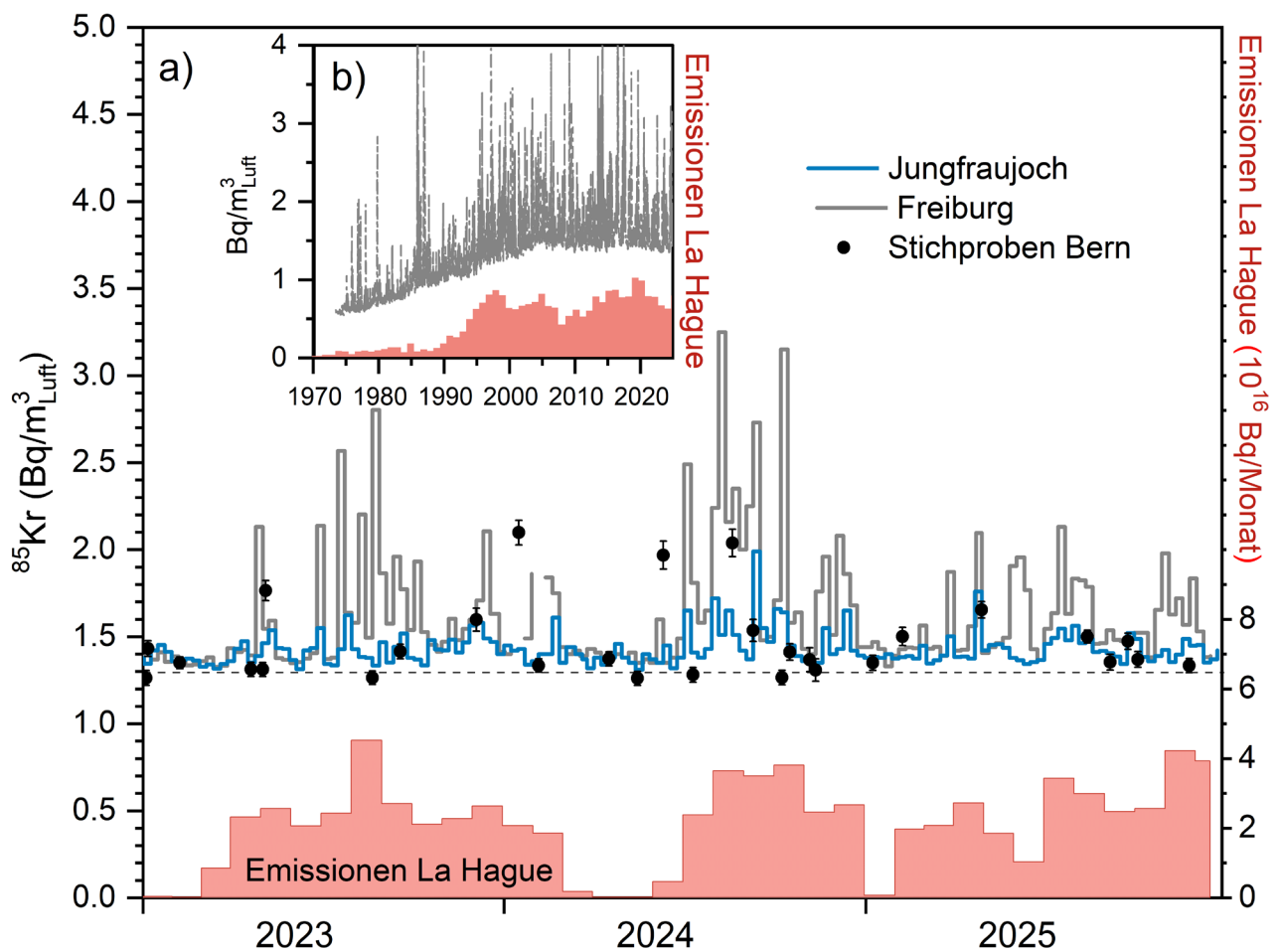
Für das Jahr 2025 lassen sich die folgenden Beobachtungen feststellen: Niedrige ^{85}Kr -Aktivitätskonzentrationen zu Jahresbeginn an beiden Standorten, Jungfrauoch (JFJ) und Freiburg, fallen mit geringen Wiederaufarbeitungsaktivitäten und entsprechend niedrigen ^{85}Kr -Emissionen aus La Hague im Januar zusammen (Fig. 12a).

Drei Peaks treten in denselben Wochen in JFJ und Freiburg im Februar, März bzw. April 2025 auf. Die Amplitude dieser Peaks, definiert als Differenz zwischen Messwert und Basislinie, ist in Freiburg im Mittel zwei- bis dreimal höher als am JFJ.

Diese Basislinie konvergierte im Juni 2025 gegen eine Aktivitätskonzentration von etwa $1.3 \text{ Bq}/\text{m}^3$ Luft, als während einer Phase sehr geringer Wiederaufarbeitungsaktivitäten in La Hague eine Abnahme der gemessenen ^{85}Kr -Aktivitätskonzentrationen beobachtet wurde. Niedrige ^{85}Kr -Emissionen im Juni 2025 wurden von höheren Emissionen im Juli und August gefolgt, was sich in allgemein erhöhten Aktivitätskonzentrationen an beiden Messstandorten widerspiegelt.

Hohe Emissionen aus La Hague im November und Dezember 2025 zeigen sich in erhöhten ^{85}Kr -Aktivitätskonzentrationen in Freiburg, sind jedoch an der Messstation am JFJ weitgehend unterdrückt. Dies ist wahrscheinlich auf die Ausbildung einer stabilen planetaren Grenzschicht im Winter zurückzuführen, wenn die Abkühlung des Bodens Turbulenz und vertikale Durchmischung von Schadstoffen in grössere Höhen effektiv hemmt.

Bemerkenswert ist zudem, dass der Basiswert unter dem Niveau der letzten Dekade liegt, in der etwa $1.3 \text{ Bq}/\text{m}^3$ Luft gemessen wurde. Diese generelle Stabilisierung, möglicherweise sogar ein Rückgang der Basislinie, zeigt sich auch in der Langzeitreihe von Freiburg i.Br. (Fig. 12b) und könnte auf eine Abnahme der globalen Wiederaufarbeitungsaktivitäten hindeuten; zukünftige Messungen werden diesen Trend weiter überprüfen. Die durch den ^{85}Kr -Untergrundpegel verursachte jährliche effektive Dosis beträgt ca. $11 \text{ nSv}/\text{Jahr}$ ($8 \cdot 10^{-9} \text{ Sv Bq}^{-1} \text{ m}^{-3} \text{ Jahr}^{-1}$ [3]) und ist damit vernachlässigbar gering in Relation zur Strahlenbelastung von etwa 1.1 mSv verursacht durch natürlich vorkommendes Radon und dessen Folgeprodukte.



Figur 12a):

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 [4]

Figur 12b) :

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) [5].

Referenzen

- [1] <https://ensi.admin.ch/de/themen/vorkommnisse/>, aufgerufen am 20. März 2025
- [2] Bollhöfer, A., Schlosser, C., Schmid, S., Konrad, M., Purtschert, R. and Kraus, R. (2019) Half a century of Krypton-85 activity concentration measured in air over Central Europe: Trends and relevance for dating young groundwater. *Journal of Environmental Radioactivity* 205-206, 7-16
- [3] Data provided by Orano, La Hague
- [4] ICRP, 2012. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41(Suppl.). Table C.1., p. 61
- [5] Kirchner, G., Gerfen, F., Heise, A., Schlüschen, T., 2020. Will ^{37}Ar emissions from light water power reactors become an obstacle to its use for nuclear explosion monitoring? *Journal of Environmental Radioactivity* 223-224, 106392.
- [6] Espic, C., Laemmel, T., Henne, S., Purtschert, R., Szidat, S., 2025. Atmospheric $^{14}\text{CH}_4$, $^{14}\text{CO}_2$ and ^{37}Ar measurements around a Swiss pressurized water reactor during an annual revision period. *Journal of Environmental Radioactivity* 281, 107576.

7.2 Mesures de plutonium et d'américium dans l'environnement

P. Froidevaux, C. Pilloud, P.-A. Pittet, R. Cusnir, M. Straub
Institut de radiophysique (IRA), CHUV, Grand Pré 1, Lausanne

Résumé

Nous avons mesuré le plutonium (Pu) et l'américium (Am) dans des échantillons de sol, de sédiments, de filtres à air, de poissons, de plantes aquatiques et d'eau de surface et de pluie. 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 poissons n'ont pas présenté d'activité en Pu mesurable au-dessus de la limite de détection de la méthode (~ 1 mBq/kg m.s.).

Dans les sols, l'activité en $^{239+240}\text{Pu}$ est située entre 110 mBq/kg et 600 mBq/kg alors que l'activité en ^{241}Am est présente dans un rapport $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ de 0.47 ± 0.06 . L'activité en Pu des eaux de rivières prélevées en aval des centrales nucléaires ne dépasse pas 1.6 mBq/m³, et celle des eaux de pluie est proche de 1.0 mBq/m³, soit dans l'ensemble des valeurs très proches de celles mesurées les années précédentes. Les activités en plutonium et américium dans les plantes aquatiques et les sédiments prélevés en aval des centrales nucléaires suisses sont également proches de celles des années précédentes et ne dépassent pas 70 mBq/kg m.s. pour le plutonium dans les sédiments et 45 mBq/kg m.s. dans les plantes aquatiques.

Dans cette étude, nous avons également analysé les résultats des mesures de plutonium et d'américium dans les eaux de rivière et de pluie ainsi que dans les poissons prélevés entre 2015 et 2025. Les eaux de rivières présentent une activité en $^{239+240}\text{Pu}$ de 2.70 ± 1.8 mBq/m³ (n=29) en moyenne et une activité en américium de 2.07 ± 1.9 mBq/m³ (n=18). Aucun échantillon de poissons ne présentait une activité en $^{239+240}\text{Pu}$ au-dessus de la limite de détection (~ 1 mBq/kg m.s., n= 50) alors que 14 échantillons de poissons présentaient une activité quantifiable en ^{241}Am (2.25 ± 1.57 mBq/kg). Ces mesures ont permis de déterminer le facteur de concentration (CR) pour l'américium dans les poissons (270 L/kg).

Introduction

Le plutonium et l'américium que l'on retrouve dans l'environnement proviennent des retombées des essais nucléaires des années soixante, d'accidents nucléaires (e.g. Tchernobyl), ainsi que des rejets autorisés d'installations nucléaires et de sites de retraitement de déchets nucléaires. Dans les dernières décennies, l'attention s'est focalisée principalement sur les émetteurs alpha du plutonium (^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu) et de l'américium (^{241}Am), caractérisés par une forte radiotoxicité ainsi que de longues périodes de demi-vie physique (e.g. $T_{1/2}$ (^{239}Pu) = 24'100 ans, $T_{1/2}$ (^{241}Am) = 441 ans) et biologiques. Ainsi, la demi-vie de ^{239}Pu dans les vertèbres humaines a été déterminée à 40 ± 14 ans [1]. Le compartiment environnemental récepteur de la contamination est

principalement le sol, particulièrement pour ce qui concerne les dépositions atmosphériques telles que les retombées des essais nucléaires des années soixante, qui représentent la contribution majeure à l'activité en plutonium et en américium en Suisse. C'est pourquoi le plan de prélèvement de l'OFSP contient un nombre important de mesures dans ce compartiment. Toutefois, les rivières telles que l'Aare et le Rhin sont utilisées pour le refroidissement des réacteurs nucléaires suisses, et sont potentiellement le réceptacle de rejets de radioéléments, autorisés ou non. Elles drainent également les eaux de leur bassin versant, qui peuvent également être contaminées par un dépôt de radioactivité. Les eaux de rivières et de pluie constituent ainsi un compartiment particulièrement surveillé par le plan de surveillance de la radioactivité de

l'OFSP. Des indicateurs de contamination tels que les sédiments, les plantes aquatiques et les poissons sont également régulièrement prélevés et analysés pour leur activité en plutonium et en américium.

Dans ce travail, nous proposons d'analyser en détail, de manière statistique, les données disponibles des milieux aquatiques (eaux de rivières, de pluie et poissons) de ces dix dernières années afin d'obtenir des métriques fiables pour les lieux de prélèvements des eaux de rivière tels que Pratteln, Hagneck et Klingnau ainsi que pour les sites de prélèvement d'eau de pluie (Posieux, KKL et KKM). En combinant les résultats obtenus pour les rivières avec ceux obtenus pour les poissons pêchés dans celles-ci, nous pouvons obtenir, avec une validité statistique suffisante, un facteur de concentration (CR) pour l'américium dans le poisson. Ce facteur de concentration est une donnée importante pour l'évaluation dosimétrique en cas d'accident, ainsi que pour l'autorisation de mise sur le marché de denrées alimentaires susceptibles d'être contaminées.

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 [2]. De légères modifications ont été apportées pour améliorer la méthode. Il en résulte que certains échantillons du plan ont été mesurés à plusieurs reprises afin de tester la reproductibilité des résultats, c'est pourquoi certains sites présentent les résultats de deux analyses. On constate aussi qu'il est nécessaire d'obtenir des rendements de séparation chimique supérieurs à 65% dans les échantillons de sol et de filtres à air afin de pouvoir quantifier le ^{238}Pu , présent en très faible quantité dans nos sols ($0.03 \times ^{239+240}\text{Pu}$).

Résultats et discussion

Plutonium et américium dans les sols

Le Tableau 1 présente les résultats obtenus pour les sols échantillonnés sur l'ensemble du territoire suisse, avec une focalisation sur les sites aux environs des centrales nucléaires suisses. Les activités sont très proches de celles obtenues les années précédentes, qui sont en diminution constante ces vingt dernières années, 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. Pour l'année 2025, ces rapports sont de 0.033 ± 0.006 ($n=7$) pour $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et de 0.47 ± 0.06 ($n=16$) pour $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ et correspondent à ce qui est attendu pour une contamination ne provenant que des retombées radioactives des essais nucléaires des années soixante. Par comparaison, 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. Une valeur légèrement supérieure à la valeur attendue a été mesurée dans le prélèvement de Mühleberg ($^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu} = 0.071 \pm 0.019$). Compte tenu des travaux de démantèlement effectués sur ce site, une autre aliquote a été mesurée ; la valeur était alors conforme à la valeur attendue (0.031 ± 0.014). Il faut toutefois remarquer que les activités en ^{238}Pu sont très faibles ($< 20 \text{ mBq/kg m.s.}$), souvent inférieures à LD dans nos mesures et, lorsque quantifiable, le rapport $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ est entaché d'une incertitude d'au moins 40%.

Nous pouvons ainsi conclure que les sols en Suisse, comme compartiment de rétention des dépôts radioactifs des années soixante, n'ont pas accumulé de plutonium et/ou d'américium provenant d'autres sources en 2025.

Plutonium et américium dans les filtres à air

Les résultats des mesures des filtres à air, présentés dans le tableau 2, sont également très proches de ceux des années précédentes. Toutefois, comme l'année précédente pour le site de Posieux, le rapport $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ s'est significativement éloigné de la valeur attendue de 0.03; ce rapport était de 0.091. Etant donné la proximité de Mühleberg, il n'est pas impossible que certains travaux liés au démantèlement de la centrale nucléaire aient pu provoquer une petite contamination de l'air en ^{238}Pu . Toutefois, comme pour les sols, ce rapport contient une incertitude de ~50%, ce qui complique son interprétation. Le rapport $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ et son incertitude étaient, en revanche, dans la norme sur tous les sites (voir tableau 2) et sa moyenne s'inscrivait dans le prolongement du rapport théorique (0.44).

Plutonium et américium dans les eaux de rivière et les précipitations

Les activités des eaux de surface (eaux de rivière) et des eaux de pluie collectées en 2025 sont présentées dans le tableau 3. Lorsque les activités sont quantifiables, les incertitudes atteignent souvent

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 2025 (incertitudes à 95%).

Lieu	$^{239+240}\text{Pu}$ Bq/kg MS	^{238}Pu Bq/kg MS	^{241}Am Bq/kg MS	$^{241}\text{Am} / ^{239+240}\text{Pu}$	$^{238}\text{Pu} / ^{239+240}\text{Pu}$
Arenenberg	0.129 ± 0.017	< LD	0.056 ± 0.005	0.437 ± 0.072	–
Beznau	0.123 ± 0.023 0.124 ± 0.012	< LD 0.0046 ± 0.0020	0.054 ± 0.006 0.051 ± 0.005	0.534 ± 0.116 0.408 ± 0.057	0.037 ± 0.016
Cadenazzo	0.114 ± 0.013	< LD	0.066 ± 0.007	0.577 ± 0.089	–
Däniken	0.155 ± 0.015	0.0042 ± 0.0002	0.098 ± 0.008	0.638 ± 0.082	0.027 ± 0.003
Güttingen	0.143 ± 0.021	< LD	0.065 ± 0.006	0.452 ± 0.079	–
Leibstadt	0.209 ± 0.025 0.205 ± 0.021	< LD 0.0066 ± 0.0030	0.094 ± 0.008 0.091 ± 0.008	0.452 ± 0.067 0.444 ± 0.060	0.032 ± 0.015
Meyrin	0.113 ± 0.011	0.0051 ± 0.0020	0.046 ± 0.005	0.408 ± 0.063	0.045 ± 0.019
Mühleberg	0.142 ± 0.012 0.156 ± 0.014	0.0102 ± 0.0026 0.0048 ± 0.0021	0.074 ± 0.006 0.068 ± 0.006	0.517 ± 0.060 0.433 ± 0.057	0.071 ± 0.019 0.031 ± 0.014
Posieux	0.197 ± 0.028	< LD	0.091 ± 0.007	0.462 ± 0.076	–
Stabio	0.596 ± 0.041	0.0176 ± 0.0041	0.290 ± 0.019	0.487 ± 0.046	0.030 ± 0.007
Villigen-PSI	0.142 ± 0.021	< LD	0.057 ± 0.006	0.403 ± 0.069	–
Würenlingen	0.168 ± 0.026 0.169 ± 0.026	< LD 0.0046 ± 0.0019	0.076 ± 0.007 0.081 ± 0.007	0.456 ± 0.084 0.478 ± 0.058	0.027 ± 0.011
Moyenne				0.474 ± 0.064 (n=16)	0.038 ± 0.015 (n=8)
					0.033 ± 0.006 (n=7) ^a

a) Sans la valeur 0.071 (Mühleberg 1)

30-50%. Les activités mesurées en 2025 ne dépassent pas 2 mBq/m³, ce qui est réjouissant. Dans les eaux de pluie, les activités quantifiées en plutonium et en américium proviennent principalement de l'entraînement de particules en suspension dans l'air et qui sont retenues par adsorption ou filtration lors du passage à travers les résines des collecteurs de précipitations. Ces prélèvements sont effectués en continu, puis les résines utilisées pendant une année sont regroupées, calcinées puis analysées comme des sols. Les résultats obtenus correspondent au lessivage de l'air et sont donc complémentaires à ceux obtenus pour les filtres à air. On peut également noter que les volumes collectés sur l'année des échantillons d'eau de pluie sont nettement supérieurs (~900 L) à ceux des prélèvements ponctuels en rivière (~150-300 L) ce qui se reflète dans les limites de détection, significativement plus basses. Dans les eaux de rivière, bien que l'eau prélevée soit filtrée à

0.45 µm, les activités mesurées sont probablement dues à la charge en particules et colloïdes de sol lessivé. Il est en effet peu probable que l'on passe par une phase dans laquelle le Pu et/ou l'Am sont véritablement en solution et non adsorbés sur des particules ou des colloïdes.

Toutefois, seule la détermination des activités par le système DGT (diffusion in thin film) serait en mesure de donner des indications précises à ce sujet [3-5].

Les prélèvements d'eau de rivière étant effectués sur un mois peuvent donc potentiellement manquer un rejet. Nous proposons donc d'utiliser dans le cadre de la surveillance de routine un système de collecte qui moyenne l'activité sur un temps long afin d'éviter ce problème. De ce point de vue, la technique DGT représente clairement une avancée dans ce domaine [5].

Tableau 2:

Activités (nBq/m³) en ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, ²³⁸Pu et ²⁴¹Am dans les filtres à air collectés sur différents sites en Suisse en 2025.

Incertitudes à 95 %.

Lieu	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu nBq/m ³	²³⁸ Pu nBq/m ³	²⁴¹ Am nBq/m ³	²⁴¹ Am/ ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²³⁸ Pu/ ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu
Klingnau	0.98 ± 0.11	0.043 ± 0.021	0.42 ± 0.05	0.43 ± 0.07	0.044 ± 0.022
Posieux	1.39 ± 0.19	0.126 ± 0.049	0.59 ± 0.06	0.43 ± 0.07	0.091 ± 0.037
Liebefeld, semestre 1	0.43 ± 0.08	< 0.080	0.30 ± 0.05	0.70 ± 0.17	-
Liebefeld, semestre 2	1.53 ± 0.13	0.043 ± 0.018	0.65 ± 0.05	0.43 ± 0.06	0.028 ± 0.012
Meyrin	1.00 ± 0.09	0.035 ± 0.015	0.53 ± 0.05	0.53 ± 0.07	0.035 ± 0.015
Moyenne				0.50 ± 0.12	0.062 ± 0.043

Tableau 3:

Activités en ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, ²³⁸Pu et ²⁴¹Am (mBq/m³) des eaux collectées en Suisse durant l'année 2025. (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	Aar (Hagneck)	145	1.37 ± 0.5	< 0.5	1.02 ± 0.39	0.74 ± 0.40
	Aar (Klingnau)	195	1.02 ± 0.40	< 0.5	1.21 ± 0.39	1.19 ± 0.61
	Rhin (Pratteln)	280	1.61 ± 0.38	< 0.3	0.91 ± 0.37	0.56 ± 0.26
Eau de pluie	Mühleberg	927	0.85 ± 0.21	< 0.1	n.m.	
	Posieux	914	1.31 ± 0.49	< 0.1	0.94 ± 0.14	0.71 ± 0.29
	Leibstadt	876	0.74 ± 0.21	< 0.1	n.m.	

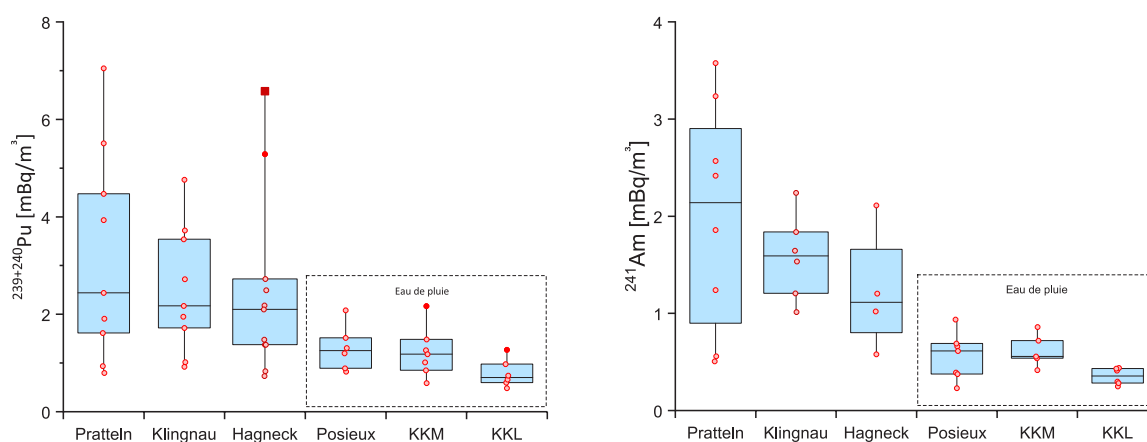


Figure 1.

Présentation en boxplot des valeurs d'activité en plutonium (gauche) et américium (droite) des eaux de rivières et des eaux de pluie, mesurées en différents sites de 2015 à 2025.

Dans notre base de données, nous avons identifié trois sites de prélèvement d’eaux de rivière (Pratteln, Hagneck et Klingnau) et trois sites de prélèvement d’eaux de pluie (Posieux, Mühleberg et Leibstadt) systématiquement analysés au cours de ces dix dernières années (2015-2025). Le plutonium ($^{239+240}\text{Pu}$) a été mesuré au-dessus de la limite de détection dans 29 prélèvements d’eaux de rivière, avec une moyenne de $2.70 \pm 1.78 \text{ mBq/m}^3$. Dix-huit prélèvements ont donné une valeur supérieure à la LD pour ^{241}Am , avec une moyenne de $2.07 \pm 1.89 \text{ mBq/m}^3$. Dans les eaux de pluie, 19 prélèvements ont donné une moyenne de $1.10 \pm 0.47 \text{ mBq/m}^3$ pour le plutonium et 18 prélèvements une moyenne de $0.51 \pm 0.21 \text{ mBq/m}^3$ pour l’américium. Les résultats sont présentés sous forme de boxplots dans la figure 1. On constate rapidement que les eaux de pluie présentent des activités moins variables et plus basses que celles des eaux de rivière. De plus, le rapport $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ est de 0.46, soit proche de celui des sols et semble indiquer une prépondérance des particules de sol dans le prélèvement. Le rapport $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ dans les eaux de rivière est de 0.77 et peut indiquer une plus grande mobilité de l’américium par rapport au plutonium dans ce milieu. Seuls les sites de Posieux et de KKL diffèrent statistiquement ($p = 0.037$) pour le plutonium dans les eaux de pluie, et KKL et KKM pour l’américium, toujours dans les eaux de pluie ($p = 0.022$).

Plutonium et américium dans l’environnement aquatique

Les résultats des mesures effectuées sur différents échantillons de l’environnement aquatique collectés en aval des centrales nucléaires sont présentés dans le Tableau 4. $^{239+240}\text{Pu}$ et ^{241}Am sont mesurables au-dessus des limites de détection dans les sédiments (phase suspendue) de rivière, dans un rapport d’activité $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ proche de celui des sols. Dans le cas des plantes aquatiques, et pour mieux distinguer l’absorption racinaire et la diffusion de cations à travers la surface des feuilles (phénomène biologique actif) de l’adhésion de particules de sédiments (phénomène physique passif), il serait nécessaire de procéder à un lavage sélectif séquentiel des échantillons de plantes. Ceci est toutefois long et coûteux et hors du contexte de surveillance de la radioactivité [4].

En général, les poissons ne présentent pas d’activité en Pu mesurable au-dessus de la limite de détection de la méthode, mais l’américium est parfois mesurable, avec une activité proche de 1 à 5 mBq/kg, car le facteur de concentration de l’eau aux poissons est supérieur pour l’américium par rapport à celui du plutonium (voir ci-dessous). Pour tous les échantillons aquatiques, ^{238}Pu est également resté en dessous des limites de détection.

Entre 2015 et 2025, nous avons identifié dans notre base de données 53 mesures de plutonium dans les poissons, toutes avec des résultats en dessous de la limite de détection. Cinquante mesures d’américium ont

Tableau 4:
Activités (mBq/kg MS) en plutonium et américium de différents échantillons aquatiques prélevés en 2025 en aval des centrales nucléaires suisses (Incertitudes à 95%).

Type	Lieu	MS analysée [g.ms]	$^{239+240}\text{Pu}$ mBq/kg MS	^{241}Am mBq/kg MS	$^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$
Sédiments	Aar (Hagneck)	52	49.2 ± 5.6	21.7 ± 3.3	0.44 ± 0.08
	Aar (Klingnau)	51	70.2 ± 9.3	40.3 ± 4.9	0.57 ± 0.10
	Rhin (Pratteln)	51	67.5 ± 8.2	38.6 ± 4.5	0.57 ± 0.10
Poissons	Aar (Mühleberg)	52.6	< 4	< 4	-
	Rhin (Leibstadt)	36.7	< 6	4.2 ± 1.7	-
Plantes aquatiques	Hagneck	27.8	22.3 ± 5.2	n.m.	-
	Klingnau	21.6	42.6 ± 7.9	n.m.	-
	Pratteln	31.9	34.9 ± 6.6	n.m.	-
	Däniken	18.1	14.3 ± 4.7	n.m.	-

également été effectuées, dont 14 présentent un résultat au-dessus de la limite de détection, avec une moyenne de 2.25 ± 1.57 Bq/ kg m.s.

Les résultats sont présentés sous forme de boxplots dans la figure 2. Le facteur de concentration de l'eau aux poissons, CR, est défini comme le rapport de l'activité dans le poisson, exprimé en Bq/ kg de masse fraîche, à l'activité de l'eau, exprimée en Bq/L (eq. 1).

$$CR (Am) = [Am]_{poisson} / [Am]_{eau} \text{ [L/kg]} \quad (\text{eq. 1})$$

Dans notre base de données, nous n'avons d'informations que sur la masse sèche (filets de poissons lyophilisés) reçue en laboratoire. Toutefois, pour les poissons blancs d'eau douce, le rapport moyen masse fraîche : masse sèche est de 4 :1. En utilisant ce rapport pour convertir nos résultats obtenus en mBq/ kg m.s. en Bq/ kg de masse fraîche, le facteur de concentration calculé est de 270 L/kg. L'AIEA indique une valeur de CR de 50 L/ kg pour l'américium dans les poissons d'eau douce, ce qui situe nos valeurs parmi les valeurs hautes de CR proposées dans la littérature. Toutefois, comme le montre la figure 2, la dispersion des résultats de mesures de l'américium dans les eaux de rivières et dans les poissons est relativement faible, ce qui renforce la validité statistique du facteur de concentration (CR) déterminé dans ce travail.

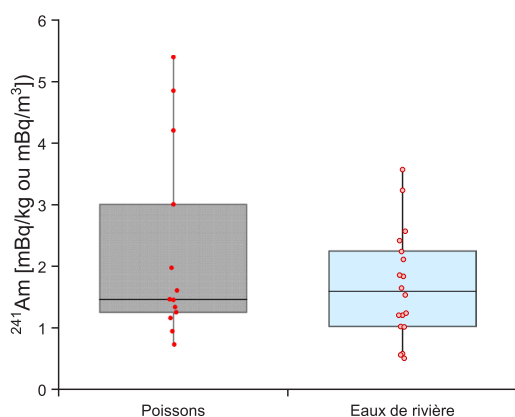


Figure 2.
Présentation en boxplot des activités en américium mesurées dans les rivières et dans les poissons, de 2015 à 2025.

Conclusions

Les mesures de Pu et d' Am effectuées dans ce travail ont montré la persistance, à un niveau d'activité très faible de Pu et d'Am dans la majorité des échantillons prélevés en Suisse en 2025. Ces radioéléments sont bien fixés dans le sol et

leur présence résulte des retombées des essais nucléaires atmosphériques des années soixante. L'analyse des rapports d'activité $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ et $^{238}\text{Pu}/^{230+240}\text{Pu}$ présentée ici démontre également qu'il n'y a pas eu d'apports significatifs autres que les retombées radioactives des années soixante dans l'environnement en Suisse.

Une analyse plus détaillée des résultats de nos mesures dans les eaux et les poissons collectés entre 2015 et 2025 permet de déterminer le facteur de concentration de l'américium de l'eau aux poissons (CR) avec une bonne validité statistique due à une faible dispersion des valeurs. Ce rapport est de 270 L/kg et permet d'évaluer une potentielle contamination des poissons lors d'une contamination par ce radioélément. Par contraste, aucune valeur au-dessus de la limite de détection pour les isotopes du plutonium n'a été mesurée sur plus de 50 échantillons prélevés entre 2015 et 2025.

Dans l'ensemble, tous nos résultats 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. D'une manière générale, nos résultats montrent une situation saine de l'environnement en Suisse en ce qui concerne la dissémination de ces deux radioéléments fortement radiotoxiques. Une augmentation significative de ces radioéléments dans l'environnement, liée aux activités de l'industrie nucléaire, devrait être ainsi facilement détectée. Pour la mesure dans les milieux aquatiques, nous préconisons l'utilisation de la technique DGT, qui permet une intégration de l'activité présente dans le milieu sur le long terme, évitant ainsi de manquer d'éventuels pics de contamination issus de relâchements ponctuels.

Remerciements

Nous remercions l'OFSP et l'EAWAG pour le prélèvement des échantillons.

Références

- [1] Froidevaux et al. Chemosphere 2010, 80, 519-524.
- [2] Corcho et al. Radiochim. Acta, 2011, 99, 121-129.
- [3] Luisier et al. J. Radioanal. Nucl. Chem. 2009, 281,425–432.
- [4] Chaplin et al. Water Research, 2022, 221, 118838.
- [5] Chaplin et al. ACS EST Water, 2022, 2, 1688-1696.
- [6] Chaplin et al. Analytical Chemistry, 2021, 93, 11937-11945.

8. Surveillance des installations nucléaires

Überwachung der Kernanlagen

8.1 Emissionen und Immissionen

M. Meshkian, A. Leupin

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Industriestrasse 19, Brugg

Zusammenfassung

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser und der Fortluft lagen im Jahr 2025 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-Abgabelimiten. 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.

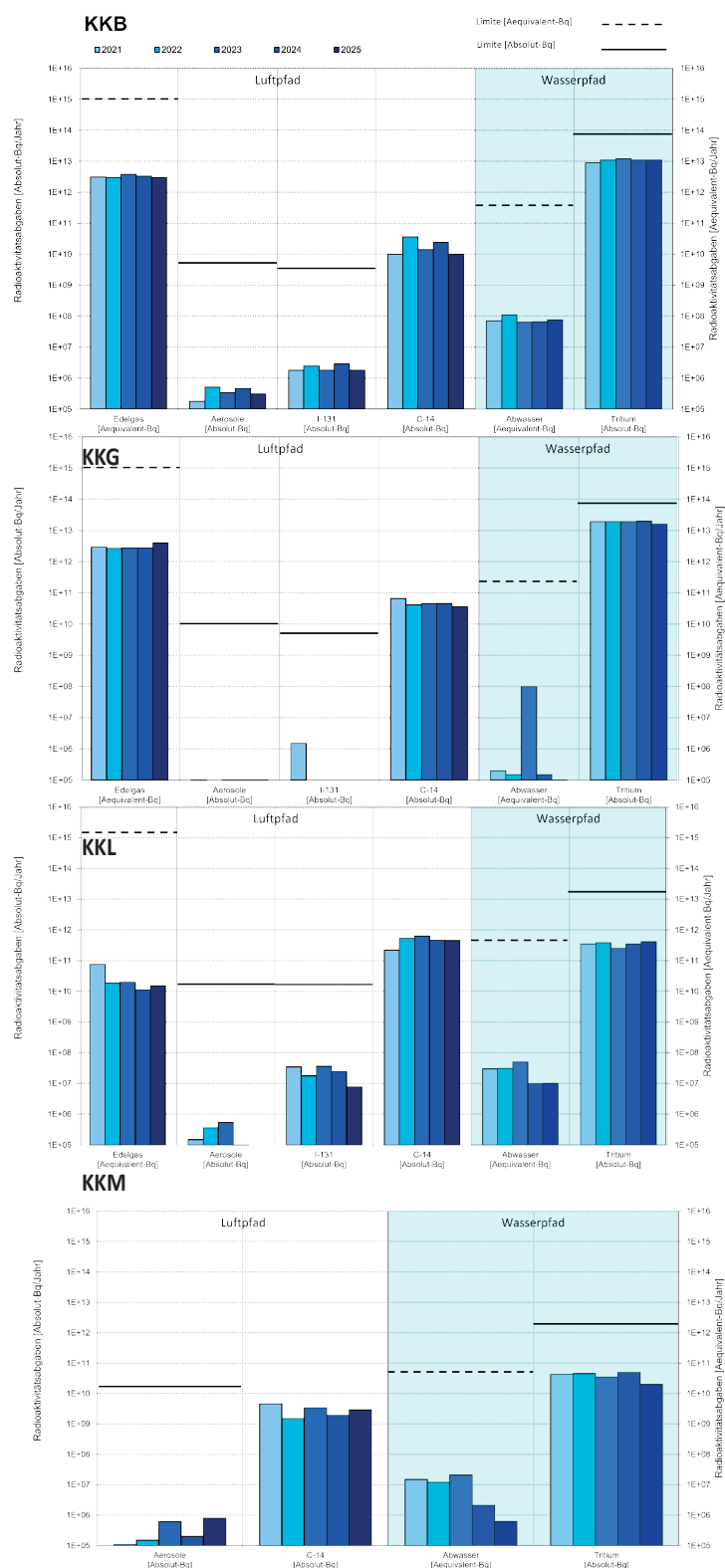
Emissionen aus den Kernanlagen: Ergebnisse 2025

Die Abgaben von radioaktiven Stoffen mit der Fortluft und dem Abwasser der Schweizer Kernkraftwerke sind in der Figur 1a für die letzten fünf Jahre zusammen mit den entsprechenden Jahresabgabelimiten 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 ZZL gemessenen Abgabewerte sowie die unter ungünstigen Annahmen gemäss der 2025 revidierten Richtlinie ENSI-G14 errechneten Personendosen für Erwachsene, 10-jährige Kinder und Kleinkinder in der Umgebung der betreffenden Anlage im Jahr 2025. Die Abgaben des PSI 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 Fortluft 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 29 Jahre.

Alle Kernanlagen haben die vorgeschriebenen Jahres- und die Kurzzeitabgabelimiten eingehalten. Zur Überprüfung der Messverfahren der Kernanlagen hat das ENSI an Proben 156 eigene gammaspektrometrische Messungen durchgeführt. Dabei wurden Aerosol- und Iodfilter sowie Abwasserproben aus den Anlagen stichprobenweise analysiert. Die Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen den Messwerten der Beaufichtigten und jenen des akkreditierten Labors des ENSI.

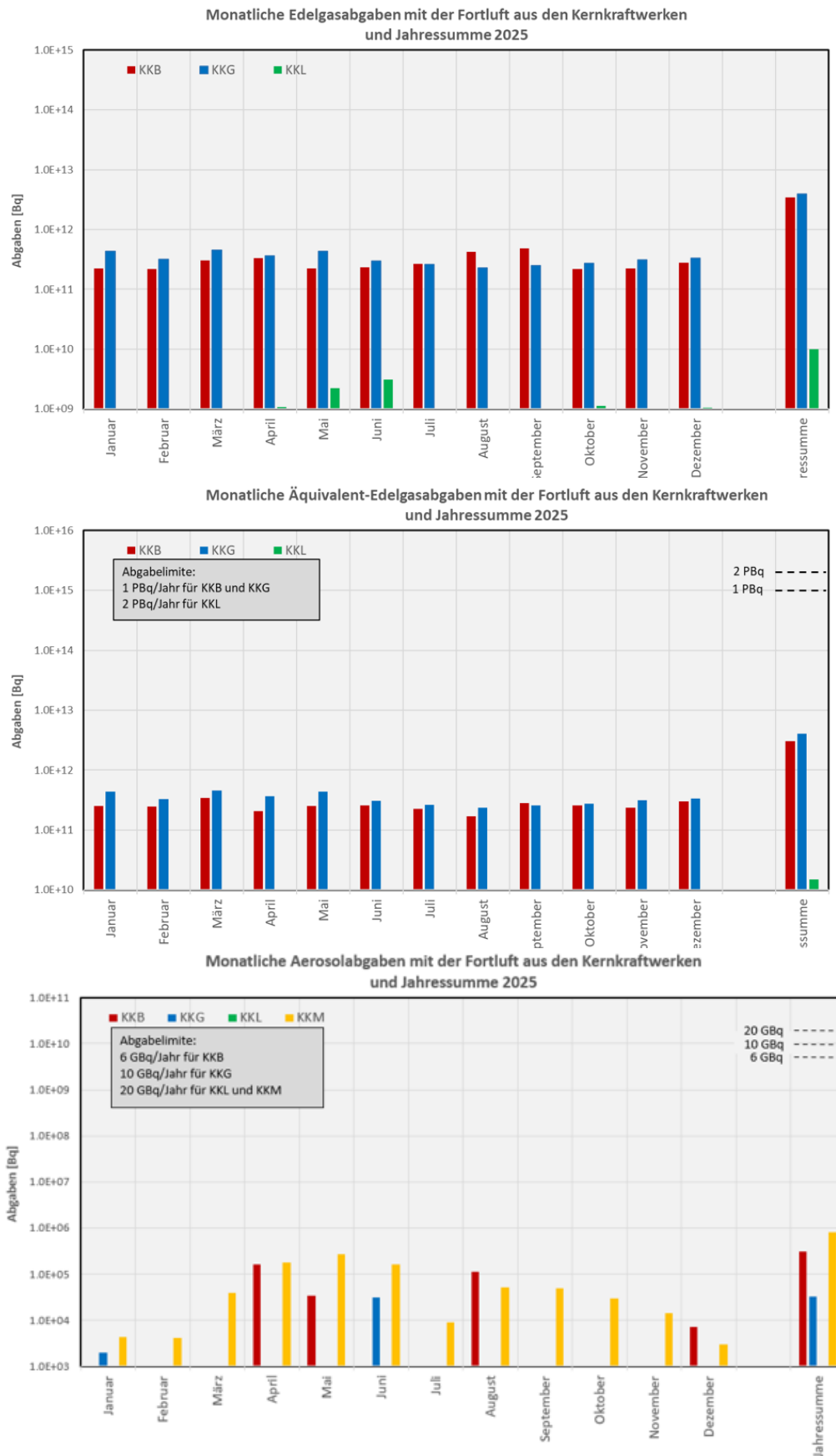
Bei der monatlichen Aufschlüsselung der radioaktiven Abgaben aus den Werken (vgl. Figur 1b) ist bei den flüssigen Abgaben beim KKG die jährlich jeweils vor dem Revisionsstillstand durchgeführte Verwerfungsaktion für tritiumhaltiges Wasser bei den Abgaben erkennbar. Solche Abgaben sind bei den Druckwasserreaktoren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



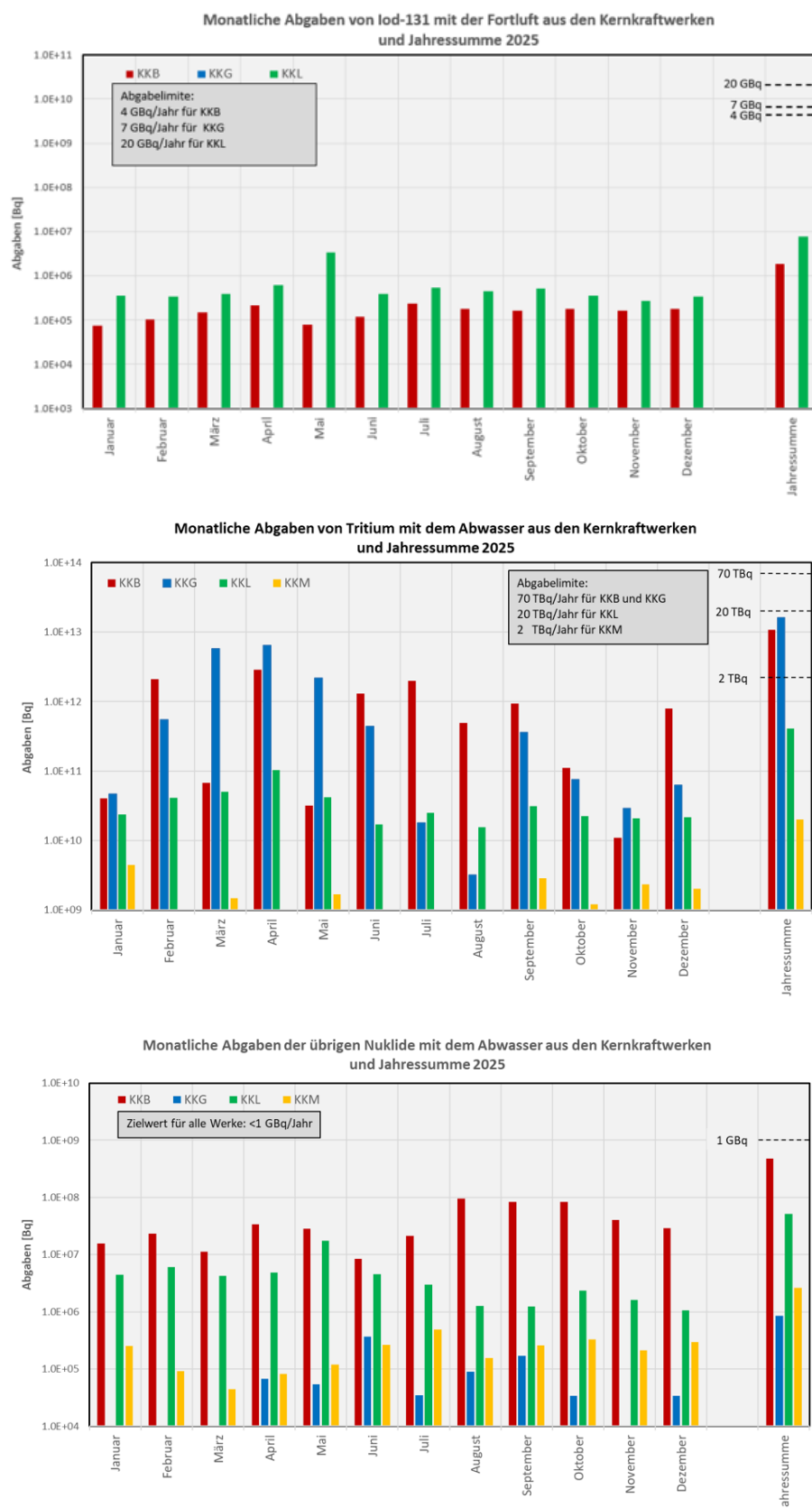
Figur 1.a :

Abgaben der Schweizer Kernkraftwerke an die Atmosphäre und mit dem Abwasser in den letzten fünf Jahren (2021 bis 2025) im Vergleich mit den Jahresabgabelimiten. Angegeben ist für die jeweilige Nuklidgruppe und den Abgabepfad die Jahressumme der bei den einzelnen bilanzierenden Messungen durch die Kernkraftwerke ausgewiesenen Aktivitätsabgaben. Die Edelgas-bilanzierung 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.



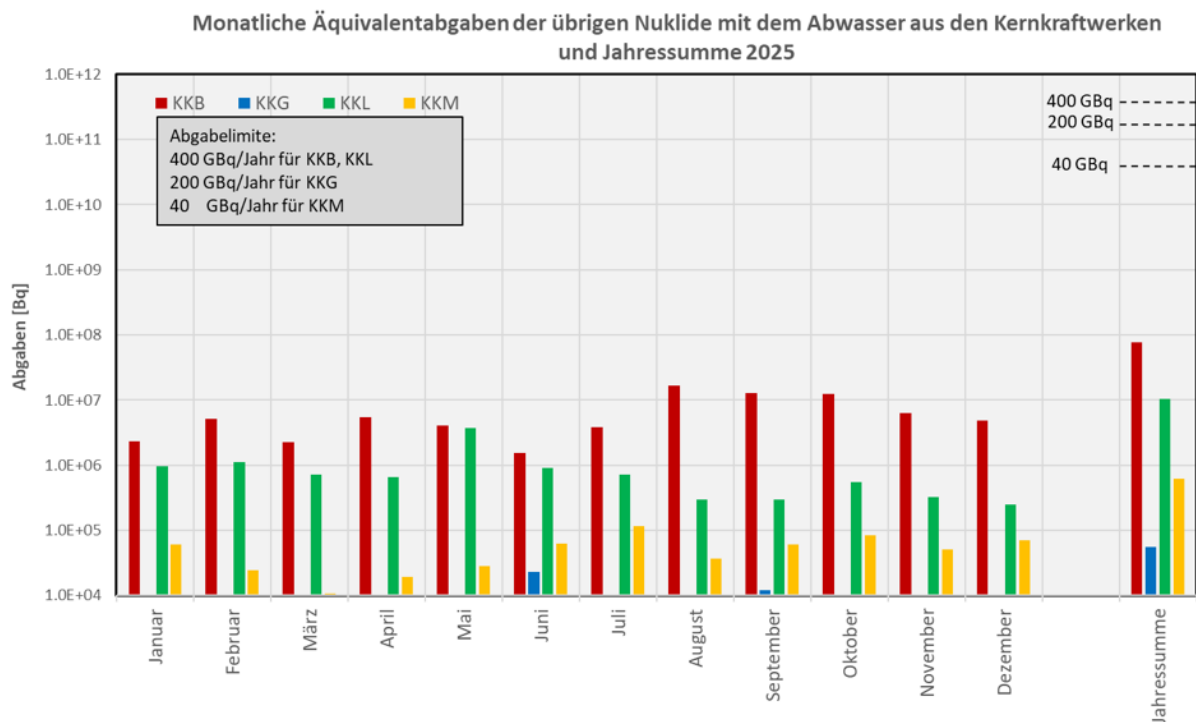
Figur 1.b (Teil 1):

Abgaben der Schweizer Kernkraftwerke an die Atmosphäre und das Abwasser im Jahr 2025 aufgeschlüsselt nach einzelnen Monaten.

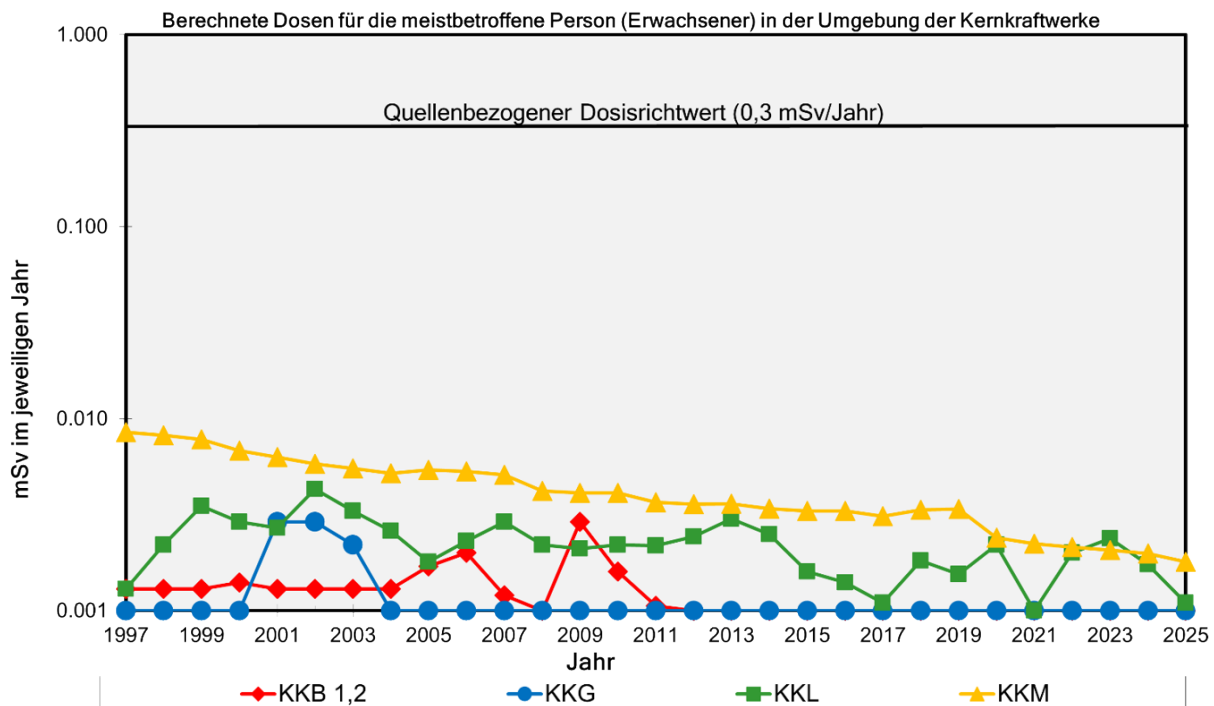


Figur 1.b (Teil 2):

Abgaben der Schweizer Kernkraftwerke an die Atmosphäre und das Abwasser im Jahr 2025 aufgeschlüsselt nach einzelnen Monaten.



Figur 1.b (Teil 3):
 Abgaben der Schweizer Kernkraftwerke an die Atmosphäre und das Abwasser im Jahr 2025 aufgeschlüsselt nach einzelnen Monaten.



Figur 2:
 Berechnete Dosen für die meistbetroffenen Personen* (Erwachsene) in der Umgebung der Schweizer KKW.
 *Bis 2024: 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 KKW konsumiert. An diesem Ort ist der Dosisbeitrag durch die Direktstrahlung aus den KKW vernachlässigbar. Werte kleiner als 0.001 mSv werden in der Figur als 0.001 mSv dargestellt. Ab 2025 (Revision der Berechnungsgrundlage Richtlinie ENSI-G14): Fiktive Person mit Lebensgewohnheiten gemäss dem Konzept der repräsentativen Person nach ICRP-Veröffentlichung 101a und IAEA Safety Standard GSG-10.

Anlage/Block	Betrieb 2025	Typ	Leistung
KKB/Block 1	Leistungsbetrieb: 1. Januar bis 7. April und 24. April bis 31. Dezember Revisionsstillstand: 8. April bis 23. April	Druckwasserreaktor	365 MW
KKB/Block 2	Leistungsbetrieb: 1. Januar bis 31. Juli und 5. Oktober bis 31. Dezember Revisionsstillstand: 1. August bis 4. Oktober	Druckwasserreaktor	365 MW
KKG	Leistungsbetrieb: 1. Januar bis 23. Mai Revisionsstillstand: 24. Mai bis 2. Juli	Druckwasserreaktor	985 MW
KKL	Leistungsbetrieb: 1. Januar bis 27. April und 29. Mai bis 31. Dezember Revisionsstillstand: 28. April bis 28. Mai	Siedewasserreaktor	1'275 MW
KKM	Endgültige Einstellung Leistungsbetrieb: ab 20. Dezember 2019 Brennstofffreiheit seit September 2023	Siedewasserreaktor	- MW

Figur 3:
Betrieb der Kernanlagen 2025.

beim KKB und KKG weniger als 0,001 mSv, bei KKM etwa 0,002 mSv und bei KKL rund 0,001 mSv. Die Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung betrugen somit im Jahr 2025 nur einen Bruchteil des quellenbezogenen Dosisrichtwerts.

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 etwa 0,008 mSv. Diese Dosis ergibt sich hauptsächlich durch die Abgabe von kurzlebigen

radioaktiven Gasen 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 Anteil 0,05 mSv pro Jahr. Die für das Jahr 2025 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.

Tabelle 1:

Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2025 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		
			Abgabe	Äquivalent-abgaben ^{1,2}	Limiten ⁴		mSv/Jahr		
			Bq pro Jahr	Bq pro Jahr	Bq pro Jahr	Prozent der Limite	Erw. mSv/Jahr	10j Kind mSv/Jahr	1j Kind mSv/Jahr
KKB1 + KKB2	Abwasser 4400 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	4,7·10 ⁸	7,7·10 ⁷	4·10 ¹¹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,1·10 ¹³		7·10 ¹³	15,4 %	<0,001	<0,001	<0,001
	Fortluft	Edelgase	3,5·10 ¹²	3,0·10 ¹²	1·10 ¹⁵	0,4 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	3,1·10 ⁵		6·10 ⁹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	1,8·10 ⁶	4,3·10 ⁶	4·10 ⁹	0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	1,0·10 ¹⁰				<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total						<0,001	<0,001	<0,001
KKG	Abwasser 5857 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	8,5·10 ⁵	5,5·10 ⁴	2·10 ¹¹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,6·10 ¹³		7·10 ¹³	23,0 %	<0,001	<0,001	<0,001
	Fortluft	Edelgase	<3,9·10 ¹²	<4,0·10 ¹²	1·10 ¹⁵	<0,4 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	3,3·10 ⁴		1·10 ¹⁰	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I			7·10 ⁹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	3,6·10 ¹⁰				<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total						<0,001	<0,001	<0,001
KKL	Abwasser 12397 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	5,2·10 ⁷	1,0·10 ⁷	4·10 ¹¹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	4,1·10 ¹¹		2·10 ¹³	2,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
	Fortluft	Edelgase	1,0·10 ¹⁰	1,5·10 ¹⁰	2·10 ¹⁵	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole			2·10 ¹⁰	0,0 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	7,8·10 ⁶	7,8·10 ⁶	2·10 ¹⁰	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	4,5·10 ¹¹				<0,001	0,001	<0,001
	Dosis total						<0,001	0,001	<0,001
KKM	Abwasser 1703 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	2,6·10 ⁶	6,2·10 ⁵	4·10 ¹⁰	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	2,0·10 ¹⁰		2·10 ¹²	1,0 %	<0,001	<0,001	<0,001
	Fortluft	Aerosole	8,0·10 ⁵		2·10 ¹⁰	<0,1 %	0,002	0,002	0,002
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	2,9·10 ⁹				<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total						0,002	0,002	0,002
ZZL	Abwasser 694 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	3,9·10 ¹⁰	1,7·10 ⁸	2·10 ¹¹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	3,8·10 ¹⁰				<0,001	<0,001	<0,001
	Fortluft	β-/γ-Aerosole	3,3·10 ⁵		1·10 ⁹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		α-Aerosole	1,6·10 ⁴		3·10 ⁷	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	3,7·10 ⁸		1·10 ¹²	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,1·10 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 2025 und der daraus berechneten Dosen für Einzelpersonen der Bevölkerung (Fussnoten siehe Text).

	PSI Ost				
	Hochkamin	SAPHIR, PROTEUS	Forschungslabor	Betriebs- Gebäude radioaktive Abfälle	Bundes- zwischenlager
Abgaben im Abwasser^{1,2} [Bq/a]					
Nuklidgemisch ohne Tritium	-	-	-	-	-
Tritium	-	-	-	-	-
Abgaben über die Forluft^{1,2} [Bq/a]					
Edelgase und andere Gase	-	-	-	-	-
β/γ -Aerosole, ohne Iod	-	-	-	-	-
α -Aerosole	-	-	-	-	-
Iod : Summe aller Isotope	-	-	-	-	-
Tritium als HTO	$4,2 \cdot 10^{10}$	-	-	$1,4 \cdot 10^{10}$	$4,6 \cdot 10^9$
Kohlenstoff: ^{14}C in CO_2	-	-	-	$1,4 \cdot 10^8$	$8,1 \cdot 10^6$
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:					
Erwachsene	< 0,00015	< 0,00015	< 0,00015	< 0,0015	< 0,00015
Kind 10 Jahre	< 0,00015	< 0,00015	< 0,00015	< 0,0015	< 0,00015
Kleinkinder	< 0,00015	< 0,00015	< 0,00015	< 0,0015	< 0,00015
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert ⁴	< 0,1%	< 0,1%	< 0,1%	< 0,1 %	< 0,1 %

	PSI West		Gesamtanlage des PSI ^{1,2}		
	Zentrale Fortluftanlagen	C-Labor	Abwasser 677 m ³	Fortluft	Äquivalent- abgaben
Abgaben im Abwasser^{1,2} [Bq/a]					
Nuklidgemisch ohne Tritium	-	-	$3,7 \cdot 10^7$	-	$4,0 \cdot 10^6$
Tritium	-	-	$1,1 \cdot 10^{10}$	-	-
Abgaben über die Fortluft^{2,4} [Bq/a]					
Edelgase und andere Gase	$2,1 \cdot 10^{14}$	-		$2,1 \cdot 10^{14}$	$8,3 \cdot 10^{14}$
β/γ -Aerosole, ohne Iod	$2,4 \cdot 10^{10}$	-		$2,4 \cdot 10^{10}$	-
α -Aerosole	-	-		-	-
Iod : Summe aller Isotope	$2,3 \cdot 10^7$	-		$2,3 \cdot 10^7$	-
Tritium als HTO	$5,4 \cdot 10^{12}$	-		$5,5 \cdot 10^{12}$	-
Kohlenstoff: ^{14}C in CO_2	-	-		$1,5 \cdot 10^8$	-
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:					
Erwachsene	0,008	<0,00015	<0,00015		0,008
Kind 10 Jahre	0,008	<0,00015	<0,00015		0,008
Kleinkinder	0,008	<0,00015	<0,00015		0,008
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert ⁴	5,3 %	<0,1 %	<0,1 %		<6 %

Tabelle 3a:

Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 2025:

Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben.

Nuklid β/γ -Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
^3H	$1,1 \cdot 10^{13}$	$1,6 \cdot 10^{13}$	$4,1 \cdot 10^{11}$	$2,0 \cdot 10^{10}$	$1,1 \cdot 10^{10}$	$3,8 \cdot 10^{10}$
^{22}Na					$1,2 \cdot 10^7$	$6,5 \cdot 10^6$
^{24}Na	$3,4 \cdot 10^6$					
^{54}Mn	$8,3 \cdot 10^6$		$3,8 \cdot 10^6$		$4,4 \cdot 10^4$	$9,6 \cdot 10^5$
^{58}Co	$1,7 \cdot 10^7$		$2,9 \cdot 10^5$			
^{60}Co	$1,2 \cdot 10^8$		$4,2 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^6$	$3,4 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^7$
^{65}Zn	$4,7 \cdot 10^7$					
^{89}Sr	$5,2 \cdot 10^5$					
$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$	$6,8 \cdot 10^5$				$1,4 \cdot 10^5$	
^{95}Zr	$3,9 \cdot 10^5$					
^{95}Nb	$8,7 \cdot 10^5$					
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$9,2 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^5$				
^{103}Ru	$1,3 \cdot 10^5$					
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	$1,7 \cdot 10^7$					
^{122}Sb	$2,6 \cdot 10^6$					
^{124}Sb	$1,4 \cdot 10^8$					
^{125}Sb	$4,9 \cdot 10^7$		$5,6 \cdot 10^6$			$1,2 \cdot 10^6$
$^{123\text{m}}\text{Te}$	$1,4 \cdot 10^7$	$7,4 \cdot 10^5$				
^{132}Te	$5,1 \cdot 10^5$	$6,4 \cdot 10^3$				
^{131}I	$2,6 \cdot 10^6$					
^{133}I	$6,3 \cdot 10^5$					
^{134}Cs	$8,4 \cdot 10^5$				$9,8 \cdot 10^3$	$9,3 \cdot 10^5$
^{137}Cs	$4,8 \cdot 10^7$			$1,7 \cdot 10^5$	$5,6 \cdot 10^6$	$5,2 \cdot 10^8$
^{161}Tb					$5,3 \cdot 10^6$	
^{177}Lu					$1,4 \cdot 10^7$	
^{194}Hg						$5,9 \cdot 10^5$
^{195}Au						$1,8 \cdot 10^5$
α -Strahler	*	$9,2 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^4$		*
$^{234/238}\text{U}$					$7,1 \cdot 10^4$	
$^{239/240}\text{Pu}$	$7,8 \cdot 10^3$					$1,5 \cdot 10^3$
$^{238}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$	$4,4 \cdot 10^4$				$1,8 \cdot 10^3$	$5,0 \cdot 10^3$
^{242}Cm	$3,5 \cdot 10^4$					$3,4 \cdot 10^2$
$^{243/244}\text{Cm}$	$5,4 \cdot 10^4$					

*) Angabe umfasst für das KKB und ZZL das 4. Quartal 2024 bis und mit dem 3. Quartal 2025

Tabelle 3b:

Abgaben der Kernanlagen mit der Fortluft, Edelgase und Iod 2025:

Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben.

Nuklid	Abgaben [Bq im Jahr]					
β/γ -Strahler	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
Gase. Edelgase						
Tritium	$5,1 \cdot 10^{11}$	$5,4 \cdot 10^{11}$	$3,6 \cdot 10^{11}$	$6,5 \cdot 10^9$	$5,5 \cdot 10^{12}$	$1,1 \cdot 10^{10}$
^{14}C (CO_2)	$1,0 \cdot 10^{10}$	$3,6 \cdot 10^{10}$	$4,5 \cdot 10^{11}$	$2,9 \cdot 10^9$	$1,5 \cdot 10^8$	$3,7 \cdot 10^8$
^{11}C					$3,2 \cdot 10^{13}$	
^{13}N					$3,4 \cdot 10^{13}$	
^{15}O					$1,4 \cdot 10^{14}$	
^{18}F					$1,0 \cdot 10^{12}$	
^{41}Ar					$1,9 \cdot 10^{12}$	
^{85}Kr						
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	$1,1 \cdot 10^{11}$					
^{88}Kr	$1,8 \cdot 10^{11}$					
^{133}Xe	$1,8 \cdot 10^{12}$		$1,2 \cdot 10^9$			
^{135}Xe	$1,3 \cdot 10^{12}$		$5,6 \cdot 10^9$			
$^{135\text{m}}\text{Xe}$			$1,9 \cdot 10^9$			
^{137}Xe						
EG-Aequiv.		$<4,0 \cdot 10^{12}$				
EG: β -total						
Andere						
Iod						
^{123}I					$7,5 \cdot 10^5$	
^{124}I					$1,8 \cdot 10^3$	
^{125}I					$2,2 \cdot 10^7$	
^{126}I					$3,6 \cdot 10^4$	
^{131}I	$1,8 \cdot 10^6$		$7,8 \cdot 10^6$			
^{133}I	$1,3 \cdot 10^7$					

Tabelle 3c:

Abgaben der Kernanlagen mit der Fortluft, Aerosole 2025: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben.

Nuklid	Abgaben [Bq im Jahr]					
β/γ -Strahler	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
⁷ Be					$4,7 \cdot 10^5$	
²⁴ Na					$1,2 \cdot 10^8$	
⁶⁰ Co		$3,1 \cdot 10^4$		$7,2 \cdot 10^5$	$3,0 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^3$
⁷⁵ Se					$7,0 \cdot 10^5$	
⁷⁷ Br					$4,3 \cdot 10^5$	
^{80m} Br					$6,8 \cdot 10^7$	
⁸² Br					$4,6 \cdot 10^8$	
⁹⁵ Nb	$8,5 \cdot 10^3$					
¹⁰³ Ru	$1,6 \cdot 10^4$					
¹⁰⁶ Ru						$1,1 \cdot 10^3$
¹²¹ Te					$6,3 \cdot 10^4$	
^{123m} Te		$2,0 \cdot 10^3$				
¹³⁷ Cs				$7,8 \cdot 10^4$		$7,5 \cdot 10^3$
¹⁸¹ Re					$4,5 \cdot 10^7$	
¹⁸² Re					$2,0 \cdot 10^8$	
^{182m} Re					$1,6 \cdot 10^7$	
¹⁸³ Re					$1,8 \cdot 10^6$	
¹⁸² Os					$1,5 \cdot 10^8$	
¹⁸³ Os					$1,2 \cdot 10^8$	
^{183m} Os					$3,5 \cdot 10^6$	
¹⁸⁵ Os					$1,1 \cdot 10^7$	
¹⁹¹ Os	$2,9 \cdot 10^5$					
¹⁹¹ Pt					$2,0 \cdot 10^6$	
¹⁹² Au					$1,4 \cdot 10^8$	
¹⁹³ Au					$3,0 \cdot 10^6$	
¹⁹⁴ Au					$1,4 \cdot 10^6$	
¹⁹⁵ Au						$5,9 \cdot 10^3$
^{193m} Hg					$1,1 \cdot 10^7$	
¹⁹⁴ Hg					$1,4 \cdot 10^6$	$3,0 \cdot 10^4$
¹⁹⁵ Hg					$2,2 \cdot 10^{10}$	
^{195m} Hg					$6,7 \cdot 10^7$	
¹⁹⁷ Hg					$4,8 \cdot 10^8$	
^{197m} Hg					$1,1 \cdot 10^8$	
²⁰³ Hg					$4,9 \cdot 10^6$	
Nicht spezifizierte						
α -Aerosole		$5,2 \cdot 10^4$	$8,2 \cdot 10^4$	$7,9 \cdot 10^3$		$1,6 \cdot 10^4$

Fussnoten zu den Tabellen 1 bis 3

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

Abwasser: Die Summe der Abwasserabgaben ist in der Spalte «Abgaben» angegeben. Für den Vergleich mit den Abgabelimiten werden die Werte mit einem Referenz-Immissionsgrenzwert für Gewässer ($IG_{Gw,ref}$ -Wert) von 10 Bq/l umgerechnet und als sogenannte Äquivalentabgaben angegeben:

$$Q_{Aeq} = \sum_i Q_i \frac{IG_{Gw,ref}}{IG_{Gw,i}}$$

Edelgase und Gase: Die Summe der Edelgas- bzw. Gasabgaben ist in der Spalte «Abgaben» angegeben. Für den Vergleich mit den Abgabelimiten werden die Werte mit einem Referenz-Immissionsgrenzwert für Luft ($IG_{Lf,ref}$ -Wert) von 2'000 Bq/m³ umgerechnet und als sogenannte Äquivalentabgaben angegeben:

$$Q_{Aeq} = \sum_i Q_i \frac{IG_{Lf,ref}}{IG_{Lf,i}}$$

Iod: Bei den Kernkraftwerken ist die Abgabe von ¹³¹I limitiert; somit ist bei den bilanzierten Abgaben nur dieses Iod-Isotop angegeben. Beim PSI ist die Abgabe für die einzelnen Abgabestellen und die Gesamtanlage als Summe der Aktivität der gemessenen Iod-Nuklide angegeben. Für die Gesamtabgabe des PSI wird zudem auch ein ¹³¹Iod-Äquivalent als gewichtete Summe der Aktivität der Iod-Nuklide angegeben.

Für die Berechnung der Jahresdosis werden sowohl für die KKW wie für das PSI immer sämtliche verfügbaren Iod-Messungen verwendet.

² Abgaben kleiner als 1'000 Bq werden in den Tabellen 3a-3c nicht aufgeführt.

³ Die **Jahresdosis** wird für fiktive Personen mit Lebensgewohnheiten gemäss dem Konzept der repräsentativen Person nach ICRP-Veröffentlichung 101a und IAEA Safety Standard GSG-10 abgeschätzt. Die Dosis wird mit den in der 2025 revidierten Richtlinie ENSI-G14 angegebenen Modellen und Parametern ermittelt. Dosiswerte kleiner als 0,001 mSv werden nicht angegeben.

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 pro 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.

8.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen

M. Meshkian, A. Leupin

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 zur Bestimmung der Ortsdosisleistung durch. Die Messungen aller Betreiber und des ENSI gaben 2025 keinen Hinweis auf eine Verletzung der nach Art. 79 Absatz 2 StSV anzuwendenden Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Betriebsareals von 0,02 mSv pro Woche für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 0,1 mSv pro Woche für andere Bereiche.

Ergebnisse 2025

Die Ortsdosisleistung ist im Nahbereich (beispielsweise am Arealzaun) des Siedewasserreaktor 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. Zudem können Abfalllager zu einer erhöhten Ortsdosis am Zaun beitragen. Rückbauarbeiten, wie sie im KKW Mühleberg stattfinden, können ebenfalls zu temporären Erhöhungen der Ortsdosis am Zaun führen. An der Arealgrenze des KKB wurden in den Quartalsmessungen des ENSI Ortsdosisleistungen (ODL) zwischen dem natürlichen Untergrund (NU) von 0,07 Mikrosievert pro Stunde ($\mu\text{Sv/h}$) und 0,11 $\mu\text{Sv/h}$ festgestellt. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes einer maximalen Ortsdosis (OD) von 0,007 mSv pro Woche. Mittels den quartalsweise ausgewerteten Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) wurde nach Abzug des NU am meistexponierten Ort eine OD von 0,008 mSv pro Woche ermittelt.

Beim KKG wurden am Zaun bei den Messungen des ENSI ODL zwischen 0,07 $\mu\text{Sv/h}$ (NU) und 0,09 $\mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Nach Abzug des NU entspricht dies einer höchsten wöchentlichen OD von 0,003 mSv. Mittels Environmental Direct Ion Storage-Dosimeter (EDIS) konnte keine signifikante Erhöhung der Ortsdosis über dem natürlichen Untergrund festgestellt werden.

Am Zaun des KKL ermittelte das ENSI bei seinen vierteljährlichen Messungen Ortsdosisleistungen zwischen 0,07 $\mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und 0,19 $\mu\text{Sv/h}$. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes am meistexponierten Ort einer Erhöhung der Ortsdosis von etwa 0,020 mSv pro Woche. Die vom KKL quartalsweise ausgewerteten EDIS am Zaun ergeben nach Subtraktion des NU eine maximale, auf eine Woche gemittelte Erhöhung der Ortsdosis von etwa 0,013 mSv.

Am Zaun des KKM ermittelte das ENSI bei seinen vierteljährlichen Messungen Dosisleistungen zwischen 0,07 $\mu\text{Sv/h}$ (NU) und 0,11 $\mu\text{Sv/h}$. Auf eine Woche

hochgerechnet würde, basierend auf dem maximalen Momentanwert am meistexponierten Ort, eine Erhöhung der Ortsdosis von etwa 0,007 mSv resultieren. Die vom KKM quartalsweise ausgewerteten TLD am Zaun ergeben nach Subtraktion des natürlichen Untergrundes eine maximale, auf eine Woche gemittelte Erhöhung der Ortsdosis von etwa 0,008 mSv.

Am Zaun des PSI ermittelte das ENSI bei seinen vierteljährlichen Messungen Ortsdosisleistungen zwischen 0,07 $\mu\text{Sv/h}$ (NU) und 0,10 $\mu\text{Sv/h}$. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes am meistexponierten Ort einer Erhöhung der Ortsdosis von ca. 0,005 mSv pro Woche. Die vom PSI quartalsweise ausgewerteten TLD am Zaun ergeben nach Subtraktion des natürlichen Untergrundes eine

maximale, auf eine Woche gemittelte Erhöhung der Ortsdosis von etwa 0,008 mSv.

Beim ZZL konnte mittels den Quartalsmessungen, bei denen die ODL-Werte zwischen 0,07 $\mu\text{Sv/h}$ (NU) und 0,09 $\mu\text{Sv/h}$ lagen, eine auf dem Maximalwert der ODL basierende Erhöhung der wöchentlichen OD von 0,003 mSv nach Abzug des NU bestimmt werden. Dieselbe Auswertung der TLD am Zaun ergab eine Erhöhung der OD nach Abzug des NU von 0,002 mSv pro Woche.

8.3 MADUK: Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke

B. Bucher, M. Arnold

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 automatisch angezeigt werden.

Die Messwerte im Jahr 2025 lagen im üblichen Rahmen wie in früheren Jahren. Bis auf eine Ausnahme waren alle registrierten Erhöhungen auf Washout-Effekte natürlicher Radionuklide zurückzuführen. Erhöhte Ortsdosisleistungswerte, die auf Abgaben der Kernkraftwerke zurückzuführen wären, wurden keine festgestellt. Am 29. April führte bei der Station B-15 (Mandach, Gemeindehaus) eine radioaktive Quelle für medizinische Zwecke, die sich in einem in unmittelbarer Nähe zur Messsonde geparkten Auto befand, zu erhöhten Messwerten und der Alarmierung der Notfallorganisation des ENSI.

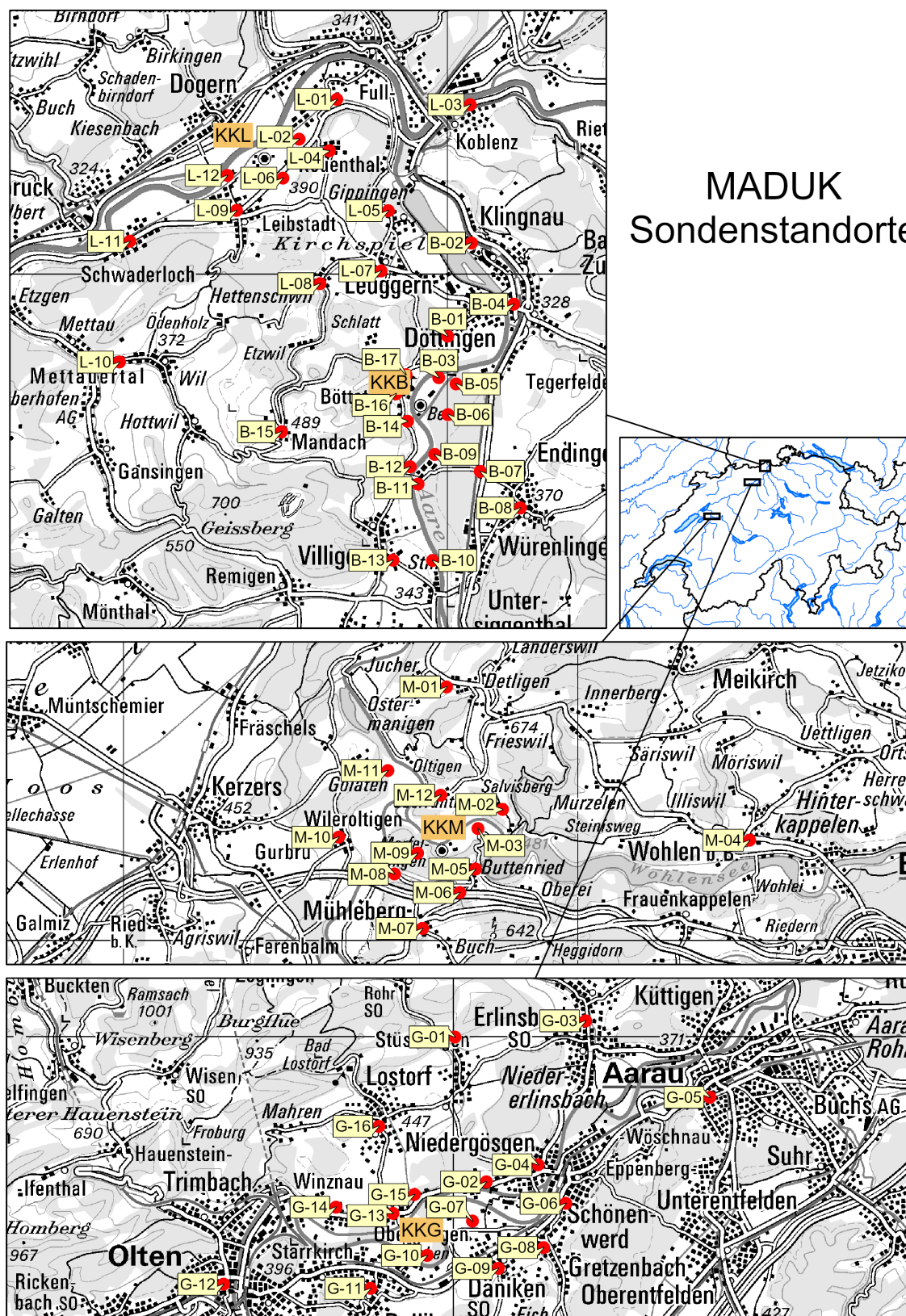
Übersicht

Das MADUK-System inklusive der Einrichtungen zur Übernahme von Anlageparametern (ANPA) und Kaminemissionswerten (EMI) aus den Kernkraftwerken wurde im Laufe des Jahres 1993 aufgebaut und ab Frühling 1994 in den operationellen Betrieb überführt. Da das System die Dosisleistung $H^*(10)$ in der Umgebung der Kernkraftwerke ganzjährig rund um die Uhr misst und überwacht, dient es der Beweissicherung für die Behörden und gegenüber der Öffentlichkeit. Ebenso ermöglicht es das Erkennen von Betriebsstörungen und Unfällen, da Erhöhungen über den natürlichen Dosiswerten ab einem vordefinierten Schwellenwert automatisch gemeldet werden. Bei einem Störfall unterstützt MADUK die Notfallorganisation bei der Bestimmung des betroffenen Gebietes und bei der Einschätzung der möglichen Massnahmen. Zudem trägt MADUK mit einem schnellen Datenaustausch zur erfolgreichen Zusammenarbeit mit den involvierten Behörden bei.

Das MADUK-Netz zur Messung der Dosisleistungen besteht aus insgesamt 57 Immissionsmessstationen in der Umgebung der vier KKW. Die Messsonden

des MADUK-Systems komplettieren und ergänzen das gesamtschweizerische Messnetz zur Radioaktivitätsüberwachung, das mit dem NADAM-Netz auf weitere 76 Messstationen zählen kann. Die Geiger-Müller-Zählrohre in den Sonden ermitteln die Gamma-Dosisleistung im Messbereich von 10 nSv/h (Niederdosiszählrohr) 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. Zudem erfolgt ein permanenter Datenaustausch mit externen Partnern wie der NAZ und der Kernreaktorfernüberwachung Baden-Württemberg. Die Figure 1 zeigt die Standorte der Messsonden in der Umgebung der KKW.

Auf der Internetseite <https://ensi.ch/de/messwerte-radioaktivitat> sind alle seit 1994 archivierten Tages-, Stunden- und Zehn-Minuten-Mittelwerte der MADUK-Stationen abrufbar.



Figur 1:

Die Messstationen von MADUK um die vier KKW-Standorte. Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.

Systeminstandhaltung und -ergänzung

Im 2. Quartal 2025 wurden die Rechner für die physischen Erfassung der Dosisleistungsdaten der MADUK-Stationen virtualisiert. Die Migration konnte aufgrund der vorhandenen Redundanzen ohne Unterbruch des Betriebs von MADUK durchgeführt werden. Mit diesen Arbeiten konnte die vollständige Virtualisierung der MADUK-Systeme im ENSI abgeschlossen werden

Systemverfügbarkeit und Störungen

Die System- und Datenverfügbarkeit ist bei MADUK von besonderer Bedeutung, da das System eine kontinuierliche Überwachung gewährleisten muss, die auch von der Öffentlichkeit wahrgenommen wird. Die entsprechenden Kenngrößen wurden auf den 1. Januar 2024 neu definiert. Mit der Kenngrösse «Systemverfügbarkeit» (Zielwert 100 %) wird die Verfügbarkeit der MADUK-Zentrale beurteilt, mit der Kenngrösse «Datenverfügbarkeit» (Zielwert 99 %) die Verfügbarkeit der verschiedenen, in MADUK erfassten Daten. Im Jahr 2025 lag die Kenngrösse «Systemverfügbarkeit» bei 100 %, die Kenngrösse «Datenverfügbarkeit» bei 99.4 %.

Bei den MADUK-Messstationen wurde ein einziger Unterbruch grösser eine Stunde verzeichnet. Dabei fiel bei der Station M-11 (Golaten, Wittenberg) am 29. April die ODL-Messung während drei Stunden aus. Nach einem automatischen Neustart der Messsonde lief die Messung wieder einwandfrei. Längere Unterbrüche verhinderte die Redundanz in der Datenübertragung via Satelliten, womit diverse Ausfälle in der Mobilfunkübertragung überbrückt werden konnten. Die Verfügbarkeit der Dosisleistungsdaten aller MADUK-Stationen im Archiv betrug 99.99 %.

Ebenfalls ohne längere Unterbrüche lief die Übertragung der ANPA-/EMI-Daten. Wartungsarbeiten führten bei KKL während der Jahresrevision zu einem Unterbruch von sechs Stunden. Bei KKG wurden insgesamt vier Unterbrüche grösser eine Stunde verzeichnet mit einer Maximaldauer von 2.3 Stunden während des Anlagenstillstands.

Den grössten negativen Beitrag zur Kenngrösse Datenverfügbarkeit lieferten Unterbrüche bzw. Ausfälle von Meteodaten. So kam es im April und Mai zu längeren Ausfällen der Windmessungen bei der SwissMetNet-Station KKG von insgesamt rund 130 Stunden. Im September wurde ein Ausfall von 165 Stunden bei der SwissMetNet-Station KKB registriert.

Bei den ODL-Daten aus der Kernreaktorfernüberwachung Baten-Württemberg wurden Ende November aufgrund von Unterhaltsarbeiten Ausfälle bzw. Verzögerungen in der Datenlieferung einzelner Stationen über rund 50 Stunden beobachtet.

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.

Im dritten Quartal 2025 erfolgte, wie üblich, eine jährliche Funktionsprüfung der Messsonden mit Hilfe einer radioaktiven Quelle. Alle Messsonden erfüllten die Prüfkriterien.

Als weitere qualitätssichernde Massnahme führt das ENSI üblicherweise Messungen mittels In-situ-Gammaspektrometrie bei den Messstationen durch.

Tabelle 1:

Auflistung der Schwellwertüberschreitungen durch die Netto-dosisleistung im Jahr 2025.

Datum	Station	Dauer [h]	Max. NDL [nSv/h]	Max. ODL [nSv/h]
29.04.2025 20:10	B-15	2.0	141	245
25.07.2025 19:00	G-07	0.5	63	166
26.07.2025 19:00	G-05	0.5	54	144
26.07.2025 16:50	B-13	0.5	71	189
26.07.2025 17:50	L-10	0.3	57	171
31.07.2025 01:20	B-12	0.2	50	147
19.08.2025 14:00	G-02	0.2	190	290
20.08.2025 20:40	L-06	1.0	94	215
20.08.2025 20:30	L-12	1.2	72	198
20.08.2025 21:20	L-09	0.2	50	185
20.08.2025 10:30	B-11	0.2	389	494

Im Jahr 2025 erfolgten die Messungen an den MADUK-Standorten der Messringe des KKB und des KKM. Bei allen Messungen konnten keine Immissionen aufgrund der Kernanlagen nachgewiesen werden.

Messergebnisse

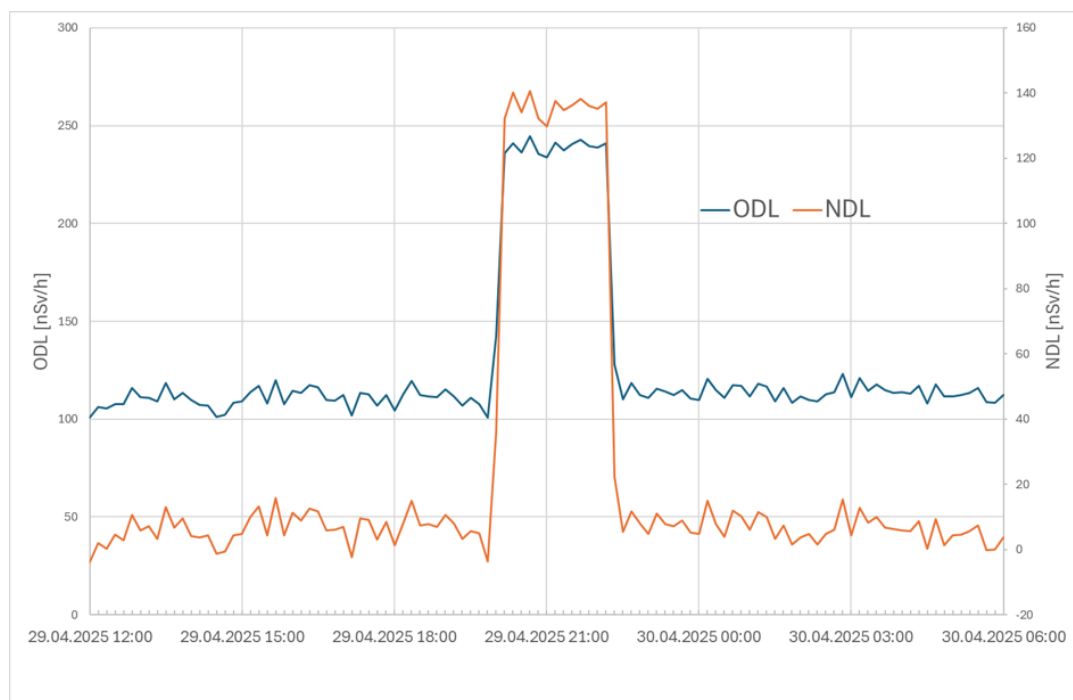
Im Jahr 2025 verzeichneten die Messstationen insgesamt elf Verletzungen des Nettodosisleistungsschwellenwertes von 50 nSv/h (Tabelle 1). Zwei Erhöhungen (G-02 – Niedergösgen Mülifeld, 19. August 2025, 14 Uhr; B-11 – Würelingen, PSI Personalrestaurant, 20. August 2025, 10.30 Uhr) waren auf Messungen im Rahmen der Funktionsprüfung 2025 zurückzuführen. Bei der Funktionsprüfung wird die Station jeweils in den Testzustand gesetzt, womit auch die Messwerte entsprechend gekennzeichnet werden. Bei den beiden Stationen G-02 und B-11 wurde die Station zu früh wieder in den Normalbetrieb gesetzt. Dadurch wurden die Messwerte nicht korrekt gekennzeichnet und über die normale Verarbeitung auch auf dem Internet publiziert.

Am 29. April ab 20.10 Uhr zeigte die Messstation B-15 (Mandach, Gemeindehaus) erhöhte Messwerte (Figur 2). In der Folge wurde um 21.16 Uhr der ENSI-Piketzingenieur automatisch alarmiert. Um 22.20 Uhr fielen die Messwerte auf das normale

Niveau ab. Die Erhöhung war über die gesamte Zeit innerhalb der Messunsicherheiten konstant. Dies liess eine konstante radioaktive Quelle in der näheren Umgebung der Messstation vermuten. Die Messstation liegt in unmittelbarer Nähe zum Gemeindehaus sowie zum Schulhaus und der Mehrzweckhalle. Mit Hilfe der Gemeinde Mandach konnte als Ursache eine radioaktive Quelle für medizinische Zwecke identifiziert werden, die sich in einem während dieser Zeit geparkten Auto in unmittelbarer Nähe zur Messsonde befand. Alle anderen registrierten Erhöhungen über dem Schwellenwert waren auf Washout von natürlichen Radionukliden zurückzuführen.

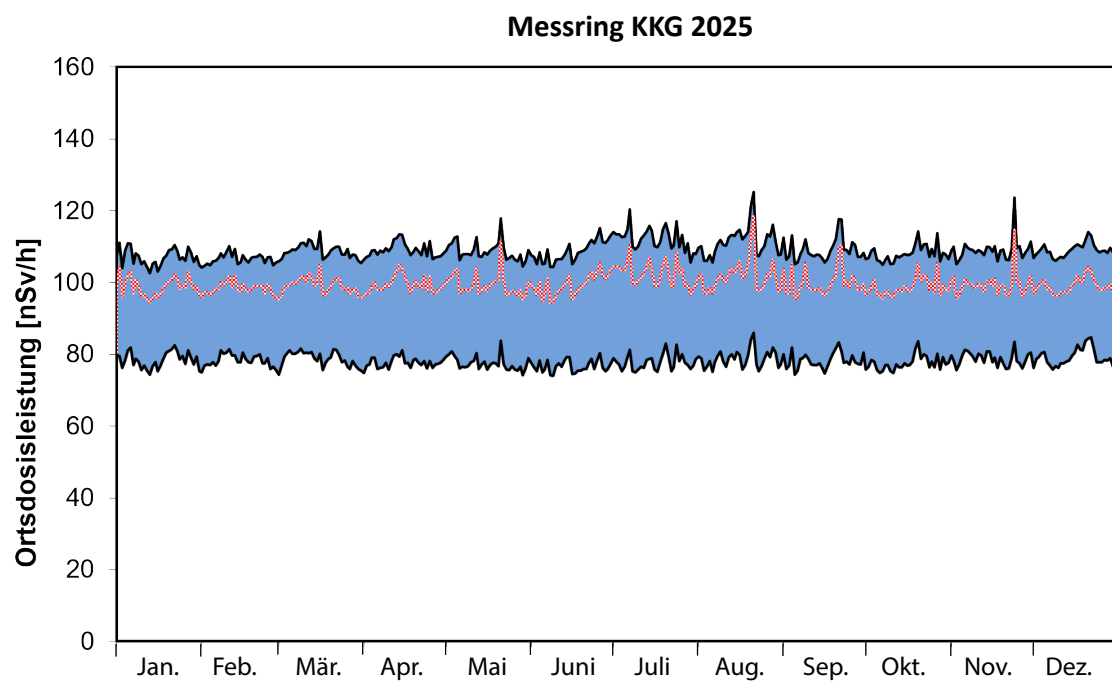
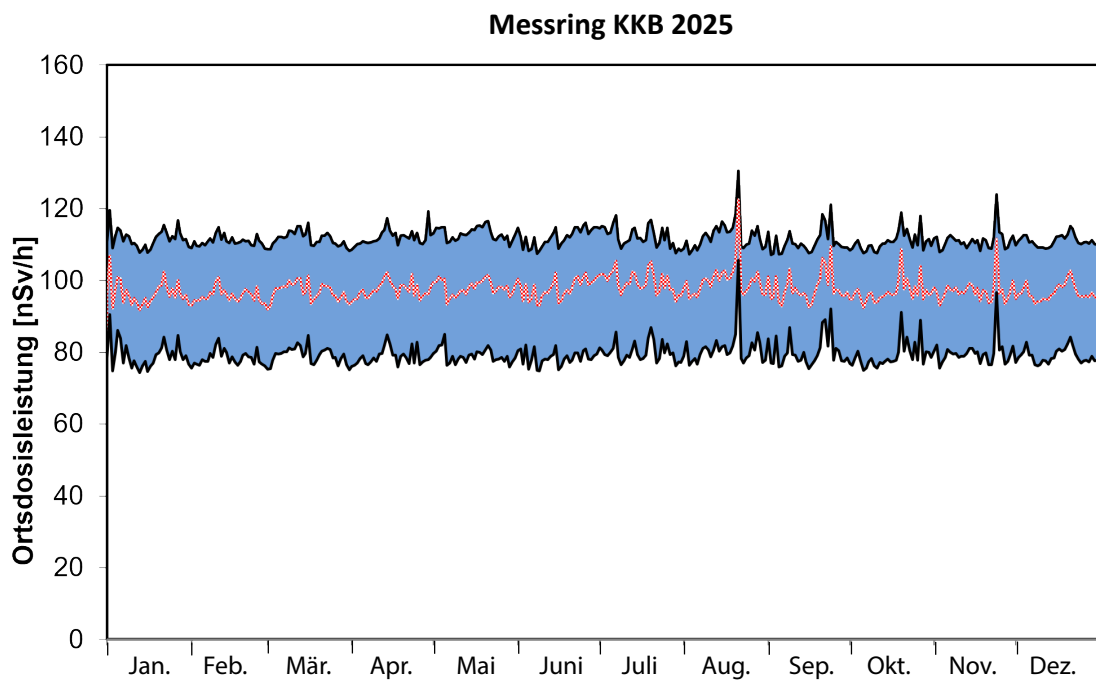
Das ENSI stellte keine erhöhten Ortsdosisleistungswerte fest, welche auf die Abgaben der KKW zurückzuführen waren.

Die Figuren 3 und 4 zeigen die Maxima, die Minima und die Medianwerte der Tagesmittelwerte der jeweiligen einem KKW zugeordneten Messstationen im Berichtsjahr.

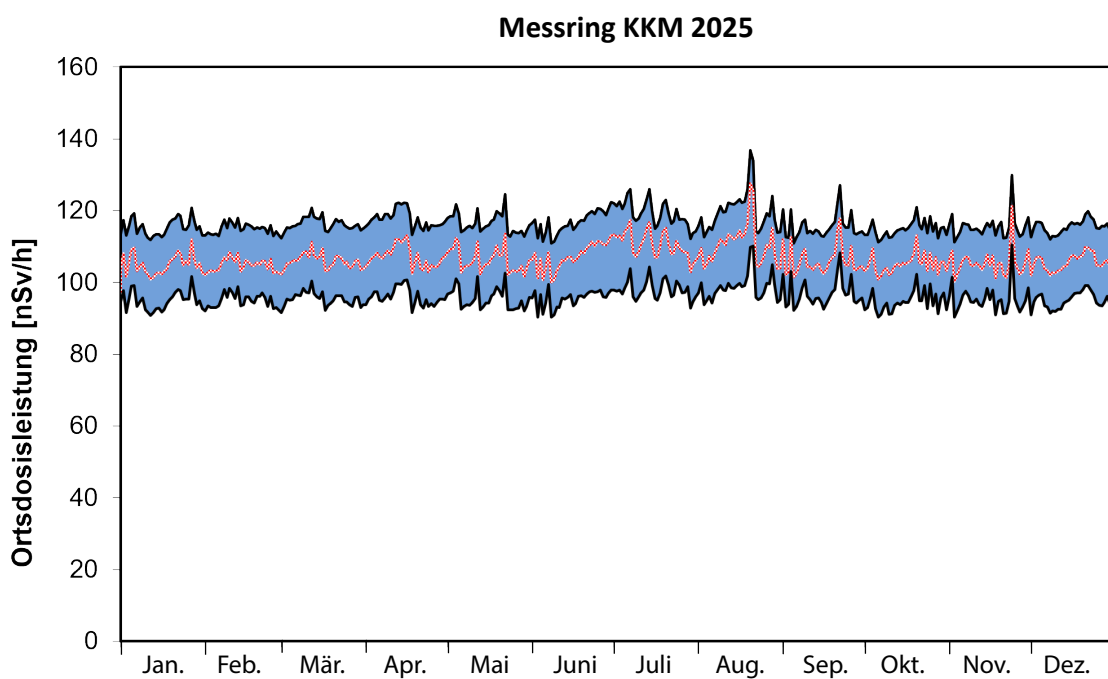
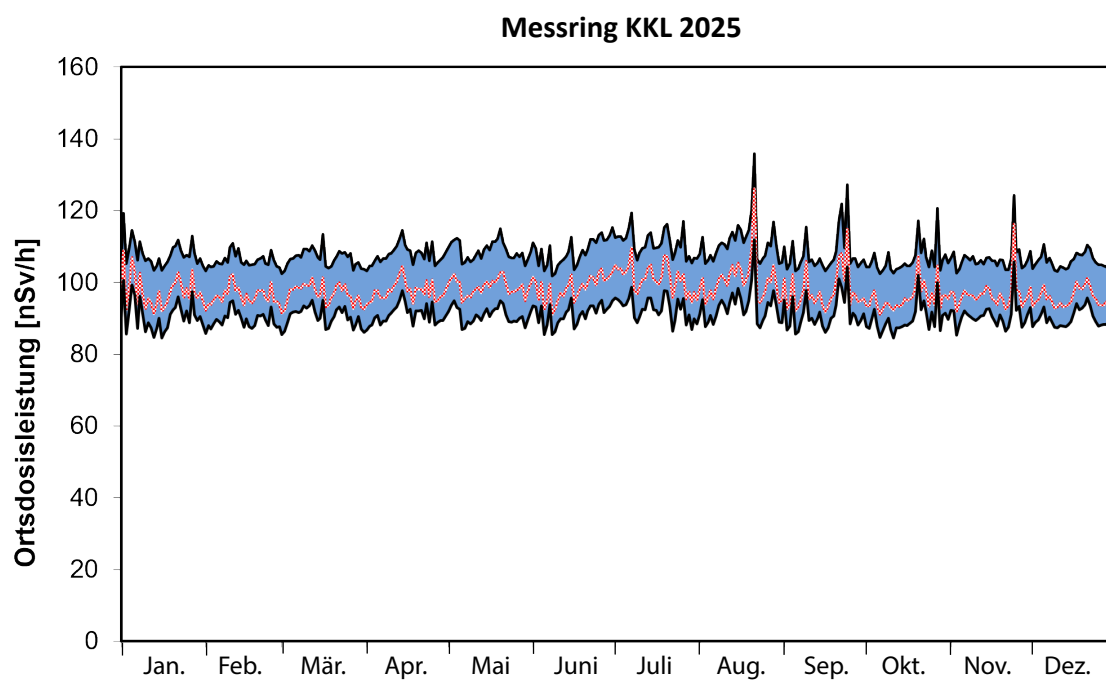


Figur 2:

Verläufe der ODL und NDL bei der Station B-15, Gemeindehaus Mandach, am 29. April 2025.



Figur 3:
Maxima, Minima und Medianwerte der Tagesmittelwerte für die Messstationen bei KKB und KKG im Jahr 2025..



Figur 4:
Maxima, Minima und Medianwerte der Tagesmittelwerte für die Messstationen bei KKL und KKM im Jahr 2025.

8.4 Überwachung des zentralen Zwischenlagers (ZWILAG)

P. Kramer, M. Jäggi, P. Zimmermann, O. Welte, 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 Zwischenlager Würenlingen AG) durch. Die Staubfangplatten sind mit Vaseline beschichtet und werden Gamma-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 Gamma-spektrometrischen Messung eine radiochemische Trennung zur Bestimmung von Alfa- und Beta-Strahlern (^{90}Sr , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{244}Cm und ^{131}I). Die Ergebnisse der Gamma-Spektrometrie zeigen einen deutlich abnehmenden Trend für das anthropogene Radionuklid ^{137}Cs von ca. 100 – 150 Bq/kg im Jahr 1997 auf Werte zwischen 9 - 33 Bq/kg für das Jahr 2025. Diese Abnahmen sind mit dem radioaktiven Zerfall (die Halbwertszeit von ^{137}Cs beträgt 30,17 Jahre) und mit der langsamen Verlagerung aus der obersten Bodenschicht in etwas tiefere Schichten durch neu darüber entstehendes Bodenmaterial zu erklären [1]. Die Abnahmen für die anthropogenen Radioisotope ^{90}Sr und $^{239+240}\text{Pu}$ sind genauso festzustellen, zumal diese Radionuklide noch früher zu Beginn der 1960er Jahre als Fallout von oberirdischen Kernwaffentests in die Bodenschichten eingetragen wurden. So sanken die Aktivitätskonzentrationen für ^{90}Sr von 6 – 10 Bq/kg, Stand 1997, auf unterhalb der Nachweisgrenze $<(2 - 4)$ Bq/kg und diejenigen für $^{239+240}\text{Pu}$ von 0,4 – 0,9 Bq/kg (1997) auf 0,08 – 0,31 Bq/kg im Jahr 2025.

Die Isotopenverhältnisse von $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ betrugen im Mittel 0,55 in 2025 - bei einem erwarteten Wert von 0,35. Dies entspricht trotz einer gewissen Abweichung, verursacht durch die Messunsicherheiten, den langjährigen Erfahrungen. Für das Isotopenpaar $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ konnte das Verhältnis von erwartet 0,03 bestätigt werden. Es betrug im Mittel der Zwilag-Proben 0,024.

Einleitung

Das Zwischenlager (Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG) für radioaktive Abfälle aus Kernkraftwerken wurde im Jahr 1999 in unmittelbarer Nähe zum Paul Scherrer Institut erbaut und 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 [2]. 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-Reaktorunfall im Jahr 1986. Seit der Durchführung dieser Studie zur Beweissicherung werden im Routinebetrieb einmal jährlich an 4 Erhebungsorten Waldbodenproben aus der oberen Schicht (0 – 5 cm) erhoben, getrocknet, verarbeitet und im Labor auf ihren Radionuklid-Gehalt untersucht. Für die kontinuierliche Überwachung des Luftpfades sind das ganze Jahr über 4 Staubfangplatten entlang der Umzäunung des Zwilag angebracht.

Radiochemische Trennmethoden für die Bearbeitung der Bodenproben

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 Trockenveraschung wird die Probe in 6 M HCl unter Kochen während 1 Stunde ausgelaugt („Leaching“), sodass die oberflächlich adsorbierten Fallout-Produkte in Lösung gehen. Die Lösung, welche die Fraktionen von Pu, Am und Cm, aber auch U und Th enthält, wird filtriert, um die verbleibenden festen Partikel zu entfernen.

Diese Leach-Lösung wird auf eine DGA-Säule gegeben. Dabei werden die Actinoiden auf der Säule vorkonzentriert. Die zweiwertigen Erdalkalisalze und damit auch das ^{90}Sr laufen durch, werden eingedampft und mit Ca-Oxalat gefällt. Mit Hilfe einer Sr-Resin-Säule wird das ^{90}Sr schliesslich für die Analyse isoliert. Die Actinoiden werden von der DGA eluiert und zu einer 8 M HNO_3 Lösung hochkonzentriert. Durch die Zugabe von H_2O_2 (Oxidationsmittel) wird unter Erhitzen das Plutonium vorwiegend in die Oxidationsstufe als Pu^{4+} gebracht. Die auf Raumtemperatur abgekühlte Lösung wird über eine Anionentauscher-Kolonne (Bio-Rad AG 1-X2, 100-200 mesh) gegeben. Durch Zugabe von HNO_3 und HCl-Waschlösungen werden potentiell bei der Alfa-Spektrometrie interferierende, natürliche

Radionuklide abgetrennt (z.B. Alfa-Emission des natürlichen Radionuklids ^{228}Th interferiert mit dem künstlichen Radionuklid ^{238}Pu bei 5,4 MeV). Im folgenden Schritt wird die Pu-Fraktion mit einer HI/HCl-Lösung eluiert. Diese bewirkt die Reduktion von Pu^{4+} zu Pu^{3+} , welches bei tiefem pH in Lösung geht. Die durch die Bio-Rad-Kolonne gelaufene Fraktion, welche ebenso das Am und Cm enthält, wird über zwei zusammengesteckte Kolonnen geführt, einer UTEVA-Kolonne zur Retention von U und Th und einer DGA-Säule, die das Am und das Cm adsorbiert. Die Elution von Am/Cm erfolgt mit einer schwach salzsauren NaNO_2 Lösung. Da Am in sehr geringer Konzentration vorliegt, ist ein weiterer Reinigungsschritt, die Trennung von den Lanthanoiden mit einer TEVA-Säule notwendig. Die Fraktionen von Pu bzw. Am und 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 verschiedenen Messpräparate über 3 Tage mit hochauflösender AlfaSpektrometrie gemessen (alle Details in [2]).

Das Radionuklid ^{90}Sr (reiner Beta-Strahler) wird nach der chemischen Trennung über einer Säule mit Sr-Resin eingedampft und in 2 ml Toluolsulfonsäure gelöst. Die Lösung wird mit der Szintillationsflüssigkeit Ultima Gold LLT vermischt und anschliessend im Flüssigszintillations-Spektrometer gemessen.



Figur 1 :

Die Staubfangplatten sind rund um die Zwiilag auf unauffällige Weise angebracht. Die Positionierung in der Höhe von ca. 2 m über Boden sorgt dafür, dass sich vorwiegend feinere Partikel aus der Luft und Niederschlägen absetzen und dass sich etwas weniger grobe Partikel, die von der unmittelbaren Umgebung stammen könnten, auf den Platten befinden. Fotos: O. Welte, P. Zimmermann.

Staubfangplatten

Die 4 Staubfangplatten, eine pro Himmelsrichtung, befinden sich entlang der Umzäunung des Zwiilag-Areals. Die Probenerhebung erfolgt monatlich, d.h. die Staubfangplatten werden nach etwa 4 Wochen Exposition ausgewechselt. Im Labor wird die Mischung aus Partikeln, Staub und Vaseline unter Erwärmung von der Kunststoffplatte abgezogen und in einem Metallschälchen gesammelt. Mittels hochauflösender Gamma-Spektrometrie werden Photonen-emittierende Radioisotope wie ^7Be , ^{241}Am , ^{137}Cs und ^{131}I gemessen. Die Gamma-Messung dauert 15 Stunden.

Niederschlag

In einem monatlichen Turnus wird das in diesem Zeitraum anfallende Niederschlagswasser aus dem Niederschlagssammler beim Zwiilag-Areal entnommen und ein neuer Probenbehälter platziert. 10 ml dieser Wasserproben werden für die Tritium-Messung verwendet und grossvolumige Monatsmischproben (falls verfügbar 6 Liter) werden für die Langzeit-Gamma-Spektrometrie genommen. Gemessen werden anthropogene Radionuklide wie ^{137}Cs , für welches bei den Langzeitmessungen von 48 Stunden Dauer tiefe Nachweisgrenzen von bis zu 0,04 Bq/Liter erreicht werden.

Resultate und Diskussion

Messresultate Bodenproben

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 die natürlichen terrestrischen Isotope aus den U- und Th-Zerfallsreihen (als ^{226}Ra und ^{228}Ra ausgewiesen) zusammengefasst.

Dargestellt ist der Streubereich der Probenmessungen aus den vier Bodenentnahmestellen rund um das Zwiilag-Areal. Die meisten Aktivitätskonzentrationen sind über die Zeit innerhalb der Messunsicherheiten stabil und liegen auf sehr tiefem Niveau. Die Aktivitätskonzentrationen einiger Nuklide lagen unterhalb der Nachweisgrenze des verwendeten Messverfahrens.

Für 2025 konnte ^{238}Pu in Spuren nachgewiesen werden. Der Bereich für ^{238}Pu reichte von 0,002 Bq/kg bis 0,008 Bq/kg. Die typischen Aktivitätskonzentrationen von $^{239+240}\text{Pu}$ lagen zwischen 0,08 und 0,31 Bq/kg. Die Messwerte entsprachen damit in etwa denjenigen aus dem Vorjahr. Die Aktivitätskonzentrationen von ^{241}Am bewegten sich zwischen 0,07 und 0,16 Bq/kg und lagen damit im Erfahrungsbereich. Der Wertebereich für das Spaltprodukt ^{90}Sr lag 2025 durchgehend unterhalb der Nachweisgrenze von $< 1,6$ Bq/kg bis < 4 Bq/kg. Für ^{90}Sr ist die Erwartung, dass die Konzentrationen einem langsamen Abbau- und Zerfallstrend folgen. Es kann also sein, dass gelegentlich wieder Messwerte rund um die Nachweisgrenze auftreten werden. Die Resultate für ^{137}Cs (9 – 33 Bq/kg, im Mittel 17 Bq/kg) liegen im Bereich des langjährigen Mittels. Der Grund für die gut messbaren Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs ist der Beitrag von Fallout-Cäsium aus dem Chernobyl-Reaktorunfall von 1986.

Das Isotopenverhältnis für die Pu-Isotope $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ betrug dieses Jahr 0,024 im Mittel. Das aus dem Fallout erwartete Isotopenverhältnis von $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ liegt aufgrund langjähriger Erfahrung bei 0,03, dem auch die Resultate entsprechen. Für das andere charakteristische Isotopenverhältnis zwischen $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ wurde ein Mittelwert von 0,55 bestimmt (erwartet 0,35, auch in diesem Jahr wieder etwas nach oben abweichend).

Tabelle 1:

Anthropogene Fallout-Isotope in Bodenproben aus der Umgebung der Zwiilag (^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{131}I) und natürlich vorkommende terrestrische Isotope (^{226}Ra , ^{228}Ra) im Verlauf der letzten fünf Jahre (2021-2025). Alle Werte in Bq/kg Trockengewicht.

Isotop	2021	2022	2023	2024	2025
^{90}Sr	$< 1,3 - < 3,5$	$< 1 - < 2$	$< 2,6 - < 4,1$	$< 2 - < 4$	$< 1,6 - < 4$
^{131}I	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
^{134}Cs ⁽¹⁾	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
^{137}Cs	7 – 60	8 – 30	9 – 41	10 – 21	9 – 33
^{238}Pu	0,02 – 0,06	$< 0,01$	$< 0,01$	$< 0,004 - 0,006$	0,002 – 0,008
$^{239+240}\text{Pu}$	0,2 – 1,0	0,2 – 0,4	0,06 – 0,5	0,09 – 0,29	0,08 – 0,31
^{241}Am	0,02 – 0,4	0,05 – 0,3	0,03 – 0,2	0,09 – 0,15	0,07 – 0,16
^{226}Ra	19 – 30	25 – 35	17 – 32	22 – 29	19 – 32
^{228}Ra	15 – 40	20 – 40	22 – 35	20 – 37	16 – 38

⁽¹⁾ Die Halbwertszeit von ^{134}Cs beträgt nur 2,06 Jahre, d.h. das Radioisotop ist inzwischen abgeklungen, da seit 1986 fast 40 Jahre vergangen sind.

Diese Ergebnisse stützen nach wie vor die Annahme, dass die gemessenen Werte für die Actinide den oberirdisch durchgeführten Kernwaffentests, welche bis vor 63 Jahren noch durchgeführt wurden, zuzuschreiben sind [2,3]. Tabelle 1 zeigt den Vergleich der Aktivitätskonzentrationen der Fallout-Radioisotope der letzten fünf Jahre.

In den Bodenproben wurden neben den anthropogenen Radionukliden auch typische Aktivitätskonzentrationen der U- und Th-Zerfallsreihen von 16 – 38 Bq/kg über die Gammastrahlung der Zerfallsprodukte von ^{226}Ra und ^{228}Ra nachgewiesen. Die Werte des natürlichen Uran/Thorium liegen konstant im Bereich 20 - 40 Bq/kg und zeigen keinen Trend über die Zeit, da diese Radionuklide fest in den Kristallgittern der Bodenminerale eingelagert 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. es handelt sich um typische Werte für Böden und Gesteine der Erdkruste in der Schweiz. Für das ebenfalls natürlich vorkommende Radioisotop ^{40}K wurden Aktivitätskonzentrationen zwischen 166 und 453 Bq/kg gemessen, ein stabiler Wert auch über die Jahre gesehen.

Messresultate Staubfangplatten

Weniger aufwändig ist die Auswertung der Staubfangplatten. Mit der monatlichen Sammlung der auf dem Fett anhaftenden Partikel ist praktisch eine kontinuierliche Überwachung möglich. Seit Beginn der Probennahmen lagen die Werte für ^{137}Cs und ^{241}Am immer unterhalb der Nachweisgrenzen von $< 0,3 \text{ Bq/m}^2$, bzw. $< 0,4 \text{ Bq/m}^2$.

Anhand des in der oberen Atmosphäre durch Sonnenpartikel produzierten ^7Be lassen sich die mittleren Jahreszeitverläufe abbilden. Auch die Flächenaktivitäten auf den Staubfangplatten von

^7Be schwankten zwischen ca. 2,5 - 16 Bq/m² im Winter und stiegen im Sommerhalbjahr 2024 lediglich bis auf 53 Bq/m² an (Mai 2024). Damit wurden die Maximalwerte von 100 Bq/m² aus 2021 nicht mehr erreicht.

Messresultate Niederschlag

Bei den Regenwasserproben wurden mittels Flüssigszintillation (LSC) ^3H -Aktivitätskonzentrationen von $< 2 - 7,4 \text{ Bq/l}$ nachgewiesen, wobei die Messwerte im Sommerhalbjahr eine ^3H -Aktivität dicht bei oder unterhalb der Nachweisgrenze von $< 2 \text{ Bq/l}$ lag. Das Maximum wurde im November 2024 mit 7,4 Bq/l erreicht. Dies korreliert mit den Messungen auf dem PSI-Gelände, wo ebenfalls im November und Dezember die höchsten Werte des Jahres gemessen wurden. Mit der Gammaskpektrometrie konnten seit 1997 erwartungsgemäss im Regenwasser noch nie anthropogene Radionuklide wie ^{137}Cs oder ^{131}I nachgewiesen werden. Die Nachweisgrenze dieser Radionuklide liegt anhand des ausgewerteten Leitnuklids ^{137}Cs jeweils bei 0,04 Bq/l.

Literaturliste

- [1] Corcho-Alvarado, J. A.; Balsiger, B.; Sahli, H.; et al. J. Environ. Radioact. 2016, 160, 54-63.
- [2] 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.
- [3] UNSCEAR (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, J. Beuret, 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 (^3H dans l'eau ou ^{54}Mn dans les sédiments) de ces installations. 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

Conformément aux recommandations internationales, un programme spécifique de surveillance de la radioactivité dans l'environnement est mené au voisinage des installations nucléaires suisses afin de vérifier que les concentrations des radionucléides dans les différents compartiments de l'environnement restent inférieures aux limites légales. Ce programme de surveillance des immissions, défini conjointement par l'IFSN et l'OFSP, est coordonné et mis en œuvre de manière indépendante par l'OFSP dans le cadre du plan national de prélèvements et mesures. Il complète la surveillance des émissions réalisée par les exploitants, qui sont tenus de communiquer mensuellement le bilan de leurs émissions à l'IFSN.

Le contrôle des autorités commence ainsi par des analyses effectuées en parallèle par l'exploitant, l'IFSN et l'OFSP sur divers échantillons prélevés en phase de rejet (filtres à aérosols, à iode, eaux de rejet), permettant de valider les bilans établis par l'exploitant.

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 spécifique de surveillance englobe non seulement les propres mesures de l'OFSP mais aussi celles des laboratoires cantonaux (denrées alimentaires), de l'Institut de radiophysique (mesures alpha et ^{90}Sr), 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'OFSP procède ensuite à l'examen de l'ensemble de ces données pour évaluer l'impact radiologique 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.

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
Actinides Pu, ^{241}Am	7.2
^{14}C dans les feuillages	7.1
Denrées alimentaires	5

Les concentrations des différents radionucléides émis par les centrales nucléaires étant le plus souvent 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, à la source, avant leur dispersion dans l'environnement, les niveaux de radioactivité sont beaucoup plus élevés, et les radionucléides rejetés peuvent être identifiés de manière plus exhaustive et aisément quantifiés. 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.

La centrale nucléaire de Mühleberg, dont l'exploitation électrique a été arrêtée le 20 décembre 2019, a été mise définitivement hors service par le groupe BKW Energie SA le 15 septembre 2020. Cette étape marque le passage du régime de l'autorisation d'exploiter à la décision de désaffectation. Si à cette date, un nouveau règlement concernant le rejet de substances radioactives ainsi que la surveillance de la radioactivité et du rayonnement direct dans le voisinage de la centrale nucléaire de Mühleberg est entré en vigueur, seules certaines limites de rejet ont pour l'heure été modifiées. La surveillance de la radioactivité dans l'environnement se poursuit quant à elle comme en régime d'exploitation. Notons qu'en

septembre 2023, un important jalon du processus de désaffectation de la centrale a été atteint, puisque les derniers éléments combustibles usagés ont été acheminés au centre de stockage provisoire de Würenlingen. Il ne reste donc plus de combustible nucléaire à la centrale nucléaire de Mühleberg.

Méthodologie

Dans le cadre du 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 reçues par la population. La surveillance des installations nucléaires s'oriente sur ces deux aspects. Les méthodes de prélèvement et de traitement sont définies 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 2025

Mesures à la source (émissions)

Les mesures parallèles de l'exploitant, de l'IFSN et de l'OFSP de filtres aérosols et d'échantillons liquides et gazeux prélevés en phase de rejet, ainsi que les contrôles 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 2025 (voir Chap. 8.1). Les rejets de substances radioactives dans l'air par la centrale nucléaire de Mühleberg ont, comme on pouvait s'y attendre, nettement diminué depuis sa mise à l'arrêt ; les émissions de gaz rare, et surtout d'iode, ont ainsi cessé. Pendant les 4 premières années qui ont suivi la mise à l'arrêt (2020-2023), les rejets de substances radioactives dans les cours d'eau sont restés quant à eux comparables à ceux déclarés au cours des dernières années d'exploitation, pour diminuer significativement en 2024 et 2025.

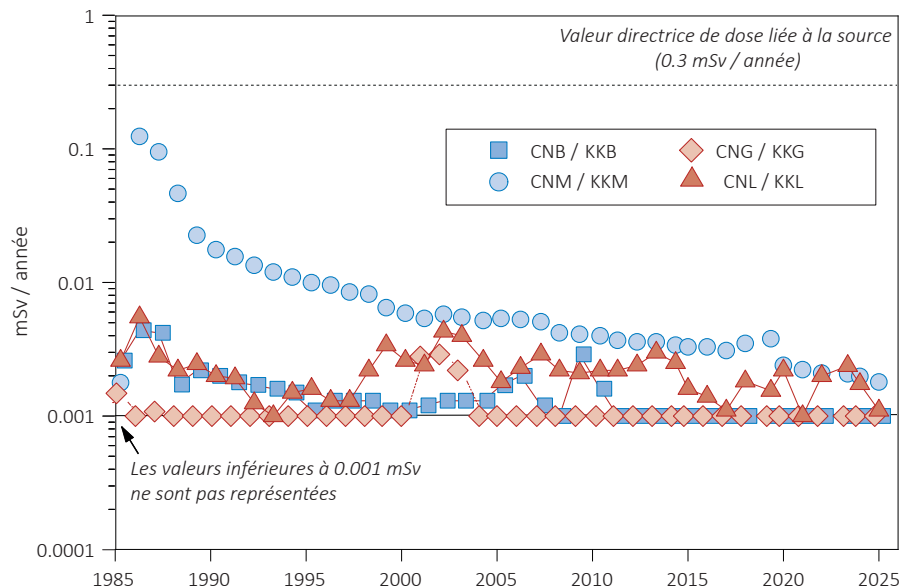


Figure 1:

Dose (calculée) due aux émissions des centrales nucléaires accumulée par la personne (adulte) la plus exposée¹ dans le voisinage de chacune des centrales pour chaque année de 1985 à 2025 (données IFSN).

On notera que toutes les centrales ont largement respecté la valeur cible de 1 GBq pour les rejets liquides en 2025.

La figure 1 présente les doses calculées pour les personnes les plus exposées¹ vivant au voisinage des centrales nucléaires suisses entre 1985 et 2025. Ces doses sont calculées sur la base des rejets effectifs, en appliquant des modèles de dispersion ainsi que des scénarios très conservateurs en termes de temps de séjour en plein air et d'habitudes alimentaires des personnes les plus exposées selon la directive G14 de l'IFSN (voir directive pour plus de détails sur les modèles et paramètres utilisés). Ces doses, qui tiennent également compte des rejets des années précédentes, se sont échelonnées en 2025 entre < 0.001 mSv pour KKG et KKB, env. 0.001 mSv pour KKL et env. 0.002 mSv pour KKM. Les rejets atmosphériques de ¹⁴C sont responsables de la dose supplémentaire au voisinage de KKL, alors qu'à Mühleberg, elle est due à la contribution rémanente d'un rejet non contrôlé de substances radioactives (11 GBq soit inférieur à la limite annuelle de 19 GBq) dans l'atmosphère en septembre 1986. L'impact de ce rejet a depuis fortement diminué.

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 passifs (dosimètres thermoluminescents, TLD et Environmental Direct Ion

Storage Dosimeter, EDIS) et par des contrôles périodiques effectuées par l'IFSN à la clôture des installations.

Comme les années précédentes, des valeurs plus élevées ont été observées à la clôture de la centrale de Leibstadt en raison du rayonnement direct et diffusé provenant du bâtiment des machines. Ce rayonnement résulte de la désintégration radioactive du ¹⁶N, à courte demi-vie, qui est produit dans le réacteur et, dans le cas des réacteurs à eau bouillante, comme Leibstadt, est transporté avec la vapeur dans la turbine du bâtiment des machines. Après soustraction du fond naturel, les mesures de l'IFSN indiquent une augmentation maximale d'environ 0.020 mSv par semaine, tandis que les EDIS montrent une valeur maximale d'environ 0.013 mSv par semaine.

Avec l'arrêt de l'exploitation de la centrale de Mühleberg, la contribution du ¹⁶N a disparu ; toutefois, les travaux de démantèlement peuvent entraîner des augmentations temporaires de la dose ambiante à la clôture. L'évaluation trimestrielle des TLD indique ainsi une élévation maximale de 0.008 mSv par semaine par rapport au fond naturel. Les contrôles effectués par l'IFSN confirment ces résultats, avec une valeur maximale d'environ 0.007 mSv par semaine.

Les résultats obtenus à la centrale de Beznau montrent une augmentation maximale par rapport au fond naturel d'environ 0.007 mSv par semaine, confirmée par les TLD (env. 0.008 mSv). À la centrale de Gösgen, les valeurs mesurées sont restées proches du fond naturel.

¹ Jusqu'en 2024: un adulte séjournant en permanence au lieu le plus exposé, consommant exclusivement des denrées alimentaires produites localement et de l'eau potable prélevée dans le cours d'eau situé en aval de la centrale nucléaire concernée. A partir de 2025 (révision de la directive ENSI-G14): personne fictive dont les habitudes de vie correspondent au concept de personne représentative défini dans la publication 101a de la CIPR et le guide de sûreté GSG-10 de l'AIEA.

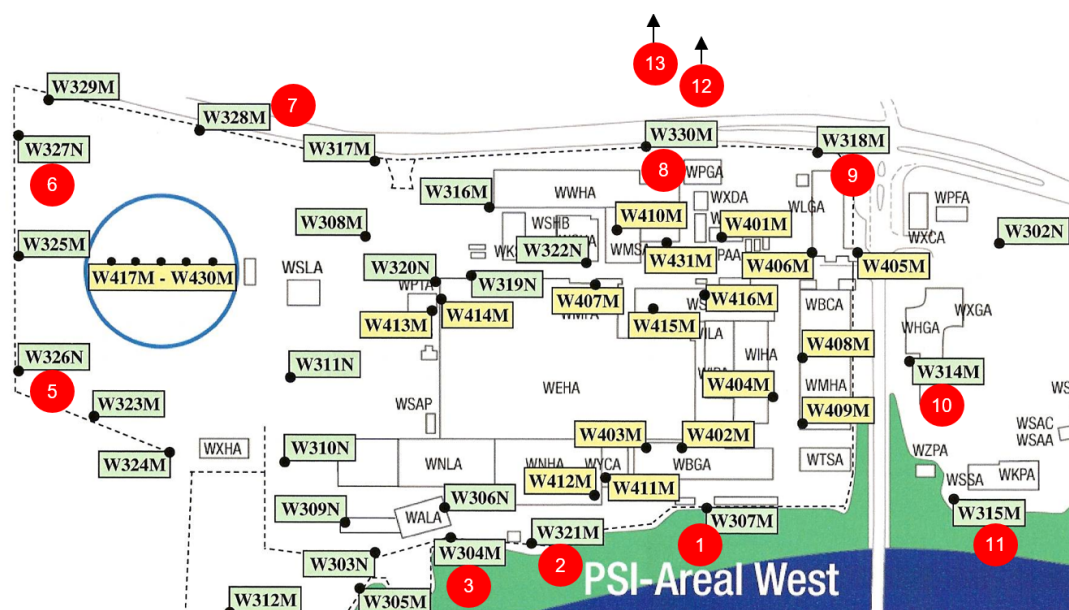


Figure 2:
Emplacements des dosimètres placés autour du PSI-West. Les numéros dans les ronds rouge se réfèrent aux dosimètres de l'IRA et ceux dans les rectangales à ceux du PSI.

Une légère augmentation est mise en évidence sur la base des contrôles de l'IFSN (max. env. 0.003 mSv par semaine), sans confirmation d'une élévation significative par les EDIS.

À la clôture du PSI, une augmentation maximale d'environ 0.005 mSv par semaine est mise en évidence par les contrôles de l'IFSN et d'environ 0.008 mSv par semaine par les TLD. Enfin, au ZZL, les mesures trimestrielles de l'IFSN montrent une augmentation maximale de la dose hebdomadaire d'environ 0.003 mSv après soustraction du fond naturel. L'évaluation des TLD confirme un ordre de grandeur similaire, avec une augmentation maximale d'environ 0.002 mSv par semaine.

Toutes 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.

L'OFSP effectue également des mesures ponctuelles du débit d'équivalent de dose ambiante $H^*(10)$ à l'aide d'une chambre d'ionisation placée à 1 m au-dessus du sol dans des zones plus larges du voisinage, notamment lors des campagnes de spectrométrie in situ (voir chapitre 3.1). Lors de ces mesures, une valeur instantanée de l'équivalent de

dose ambiante de 174 nSv/h a été relevée à la clôture de la centrale de Mühleberg (KKM). Le spectre in situ enregistré sur ce site met clairement en évidence la présence de ^{60}Co , ^{54}Mn et ^{125}Sb . Ces radionucléides ne sont toutefois pas présents dans le sol, mais proviennent de matériaux entreposés sur le site, ce qui confirme que les travaux de démantèlement peuvent entraîner des augmentations ponctuelles et localisées de l'exposition ambiante.

Une dosimétrie d'ambiance du rayonnement des neutrons et des gammas est en outre réalisée par l'IRA sur mandat de l'OFSP autour du PSI-West (11 dosimètres à thermoluminescence TLD), sur une base trimestrielle. Trois points de mesure supplémentaires sont par ailleurs situés autour de SwissFEL au PSI. Il s'agit de contrôler des endroits accessibles au public sur le toit du bâtiment, au-dessus des beam dumps de l'injecteur, d'Athos et d'Aramis.

Aucune dose de neutrons n'a été relevée autour du PSI-West et de SwissFEL au cours du 1^{er} trimestre 2025, l'ensemble des valeurs étant inférieures à la limite de détection. Ceci était attendu puisque les installations étaient à l'arrêt pendant cette période.

Le reste de l'année, les doses des neutrons sont également le plus souvent restées inférieures à la limite de détection, mis à part aux points 1 et 2 situés à proximité de la clôture du PSI West (voir figure 2), où une valeur de l'ordre de 0.1 mSv a été mesurée aux 3ème et 4ème trimestres, comme régulièrement observé au cours des années précédentes. Au cours du 4ème trimestre, une dose des neutrons est également observée au point 3 (0.08 mSv) alors que

des valeurs légèrement supérieures à la limite de détection ont été enregistrées aux points 4, 7 et 12 (0.03 à 0.04 mSv/trimestre). Les autres doses neutrons sont inférieures à la limite de détection. Notons que les équivalents de dose ambiants attendus dans l'environnement, dus à l'irradiation naturelle, sont de l'ordre de 0.01 à 0.02 mSv par trimestre pour les neutrons.

Les doses des photons sont restées au niveau de l'irradiation naturelle (0.2 mSv par trimestre) dans tous les emplacements de PSI-West et autour de SwissFEL, avec quelques petites fluctuations, en particulier au point 2 où une valeur un peu plus haute (maximum de 0.29 mSv au 3ème trimestre) a été observée, comme dans le passé.

Mesures dans le milieu atmosphérique

La surveillance du milieu atmosphérique au voisinage des installations nucléaires 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.

La surveillance de la radioactivité dans l'air dans le rayon d'influence des centrales nucléaires est assurée par les 9 stations du réseau automatique URAnet aero. Le collecteur à moyen débit du PSI, dédié à la surveillance des immissions dans l'air dans son voisinage, est par ailleurs toujours en service. Aucun émetteur gamma d'origine artificielle n'a été mis en évidence, ni par le réseau URAnet aero en 2025 (voir chapitre 4.2), ni par le collecteur à moyen débit du PSI. Les limites de détection pour le ^{137}Cs sont d'environ 5 à 8 mBq/m³ (pour une mesure de 12h) pour les stations URAnet et de 0.01 mBq/m³ pour le collecteur à moyen débit (temps d'échantillonnage de 2 semaines).

Le collecteur à grand débit (HVS) situé à Klingnau, à quelques kilomètres du PSI, permet la détection de très faibles concentrations de radionucléides dans l'air et la mise en évidence d'éventuels rejets de substances radioactives dans la région. La limite de détection de ce dispositif très sensible pour le ^{137}Cs est de l'ordre de 0.2 à 0.3 µBq/m³ pour un temps de collecte de 7 jours et une mesure en laboratoire de 48 h. En période sèche, des poussières de sol contenant du ^{137}Cs provenant des essais nucléaires atmosphériques des années 1950 et 1960 ainsi que de l'accident de Tchernobyl (1986) peuvent être remises en suspension dans l'air. Le ^{137}Cs peut alors être détecté sur les filtres aérosols des collecteurs HVS. La concentration maximale mesurée en 2025 à la station HVS de Klingnau s'est élevée à 1.2 ± 0.2 µBq/m³ à la mi-décembre. Cette valeur ne se distingue pas de celle observée à la station de référence de Göttingen (1.2 ± 0.3 µBq/m³ à la même période), située hors influence des installations nucléaires. Ces résultats confirment que le ^{137}Cs provient d'anciennes contaminations.

Des traces de ^{24}Na ont également été mesurées de manière sporadique dans les filtres HVS de Klingnau en 2025. Ce radionucléide de courte période peut être produit dans les accélérateurs de particules du PSI et n'a pas été détecté à la station de référence de Göttingen. La concentration maximale observée en 2025 s'élève à 180 ± 70 µBq/m³, soit une fraction négligeable de la valeur limite d'immission dans l'air fixée par l'ORaP (48 Bq/m³).

Les activités des émetteurs gamma d'origine artificielle dans les échantillons de précipitations collectés aux environs des centrales nucléaires de Mühleberg, Leibstadt, Gösgen et Beznau, ainsi que dans le voisinage du PSI et du ZWILAG, sont restées inférieures aux limites de détection, à l'exception d'une valeur légèrement supérieure à la limite de détection (0.4 ± 0.2 mBq/l) mesurée pour le ^{137}Cs en août aux environs de Gösgen. La limite de détection pour un radionucléide donné dépend notamment du volume de précipitations et du temps de mesure. Elle se situe, pour le ^{137}Cs , entre 0.2 et 1.5 mBq/l pour les mesures OFSP (voisinage KKM, KKG et KKL) et aux environs de 40 mBq/l pour les mesures PSI.

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 ^3H mesurées dans les pluies du voisinage des centrales nucléaires, du PSI et du ZWILAG sont généralement restées inférieures ou proches de la limite de détection de l'ordre de 2 Bq/l en 2025, avec ponctuellement des valeurs légèrement plus élevées au voisinage du PSI et de Beznau (jusqu'à 48 ± 5 Bq/l au voisinage de Beznau).

Pour le reste, un impact des rejets atmosphériques des centrales nucléaires est principalement perceptible pour le ^{14}C . Les mesures de ce radionucléide dans les feuillages, réalisées depuis de nombreuses années par l'Université de Berne, ont mis en évidence en 2025 une augmentation

Tableau 2:
Tritium dans les précipitations au voisinage des installations nucléaires en 2025.

Lieu	Valeur min/max (Bq/l)	Médiane (Bq/l)
Niederruntingen * (environs KKM)	< 2.0	-
Niedergösgen * (environs KKG)	< 2.0	-
Full (environs KKL) *	< 2.0	-
Beznau (environs KKB) **	<1.3 - 48	6.3
PSI **	< 1.3 - 30	5.6
ZWILAG **	< 1.3 - 7.9	2.2

* mesures OFSP / ** mesures PSI

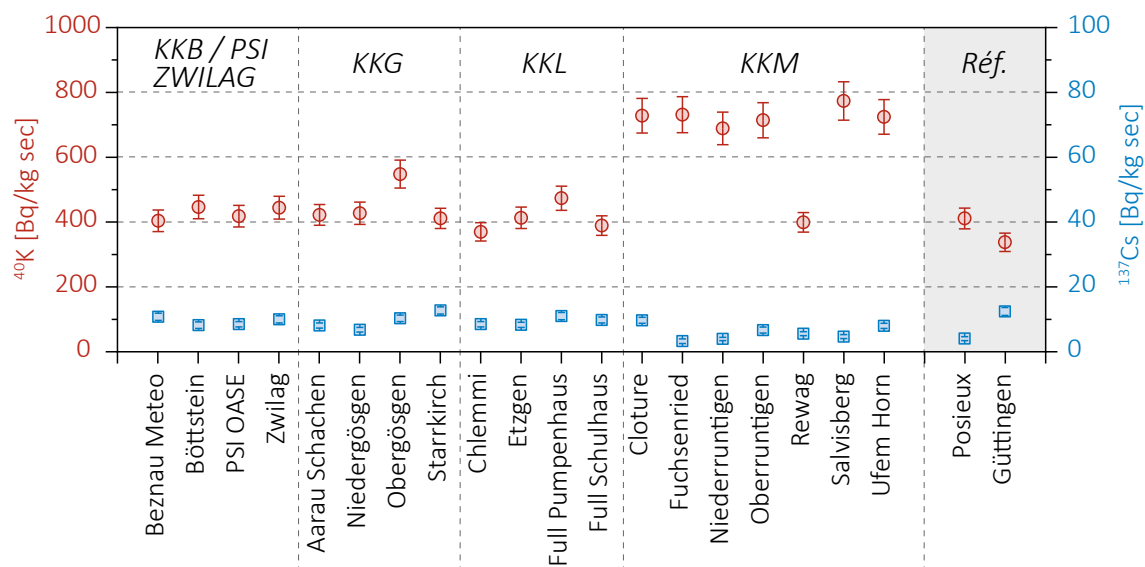


Figure 3:

^{137}Cs et ^{40}K (naturel) dans les sols secs et tamisés (2mm) analysés par l'OFSP en 2025 (couche 0-5 cm). Les valeurs mesurées à Posieux et Güttingen sont représentées à titre de comparaison (grisées).

maximale de 116 %, par rapport à la valeur de référence, aux environs de la centrale de Leibstadt. A titre indicatif, notons qu'une teneur supplémentaire de 100 % de ^{14}C dans les denrées alimentaires induit une dose annuelle supplémentaire de l'ordre de 1 micro-Sv. L'augmentation mesurée étant très localisée, les doses supplémentaires dues à l'ingestion de denrées alimentaires locales par les populations avoisinantes peuvent être considérées comme minimales.

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 2025 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 2025. 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 (voir chapitre 3.1) confirment les résultats précédents, à savoir qu'hormis à proximité immédiate (clôture) de ces

installations, les valeurs enregistrées aux environs des installations nucléaires ne se distinguent pas de celles mesurées sur les sites de référence.

On notera que depuis le début des travaux de démantèlement, les mesures in situ ont parfois mis en évidence la présence de produits d'activation (en particulier de ^{60}Co) sur les spectres mesurés à la clôture de la centrale de Mühleberg, comme cela a été le cas en 2025 (voir chapitre « Exposition ambiante »). Les résultats restent toutefois limités à la zone immédiate de la clôture et ne sont pas dus à une contamination des sols environnants, mais s'expliquent par l'entreposage temporaire de matériaux sur le site.

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 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'EAUWAG 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 (en aval de KKB) et Pratteln (en aval KKL).

Depuis la forte réduction des rejets d'effluents liquides des centrales de Beznau au début des années 2010 — avec une diminution d'un facteur 100 entre 2000 et 2010 — ainsi que celle des rejets de la centrale de Mühleberg une dizaine d'années plus tard, aucune trace de produits d'activation tels que le ^{54}Mn , le ^{58}Co et le ^{60}Co n'a plus été détectée dans les échantillons d'eau de l'Aar ou du Rhin, que ce soit à Hagneck, Klingnau ou Pratteln. Ceci s'est à nouveau confirmé en 2025.

Les concentrations de ^{137}Cs sont également restées inférieures à la limite de détection en 2025, alors que ce radionucléide était encore sporadiquement détecté dans les échantillons d'eau les années précédentes. Pour cet isotope, les concentrations mesurées dans les eaux fluviales ne présentaient toutefois pas de corrélation avec les activités rejetées par les centrales, le ^{137}Cs étant principalement issu de la remobilisation des dépôts de Tchernobyl et des essais nucléaires atmosphériques des années 1960.

La figure 4 montre que, de manière générale, les concentrations mensuelles en ^3H enregistrées en 2025 dans les eaux de l'Aar et du Rhin sont restées inférieures ou proches de la limite de détection de 2 Bq/l. Des concentrations légèrement plus élevées ont toutefois été observées en début d'année, principalement en mars

et avril, en raison des rejets de tritium des centrales nucléaires de Gösgen et, dans une moindre mesure, de Beznau. Comme chaque année, la centrale de Gösgen a effectué des rejets plus importants de ^3H entre mars et mai, avant sa période de révision (voir chapitre 8.1). Des concentrations supérieures à la limite de détection ont ainsi été mesurées dans l'Aar à Brugg, en aval de KKG, avec un maximum de 12.4 Bq/l en mars.

À Klingnau, en aval de KKB, les concentrations reflètent les rejets combinés de Gösgen (après dilution) et de Beznau. La valeur la plus élevée observée en février est principalement attribuable à KKB, celle de mars (9.7 ± 0.8 Bq/L) à KKG, tandis que les valeurs d'avril résultent des rejets combinés des deux centrales. En raison de la forte dilution, les traces des rejets liquides de ^3H de ces centrales nucléaires sont à peine détectables dans les eaux du Rhin ; la concentration maximale enregistrée à Weil am Rhein a ainsi atteint 6.3 Bq/l en avril.

En ce qui concerne les émetteurs gamma, les traces des rejets liquides sont surtout décelables dans les sédiments. En effet, les produits d'activation, tels que le ^{54}Mn et le ^{60}Co , sont peu, voire pas, dissous dans l'eau et se trouvent principalement sous forme particulaire (produits de corrosion) dans les effluents liquides. De faibles activités de ^{54}Mn ont ainsi pu être mesurées sporadiquement dans les sédiments prélevés à Hagneck, Klingnau et Pratteln. Comme en 2024, et contrairement aux années précédentes, aucune trace des isotopes du cobalt n'a été détectée dans ces échantillons en 2025. Cette évolution s'explique vraisemblablement par la diminution des rejets liquides de la centrale de Mühleberg.

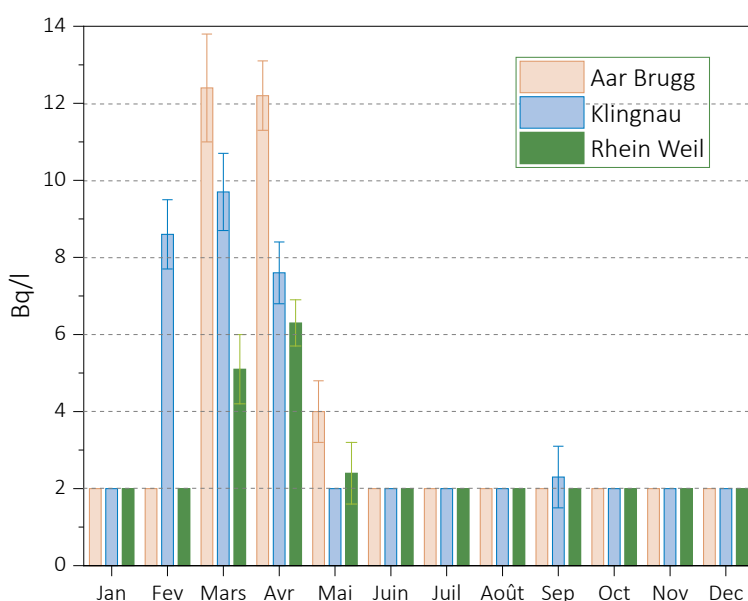


Figure 4:
Suivi du tritium dans les échantillons mensuels d'eau de l'Aar à Brugg/AG et à Klingnau/AG et du Rhin prélevés à Weil am Rhein/D en 2025.

Le ^{137}Cs est, quant à lui, présent dans la quasi-totalité des échantillons de sédiments de l'Aar et du Rhin. Il provient essentiellement de l'érosion de sols contaminés à la suite de l'accident de Tchernobyl et des essais nucléaires atmosphériques.

Enfin, les analyses des $^{239+240}\text{Pu}$ et ^{241}Am réalisées par l'IRA dans les échantillons annuels de sédiments ont mis en évidence un rapport d'activité $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ proche de celui observé dans les sols et ne montrent pas de marquage autre que par les retombées des essais nucléaires des années soixante.

Les analyses des poissons prélevés en 2025 dans le lac de Bienne et dans le Rhin à Augst n'ont mis en évidence aucun émetteur gamma d'origine artificielle, à l'exception de faibles traces de ^{137}Cs dans le poisson du Rhin. En général, les poissons ne présentent pas d'activité en Pu mesurable au-dessus de la limite de détection de la méthode, mais l'américium est parfois mesurable, avec une activité proche de 1 à 5 mBq/kg, car le facteur de concentration de la phase aqueuse aux poissons est supérieur pour l'américium par rapport à celui du plutonium (voir chapitre 7.2). Notons qu'en raison de difficultés liées à la réalisation des prélèvements par des pêcheurs mandatés (départs à la retraite, problèmes de santé et faible relève), seuls deux sites ont pu être échantillonnés en 2025. Des démarches sont en cours pour confier dès 2026 ces prélèvements aux services cantonaux de la pêche.

Comme chaque année, des échantillons de plantes aquatiques ont été prélevés en 2025 dans l'Aar, en amont de la station de Hagneck, à Küttigen, en amont du barrage de Klingnau et dans le Rhin à Möhlin. Aucun émetteur gamma d'origine artificielle n'a pu être détecté dans ces échantillons. L'activité de ^{241}Am étant restée inférieure à la limite de détection dans tous les échantillons de plantes aquatiques, il n'a pas été possible d'évaluer le rapport d'activité $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$. Par le passé, ce rapport, mesuré dans ce type d'échantillons, était toutefois toujours proche de celui observé dans les sols.

Enfin, les eaux souterraines prélevées à Aarberg, Schönenwerd, Böttstein et dans le Hardwald (Muttenz) ne présentent aucun radionucléide artificiel détectable, toutes les activités restant inférieures aux limites de détection.

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 caverne des machines.

En 2025, l'IRA a poursuivi ses analyses selon le programme usuel. Pour la mesure des émetteurs gamma et du tritium, les échantillons d'eau collectés toutes les 4 heures 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 2025. Les résultats montrent en effet que les activités du ^{60}Co , ^{134}Cs et ^{137}Cs sont par exemple restées inférieures aux limites de détection de 0.2 à 0.4 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. Pour la première fois depuis le début de la surveillance effectuée par l'IRA, certaines concentrations de ^3H sont inférieures à la limite de détection de 2 Bq/l, ce qui ne permet plus de déterminer les moyennes. Les valeurs médianes des concentrations en tritium peuvent toutefois être estimées à 2.5 Bq/l pour le bassin de contrôle et à 2.4 Bq/L pour la chambre de contrôle.

À l'exception du phénomène de résurgence locale observé fin 2011 et début 2012, au cours duquel des valeurs atteignant 230 Bq/L avaient été mesurées et avaient nécessité la mise en place d'un programme spécifique, les concentrations enregistrées sont en diminution continue depuis le début de la surveillance en 2001, ce qui est cohérent avec la décroissance radioactive du ^3H (demi-vie : 12.32 ans).

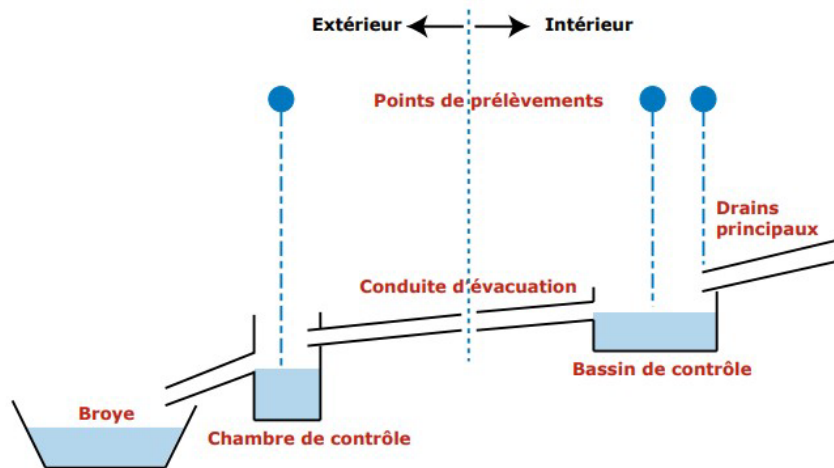


Figure 5 :
Représentation schématique du système de drainage de l'ancienne centrale expérimentale de Lucens.

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 7 à 8 mBq/l n'a été mise en évidence en 2025.

Conclusions

L'impact des installations nucléaires suisses sur l'environnement est resté faible en 2025.

Les doses résultant de leur fonctionnement pour la population avoisinante sont demeurées nettement inférieures aux limites réglementaires. Les évaluations basées sur les rejets effectifs et le rayonnement direct, à l'aide de modèles de transfert jusqu'à l'homme, ont montré que l'impact dosimétrique des centrales nucléaires est resté très inférieur à la valeur directrice de dose 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 par ailleurs confirmé que les doses liées aux installations du site PSI/ZWILAG étaient également

restées très inférieures à la valeur directrice de dose liée à la source de 0.15 mSv/an (dont 0.05 mSv/an pour le ZWILAG).

Les mesures environnementales ont mis en évidence un faible marquage radiologique, principalement sous la forme du rayonnement direct mesuré à la clôture des installations, ainsi que du ^{14}C issu des rejets atmosphériques dans les feuillages. Elles ont également montré la présence de ^3H dans les eaux de l'Aar et du Rhin, ainsi que de produits d'activation (notamment le ^{54}Mn) dans les sédiments, reflétant le fonctionnement normal des installations durant l'année sous revue.

Bien que les rejets des installations nucléaires conduisent à des doses très faibles par rapport aux expositions d'origine naturelle ou médicale, la surveillance de l'environnement vise à garantir une évaluation continue, robuste et indépendante de leur impact. Elle permet de répondre aux exigences réglementaires et de fournir une information fiable et transparente sur la situation radiologique dans le voisinage des installations nucléaires.

8.6 CERN - Rejets et environnement (Mesures CERN)

I. Brunner, F. Malacrida, P. Vojtyla

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

Résumé

Pour l'année 2025, comme pour les années précédentes, les résultats du programme de surveillance du CERN et les calculs de dose pour les personnes représentatives ont confirmé que l'Organisation a respecté la limite réglementaire de 0.3 mSv/an fixée par le CERN [1]. La dose efficace maximale délivrée aux membres du public est demeurée inférieure à 0.006 mSv. Le contrôle des immissions n'a révélé que de faibles traces de radioéléments dans des échantillons prélevés dans les cours d'eau, dans l'eau de nappes phréatiques s'écoulant sous le site CERN de Préessin et dans l'air du site CERN de Meyrin. Le marquage de l'environnement induit par les activités du CERN demeure donc très 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 la carte de l'implantation des sites du CERN, tandis que la Figure 2 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).

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 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.

En termes d'impact environnemental, le risque radiologique induit par des installations mettant en jeu des accélérateurs est très faible.

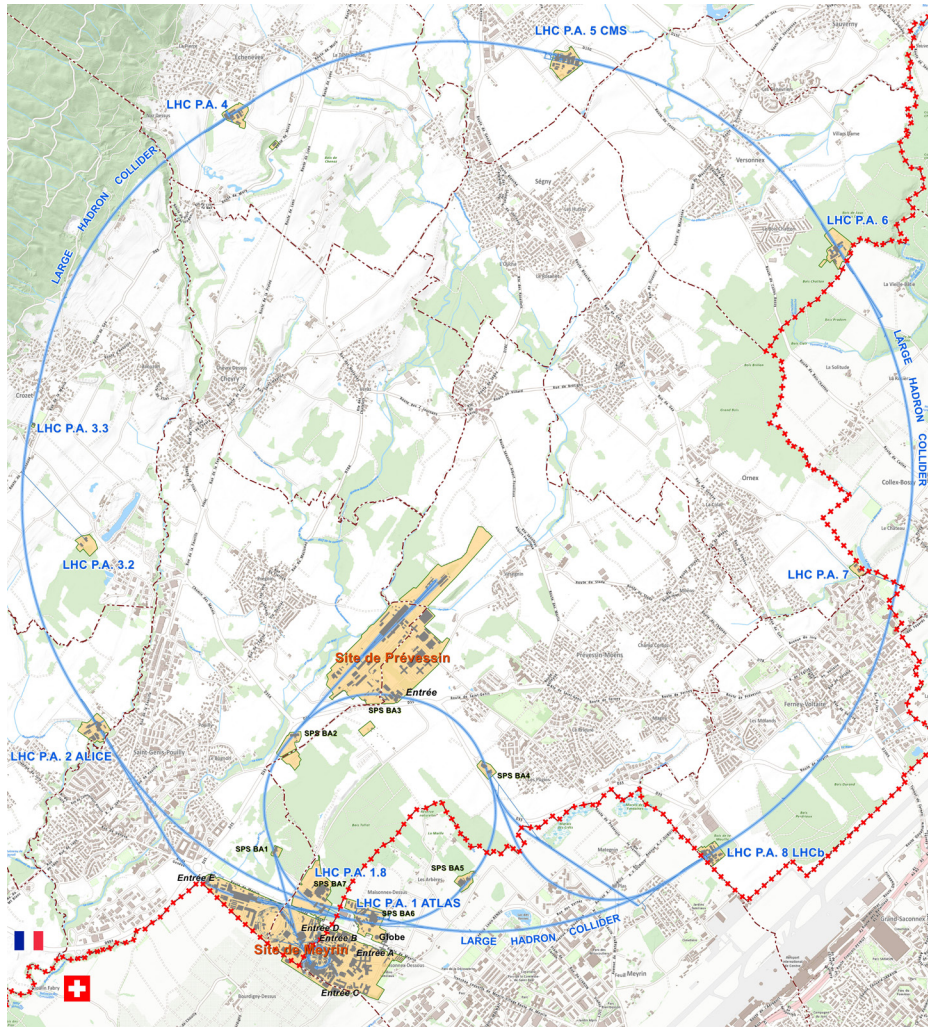


Figure 1:
Implantation des sites du CERN.

Maintenir un faisceau de particules en orbite requiert 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 bêta de demi-vie relativement courte et de faibles radiotoxicités. Pour plus d'information, se référer au site : voisins.cern.fr/radiation.

Lorsque les accélérateurs sont arrêtés, l'émission atmosphérique de gaz de demi-vies courtes et le rayonnement diffusé cessent. Néanmoins, les composants des tunnels, des machines, des cibles et des détecteurs sont activés par leur exposition au faisceau ; ceux-ci contiennent donc des radionucléides produits par activation. L'eau d'infiltration des tunnels peut 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 composants précités. Certaines installations peuvent par ailleurs émettre de petites quantités de radioéléments lors d'opérations de purges de circuits (p.ex. rejet de gaz stockés dans les réservoirs d'ISOLDE et MEDICIS).

Programme de surveillance

Le CERN, en tant que responsable de ses installations, se doit de réaliser son propre programme de surveillance environnementale, 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 à l'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 2025, 35 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

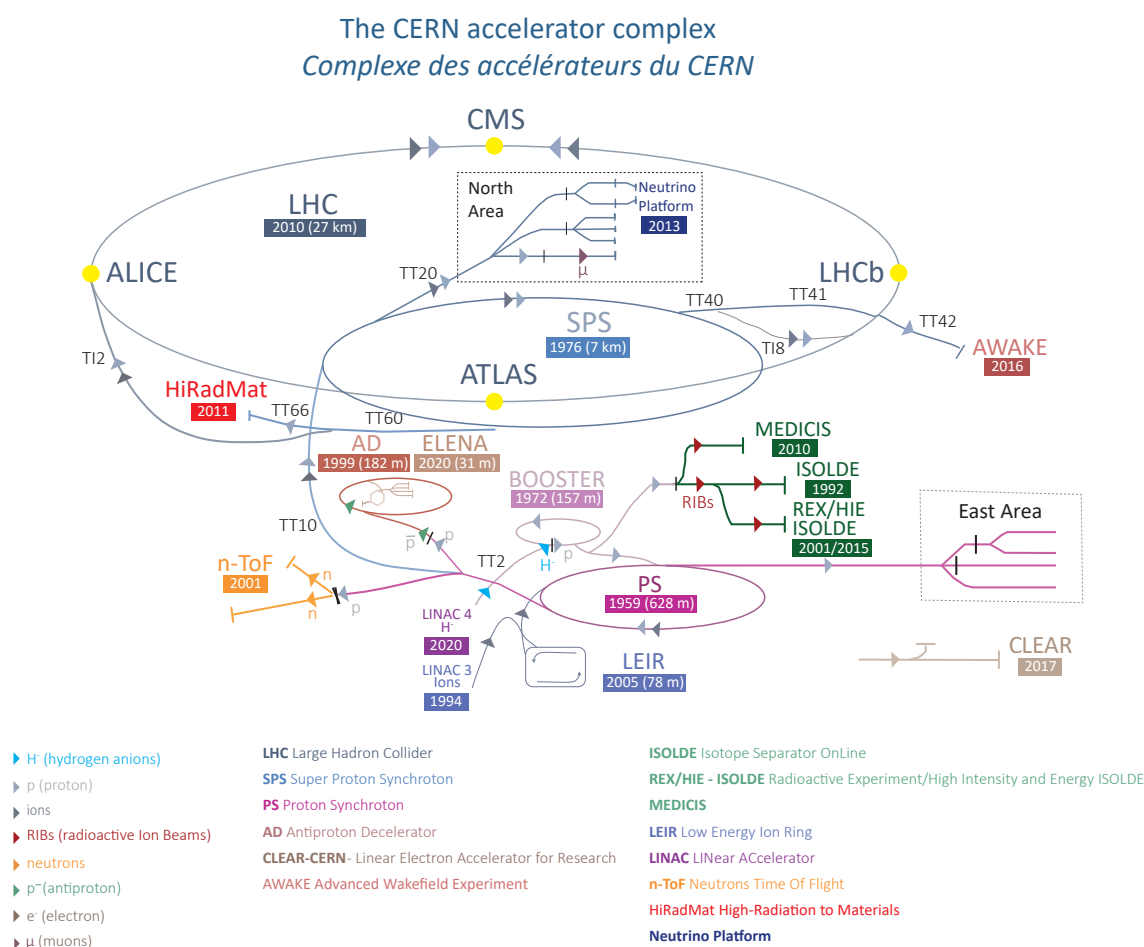


Figure 2:
Le complexe des accélérateurs du CERN.

mesurent en continu les radionucléides gazeux à demi-vies courtes et échantillonnent les aérosols sur des filtres périodiquement analysés en laboratoire. En 2025, 42 stations étaient en opération. De manière similaire, les points de rejet des eaux claires qui sont déversées dans les cours d'eau récepteurs sont équipés de stations de surveillance de l'eau (15 stations en 2025); les eaux claires incluent les eaux de refroidissement des circuits secondaires, les eaux d'infiltration des tunnels et les eaux de pluie. 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. En parallèle, cinq stations météorologiques sont réparties sur l'ensemble du périmètre des installations. Leurs données servent à établir des statistiques nécessaires aux calculs de dispersions des rejets atmosphériques.

Les doses efficaces aux personnes représentatives du public ont été calculées à partir des débits d'équivalent de dose ambiant mesurés aux clôtures du site [2]. S'y ajoutent les doses induites par les rejets atmosphériques et dans les cours d'eau, évaluées par le biais de modèles développés en interne [3, 4], basés sur les directives [5, 6]. Les modèles utilisés par le CERN, agréés par les autorités dans le contexte des accords Tripartites [7], ne diffèrent que peu de ceux proposés par les directives, tandis qu'ils prennent en compte les spécificités de ses installations.

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

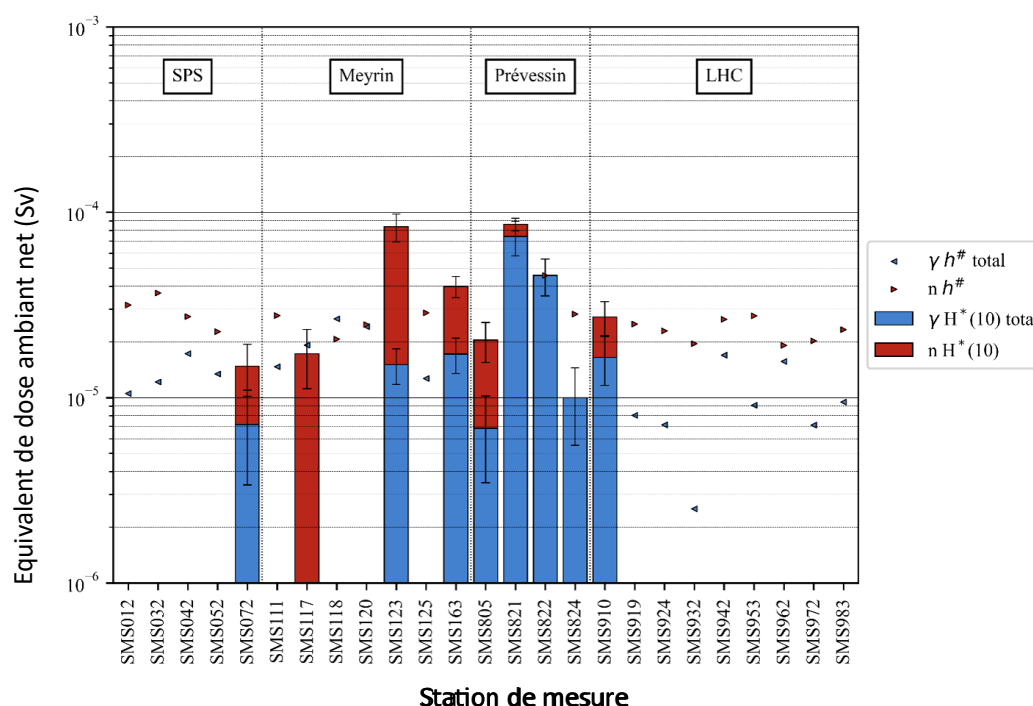


Figure 3:

Doses annuelles nettes gamma (γ) totales et neutron (n) enregistrées par les moniteurs de rayonnement diffusé situés à la clôture (CERN, 2025). Les limites de détection $h^\#$, représentées par des triangles horizontaux, supposent une probabilité inférieure à 0.001 d'une décision incorrecte affirmant que l'équivalent de dose ambient net est nul. Les barres d'erreur indiquent les limites des intervalles de confiance probabilistes symétriques, en considérant une probabilité totale de 0.95.

dans l'air ambiant (13 stations). Sur le site de Meyrin, trois d'entre elles collectent aussi les éléments volatils comme l'iode gazeux sur charbon actif, tandis que deux collectent l'humidité pour la mesure du tritium dans l'air. Sont aussi collectés des échantillons d'herbes (12 points d'échantillonnage), d'eau, de bryophytes (mousses aquatiques) et de sédiments dans les cours d'eau (14 points), de l'eau des nappes phréatiques et de consommation (27 points), ainsi que des échantillons de produits agricoles locaux, tels que p. ex. blé, graines de tournesol, asperges et vin.

Activités du CERN et opération des accélérateurs en 2025

Suite à la période d'arrêt technique et à partir de février 2025, le CERN a graduellement redémarré toutes ses installations, qui ont été opérées jusqu'à début décembre.

Résultats 2025

Rayonnement diffusé

Les principales sources de rayonnement diffusé sont les installations localisées proches de la surface, soit le Complexe du PS du site de Meyrin et la Zone Nord du site de Prévessin et, depuis 2024, l'expérience ATLAS du LHC. Une petite fraction des neutrons produits par ces installations diffuse à travers les blindages et les puits d'accès, monte en altitude et interagit avec les composants de l'air. Une partie de ces neutrons est ensuite redirigée vers le sol. Ce phénomène dit du skyshine contribue à une faible hausse de l'équivalent du débit de dose ambiant aux clôtures et à proximité immédiate.

Les doses dites gamma sont quant à elles induites à la fois par le rayonnement diffusé (muons) et par les photons émis par les gaz de demi-vies courtes rejetés par les installations. Les calculs démontrent que les valeurs gamma totales s'expliquent très principalement par les émissions locales de gaz radioactifs et que, conséquemment, les niveaux de rayonnement diffusé de ce type sont minimes. Font exception les stations en aval de la Zone Nord du site de Prévessin, notamment au niveau des SMS821 et SMS822, où la dose est induite par des muons.

La figure 3 présente les équivalents de dose ambiants nets intégrés sur l'année par les moniteurs de rayonnement diffusé localisés aux clôtures des sites.

Tableau 1:

Rejets dans l'air en 2025. Les installations n'ayant pas rejeté de quantités mesurables de radioéléments ne sont pas listées. Lorsque plusieurs sites sont localisés à proximité, ils sont groupés.

Groupe/Site	Rejets par groupes de radioéléments (Bq)				
Installation	Gas de demi-vies courtes	⁷ Be	β total	³ H	Iode
Meyrin	5.3E+13	3.4E+7	3.5E+6	4.7E+10	3.5E+8
<i>Meyrin site</i>					
PS-SPS TT10	1.1E+12	1.2E+6	8.4E+4	1.7E+9	< LD
WATER EVAPORATORS	< LD	< LD	< LD	1.0E+9	< LD
MEDICIS	4.2E+9	< LD	1.1E+4	1.8E+10	1.5E+7
ISOLDE	1.3E+13	9.3E+3	1.1E+6	6.7E+9	3.4E+8
n-TOF TARGET AREA	1.8E+12	7.0E+4	7.8E+3	3.7E+9	2.3E+5
PS-SPS TT60	3.8E+8	< LD	< LD	8.0E+7	< LD
BOOSTER	1.6E+11	6.2E+5	7.8E+4	8.2E+8	< LD
PS STACK 1/4	2.9E+11	< LD	< LD	2.5E+9	< LD
PS STACK 2/4	4.2E+11	< LD	< LD	1.4E+9	< LD
PS STACK 3/4	3.1E+11	< LD	< LD	1.3E+9	< LD
PS STACK 4/4	6.1E+10	< LD	< LD	1.3E+9	< LD
EA IRRAD/CHARM	7.2E+12	3.0E+7	2.1E+6	2.3E+8	< LD
RWTC	< LD	< LD	2.5E+2	< LD	< LD
AD TARGET AREA	1.6E+13	< LD	4.4E+3	5.4E+8	< LD
EA PRIMARY AREA	9.5E+11	1.0E+5	1.3E+3	1.5E+8	< LD
n-TOF COOLING STATION	5.7E+11	1.1E+6	7.6E+4	5.2E+8	< LD
SPS BA5					
SPS RING SECTORS 4-5/6-5	3.1E+12	5.5E+5	5.5E+3	2.7E+9	< LD
SPS BA7					
HIRADMAT	7.3E+9	< LD	< LD	3.9E+9	< LD
LHC PA1					
LHC MACHINE SECTORS 8-1/2-1	8.5E+12	< LD	< LD	4.7E+8	< LD
LHC ATLAS STACK 3/4	3.2E+8	< LD	< LD	< LD	< LD
LHC ATLAS STACK 4/4	9.5E+9	< LD	< LD	< LD	< LD
Prévessin site	2.6E+12	4.5E+6	5.6E+5	1.3E+10	< LD
SPS RING SECTORS 2-3/4-3	2.7E+11	4.9E+5	1.4E+5	8.5E+8	< LD
SPS-NA TT20	2.3E+12	1.3E+6	2.8E+5	2.0E+9	< LD
NA TCC2/TDC2	1.9E+10	2.7E+6	1.4E+5	1.0E+10	< LD
NA TCC8	1.8E+10	4.7E+4	3.8E+2	4.0E+8	< LD
NA ECN3	4.5E+9	< LD	< LD	< LD	< LD
SPS BA4	3.9E+10	< LD	< LD	9.3E+9	< LD
AWAKE	< LD	< LD	< LD	8.1E+9	< LD
SPS-LHC TI8	3.9E+10	< LD	< LD	1.2E+9	< LD
LHC PA3 / LHC MACHINE SECTORS 2-3/4-3	4.4E+10	< LD	< LD	< LD	< LD
LHC PA5	6.5E+12	< LD	< LD	9.9E+8	< LD
LHC MACHINE SECTORS 4-5/6-5	6.5E+12	< LD	< LD	9.9E+8	< LD
LHC CMS STACK 3/3	2.9E+8	< LD	< LD	< LD	< LD
LHC PA7 / LHC MACHINE SECTORS 6-7/8-7	2.1E+12	< LD	< LD	1.1E+9	< LD

Rejets de substances radioactives dans l'atmosphère

Les rejets de substances radioactives par les cheminées dans l'atmosphère sont résumés au Tableau 1. En raison de la faible hauteur des cheminées ainsi que des demi-vies courtes des radionucléides émis, l'impact reste local et est très faible. Les radionucléides se répartissent en cinq catégories : les gaz radioactifs de demi-vie courte ¹¹C, ¹³N, ¹⁴O, ¹⁵O et ⁴¹Ar ; le ⁷Be ; l'activité bêta totale (majoritairement ³²P, ³³P et ³⁵S) ; le tritium (³H) ainsi que les isotopes de l'iode. Cette dernière catégorie est principalement émise par l'installation ISOLDE.

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. Les radionucléides rejetés se répartissent en quatre catégories : le tritium sous forme aqueuse (HTO) ; le ²²Na; les rejets d'émetteurs de positrons de demi-vie courte (¹¹C, ¹³N, ¹⁴O, ¹⁵O) et le ²⁴Na d'une demi-vie de 15 heures. Le Tableau 2 présente les rejets de 2025, mais seulement pour les points de rejet où des radionucléides en concentrations supérieures aux limites de détection ont été mesurés. L'eau des tours de refroidissement du site de Prévessin est traitée et une fraction de cette eau est évacuée par le réseau d'eau usée. Les traces de tritium mesurées proviennent de la diffusion à travers les échangeurs de chaleur.

Surveillance des immissions

Les rejets atmosphériques des installations du site de Meyrin ont donné lieu à des concentrations locales maximales présentées dans le Tableau 3. Seules les stations EAS123 (EAS : Environmental Aerosols Sampler, échantillonneur d'aérosols environnementaux), EAS163 et EAS164 sont équipées de filtres à charbon actif. Les stations EAS123 et EAS163 sont également équipées de piègeurs passifs de tritium. L'iode gazeux et la vapeur d'eau tritiée ne sont pas échantillonnés aux autres stations. La fraction de la limite d'immission est fournie à titre indicatif et est surévaluée, car seules les concentrations maximales mesurées sont présentées et sont considérées comme représentatives de l'ensemble de l'année. Les traces des isotopes de l'iode proviennent majoritairement de l'installation ISOLDE.

Concernant l'environnement aquatique et comme pour les années précédentes, des traces de radioéléments ont été mesurées dans l'eau des cours d'eau du Lion (F) et de l'Allondon (F/CH) (Tableau 4). Le marquage est induit par les eaux d'infiltration des installations de la Zone Nord de Prévessin.

Tableau 2:

Rejets dans les cours d'eau en 2025. WMS : Water Monitoring Station (station de surveillances de l'eau), n.m : non mesuré.

Cours d'eau récepteur	Rejets (Bq)			
	¹¹ C	²⁴ Na	³ H	²² Na
Meyrin / Nant d'Avril	5.1E+10	< LD	3.7E+8	< LD
WMS101 / WRNA3	< LD	< LD	3.7E+8	< LD
WMS910 / WRNA1	5.1E+10	< LD	< LD	< LD
Prévessin / Lion	< LD	3.7E+8	8.7E+9	3.2E+3
WMS021 / WRLI2	< LD	3.7E+8	8.5E+9	3.2E+3
WMS103 / WRLI3	< LD	< LD	7.7E+6	< LD
WMS806 / WRLI1	n.m.	n.m.	1.6E+8	< LD
Marquet	< LD	< LD	7.4E+7	9.1E+1
WMS970 / WRMA1				
Nant	< LD	< LD	8.7E+8	< LD
WMS980 / WRNT1				

Réseau d'eaux usées	Rejets (Bq)
	³ H
Site de Prévessin	3.3E+7

Tableau 3:

Concentrations maximales mesurées dans l'air sur le site de Meyrin (immissions). Le terme gaz fait référence aux formes physico-chimiques de l'iode qui ne sont pas piégées sur les filtres en fibre de verre.

Station de surveillance	³ H (Bq/m³)	¹²⁴ I gas (Bq/m³)	¹²⁶ I gas (Bq/m³)	¹³¹ I gas (Bq/m³)	% Li
EAS123	(5.2±2.7) × 10 ⁻²	-	-	(1.8 ± 0.7) × 10 ⁻⁴	0.03 %
EAS163	(1.4 ± 0.4) × 10 ⁻¹	(1.7 ± 0.8) × 10 ⁻⁴	(4.2 ± 1.5) × 10 ⁻⁴	(1.7 ± 0.5) × 10 ⁻³	0.33 %

Tableau 4:

Concentrations mesurées dans les échantillons prélevés dans les cours d'eau.

Cours d'eau récepteur	Date échantillonnage	Code échantillon eau	^3H (Bq/L)	%Li	Code échantillon bryophyte	^{54}Mn (Bq/kg masse sèche)
Lion (F)	27.08.2025	RWLI5	6.2 ± 1.4	0.03 %	RMLI5	52.4 ± 6.7
Lion (F)	27.08.2025	RWLI7	16.3 ± 1.6	0.08 %	RMLI7	2.4 ± 1.0
Allondon (F/CH)	27.08.2025	RWAL3	11.3 ± 1.5	0.06 %		
Marquet (Affluent, F)	27.08.2025	RWMA2	7.5 ± 1.4	0.04 %		

Tableau 5:

Concentrations maximales mesurées dans les nappes phréatiques profondes s'écoulant sous certaines installations de la Zone Nord du site de Prévessin. L'eau s'écoule dans des graviers plusieurs dizaines de mètres sous le site du CERN et n'est pas accessible au public. Par conséquent, une comparaison directe avec la limite d'immission est une approche conservatrice.

Code	Date échantillonnage	^3H (Bq/L)	^{22}Na (Bq/L)	% Li
GWPI05	17.07.2025	6.8 ± 1.3	< LD	0.04 %
GWPI07	29.01.2026	17.3 ± 1.6	0.4 ± 0.1	0.56 %
GWPI09	29.01.2026	1.6 ± 1.2	< LD	0.01 %

Comme par le passé, l'activité du ^{54}Mn rejetée dans le Lion est inférieure à la limite de détection au point de rejet. Ce radioélément s'accumule néanmoins dans les bryophytes (les mousses aquatiques) qui agissent comme bioaccumulateurs. Les bryophytes en question (RMLI5 et RMLI7) sont prélevées à quelques dizaines de mètres du point de rejet. Les traces de tritium mesurées dans l'affluent du Marquet proviennent des faibles volumes d'eau issus de la zone des collimateurs dans le tunnel du LHC.

Une nappe phréatique profonde prend sa source sous le site de Prévessin par accumulation de l'eau des glaciers sur le toit de la molasse, qui à cet endroit prend la forme d'un bassin. Cette eau s'écoule alors sous les installations de la Zone Nord et peut potentiellement recevoir une fraction de l'eau percolant autour ou exfiltrant les installations. Des traces de tritium et plus rarement de ^{22}Na sont mesurées dans l'eau de cette nappe, prélevée à 40 m de profondeur, par l'intermédiaire de piézomètres ayant servi à son étude hydrogéologique. Ces valeurs sont rapportées dans le Tableau 5.

Aucun autre radioélément d'origine artificielle n'a été détecté, dans aucun des autres échantillons prélevés dans l'environnement, tandis que toutes les valeurs

susmentionnées étaient bien inférieures aux limites d'immission [8]. Le marquage de l'environnement par des radionucléides produits au CERN peut donc être considéré comme très faible.

Impact radiologique

La dose efficace aux personnes représentatives du public a été calculée à partir des équivalents de dose ambiants mesurés aux clôtures du site [2] et des activités rejetées dans l'air et dans l'eau, en utilisant des modèles [3, 4] basés sur les directives [5, 6]. Cette dose est demeurée inférieure à 0.006 mSv. Elle correspond à la dose estimée pour une personne représentative, au sens de la Publication 101 de la Commission internationale de protection radiologique [9]. Il s'agit d'un individu hypothétique parmi les plus exposés de la population, défini de manière réaliste mais prudente, en tenant compte de caractéristiques telles que les modes de vie, l'alimentation et le temps passé à proximité des clôtures des sites du CERN.

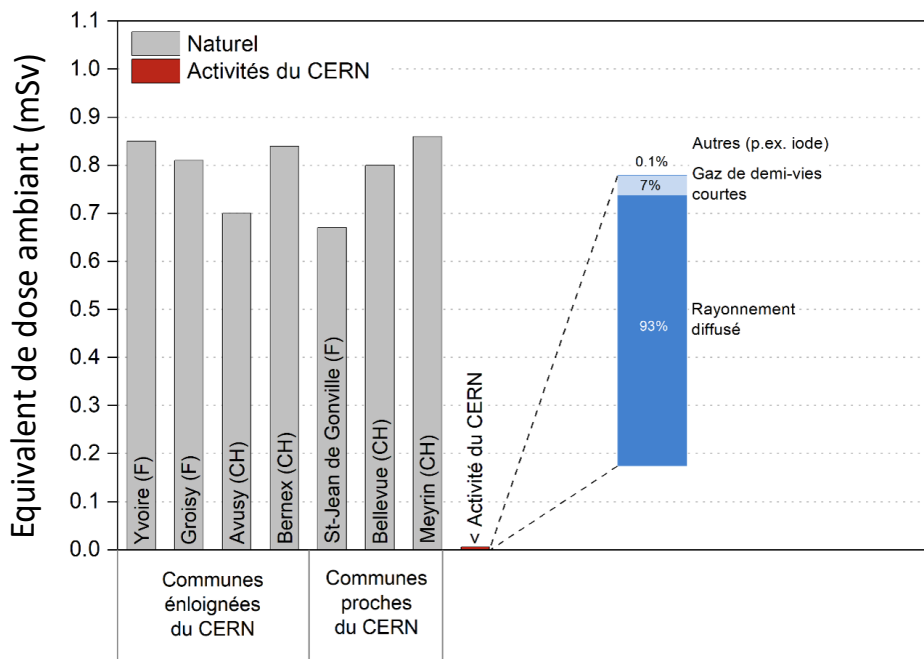


Figure 4:

Contribution à la dose annuelle des activités du CERN, comparée aux variations des doses naturelles induites par le rayonnement externe, dans des communes françaises et suisses.

Conclusions

- Les résultats du programme de surveillance effectué par le CERN, combinés aux calculs de dose aux personnes représentatives du public ont démontré, pour l'année 2025 comme pour les années précédentes, que l'Organisation a largement respecté la valeur limite de 0.3 mSv fixée dans la réglementation du CERN [1].
- Des radionucléides ont été détectés dans des échantillons prélevés dans l'air du site de Meyrin et certains cours d'eau récepteurs. Les valeurs de concentration sont restées inférieures aux limites d'immission [8]. De fait, le marquage de l'environnement par les activités du CERN demeure très faible.
- De manière à confronter l'impact dosimétrique des activités du CERN aux valeurs typiques d'exposition naturelle, la Figure 4 compare la dose susmentionnée de 0.006 mSv avec la dose équivalente annuelle mesurée en plusieurs localités proches et éloignées des sites du CERN. Les fractions présentées, avec 7 % de contribution à la dose par les rejets atmosphériques de gaz de demi-vies courtes, sont uniquement valides pour la personne représentative. Pour les membres du public moins exposés, ces fractions peuvent varier.

Références

- [1] Code de Sécurité F Rev., Radioprotection CERN (2006).
- [2] Evaluation of doses from stray radiation in the environment of CERN (2022).
- [3] Models for assessing the dosimetric impact of releases of radioactive substances from CERN facilities to the environment – Air (2022).
- [4] Models for assessing the dosimetric impact of releases of radioactive substances from CERN facilities to the environment - Watercourses (2022).
- [5] 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).
- [6] Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, Safety Reports Series No. 19, IAEA, Vienna (2001).
- [7] Accord entre le Gouvernement de la République française, le Conseil fédéral suisse, et L'Organisation européenne pour la Recherche nucléaire relatif à la Protection contre les rayonnements ionisants et à la Sûreté des Installations de l'Organisation européenne pour la Recherche nucléaire (2010).
- [8] Ordonnance sur la radioprotection (ORaP), 814.501, Berne (version 2022), Annexe 3.
- [9] ICRP, 2006. Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of the Radiation Protection of the Public. ICRP Publication 101a. Ann. ICRP 36 (3).

8.7 Environnement du CERN (Mesures OFSP)

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

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

J.-L. Loizeau, H. Mayor

Département F.-A. Forel des sciences de l'environnement et de l'eau, Université de Genève, 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 2025 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 très faible.

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 (11 dosimètres à thermoluminescence-TLD-évalués par l'IRA) et mesures instantanées de l'équivalent de dose ambiant effectuées par l'OFSP sur 8 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.

On notera qu'après la période d'arrêt technique hivernal 2024–2025, les installations du CERN ont été progressivement remises en service à partir de mars 2025. Elles ont ensuite fonctionné jusqu'au début du mois de décembre 2025.

Mesures de l'exposition ambiante

Onze sites ont été surveillés en 2025 par l'Institut de Radiophysique (IRA) sur mandat de l'OFSP. Cinq d'entre eux sont situés dans l'enceinte du centre de recherche (côtés suisse et français) et 6 sur le parcours du LHC ; la surveillance est complétée par la mesure d'un TLD placé sur un site de référence situé dans un voisinage plus éloigné.

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 sont illustrés sur la figure 1. Au premier trimestre 2025, les installations étaient à l'arrêt pour maintenance ; les doses de neutrons mesurées sont restées inférieures à la limite de détection.

Au cours du reste de l'année, les équivalents de dose ambiante dus aux neutrons sont restés globalement faibles. Toutefois, des valeurs mesurables ont été

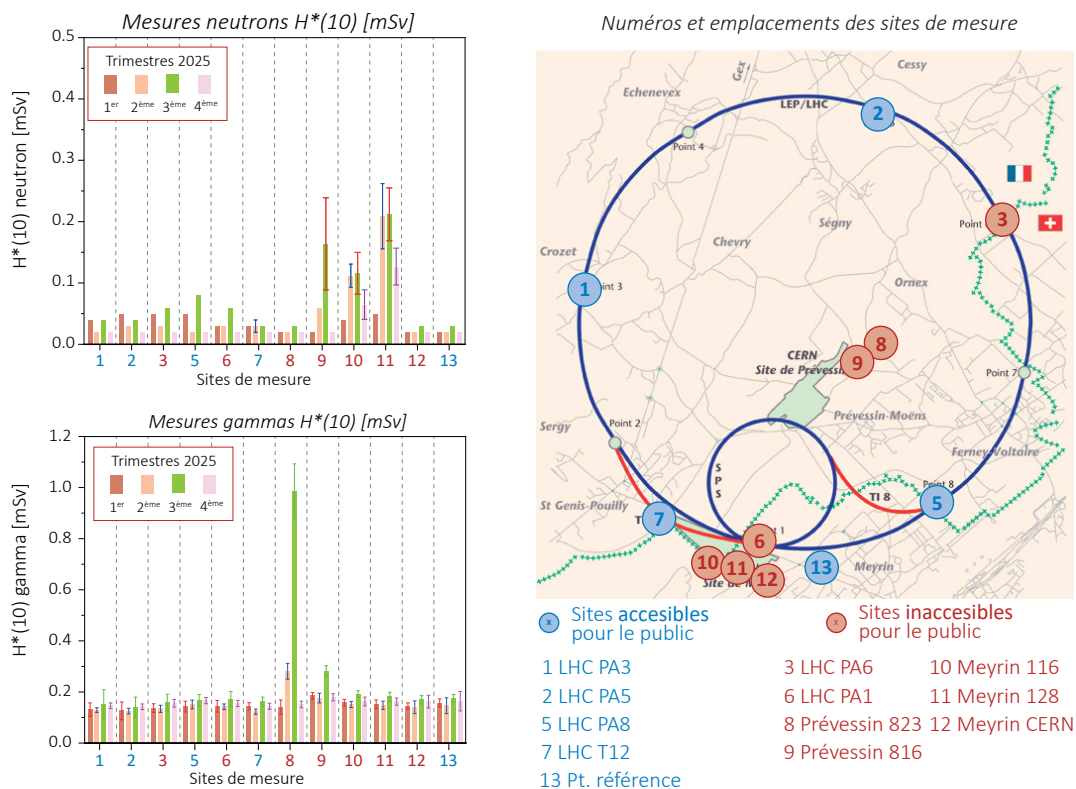


Figure 1:

Relevé trimestriel de l'équivalent de dose ambiante $H^*(10)$ en mSv sur différents sites de mesure au CERN pour les neutrons et les gammas en 2025.

relevées en certains points, en particulier à proximité du synchrotron à protons de Meyrin, avec un maximum de 0,21 mSv par trimestre enregistré au point 11. Les niveaux mesurés sur ce site en 2025 sont conformes aux valeurs habituellement observées lorsque les installations sont en exploitation. Par ailleurs, une dose de neutrons de 0,164 mSv a été mesurée au point 9 à Prévessin au troisième trimestre. Les doses de photons enregistrées en 2025 correspondent, dans l'ensemble, au niveau d'irradiation naturelle (environ 0,2 mSv par trimestre pour les rayonnements gamma). Une exception a toutefois été constatée au point 8 à Prévessin, où une valeur de 1 mSv a été mesurée au troisième trimestre ; ce type de valeur avait déjà été observé occasionnellement à cet emplacement par le passé.

Ainsi, les résultats des mesures des équivalents de dose ambiants des neutrons et des photons effectuées par l'IRA en 2025 n'ont mis en évidence aucune valeur inhabituelle.

Les relevés instantanés réalisés par l'OFSP à l'aide d'une chambre d'ionisation (Figure 2), en septembre 2025, sur huit sites du voisinage proche du CERN et neuf sites distants (tous situés en territoire suisse), n'ont pas mis en évidence d'influence du centre de recherche sur l'exposition ambiante due au rayonnement gamma. Les valeurs du débit d'équivalent de dose ambiante $H^*(10)$

(photons) se sont échelonnées entre 64 et 90 nSv/h et se situent dans le domaine de variation de l'irradiation naturelle (moyenne des sites limitrophes : 82 ± 8 nSv/h ; moyenne des sites distants : 69 ± 4 nSv/h).

Mesures dans le milieu atmosphérique

La station de mesure du réseau automatique de surveillance de la radioactivité dans l'air, URAnet aero, située au CERN a fonctionné sans interruption en 2025. Les 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 de ^{214}Pb et de ^{214}Bi , descendants du radon, sont clairement mesurables, celles des émetteurs gamma d'origine artificielle sont toutes restées inférieures aux limites de détection (de l'ordre de 5 à 10 mBq/m³ pour le ^{137}Cs pour un temps de mesure de 12h) en 2025. Le moniteur d'iode, 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 l'ordre de 50 mBq/m³.

Les résultats des mesures hebdomadaires des filtres aérosols à haut débit (HVS) du CERN sont représentés dans la figure 3 ; ils confirment la prédominance des radioéléments d'origine naturelle, tels que ^7Be et ^{210}Pb .

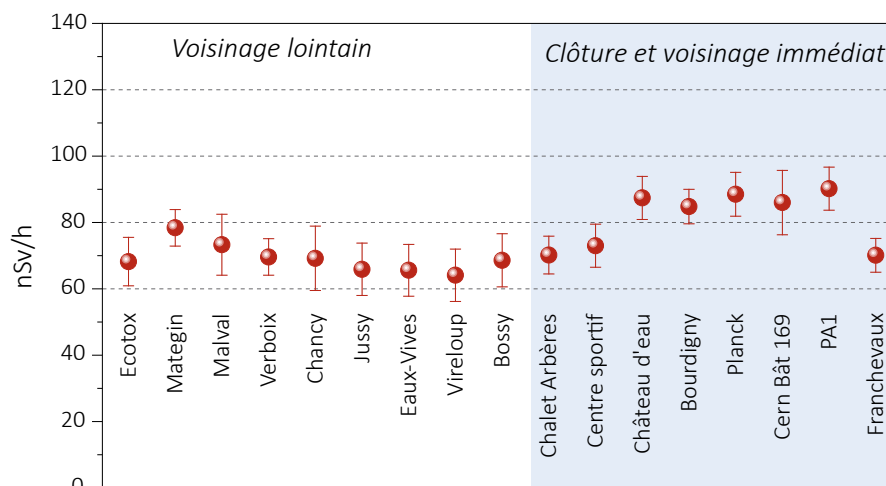


Figure 2:

Mesures du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ effectuées par l'OFSP en 2025 à l'aide d'une chambre d'ionisation placée 1 m au-dessus du sol.

Le cas du ^7Be est toutefois particulier du fait de sa double origine : naturelle et anthropogénique (production par les installations du CERN, voir Tableau 1 du Chap. 8.6).

Le tableau 1 ne montre toutefois pas de différence notable entre les concentrations de ^7Be mesurées en 2025 dans les filtres aérosols de la station du CERN et celles enregistrées dans les stations situées hors de son influence. Des traces de ^{22}Na , également d'origine naturelle, sont régulièrement détectées (valeurs comprises entre < 0.2 et $0.8 \mu\text{Bq/m}^3$).

Tableau 1:

Concentrations du ^7Be mesurées en 2025 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 ($\mu\text{Bq/m}^3$)	Moyenne ($\mu\text{Bq/m}^3$)
CERN (Meyrin/GE)*	1.0 - 5.7	2.7 ± 1.1
Posieux/FR	1.0 - 6.2	3.0 ± 1.2
Klingnau/AG	1.1 - 5.1	2.7 ± 1.1
Güttingen/TG	0.8 - 5.7	2.8 ± 1.2
Cadenazzo/TI	0.8 - 5.7	3.1 ± 1.2

En ce qui concerne les radioéléments d'origine artificielle, des traces de ^{137}Cs (valeur maximale de $0.6 \pm 0.2 \mu\text{Bq/m}^3$) provenant des retombées des essais nucléaires des années 50 et 60 ainsi que de l'accident de Tchernobyl ont été détectées à quelques reprises, comme partout en Suisse. La remise en suspension dans l'air des particules de sol qui contiennent le ^{137}Cs est plus importante par

temps sec, raison pour laquelle ces traces sont le plus souvent mesurées en hiver.

De faibles concentrations de ^{24}Na ($71 - 105 \mu\text{Bq/m}^3$) ainsi que quelques traces d' ^{131}I (0.7 à $5.8 \mu\text{Bq/m}^3$) ont également été décelées dans les filtres aérosols en 2025. Ces radioisotopes de courte demi-vie (15 h pour le ^{24}Na et 8 jours pour l' ^{131}I) sont produits dans les installations du CERN et sont sporadiquement mesurables dans l'environnement quand celles-ci sont en fonction. Lors des changements de cible de l'installation ISOLDE, il se peut que plusieurs isotopes d'iode soient mesurables simultanément dans l'environnement, ce qui ne fut pas le cas en 2024 ; sinon, c'est essentiellement l' ^{131}I qui est détecté.

Même si la concentration d' ^{131}I mesurée sur les filtres à aérosols ne représente qu'une fraction de la concentration totale d' ^{131}I présente dans l'air, la phase gazeuse, prédominante, ne se déposant pas sur les filtres, il est possible d'estimer cette concentration totale. Sur la base des mesures effectuées par le CERN au cours des années précédentes, la concentration d' ^{131}I gazeux peut être estimée à environ 50 à 100 fois celle de la fraction particulaire. Ainsi, même en retenant l'hypothèse la plus conservatrice (facteur 100), la concentration totale maximale d' ^{131}I dans l'air reste très inférieure aux limites d'immissions définies pour ce radionucléide dans l'Ordonnance sur la radioprotection, avec une valeur n'excédant pas environ 0,06 % de cette limite.

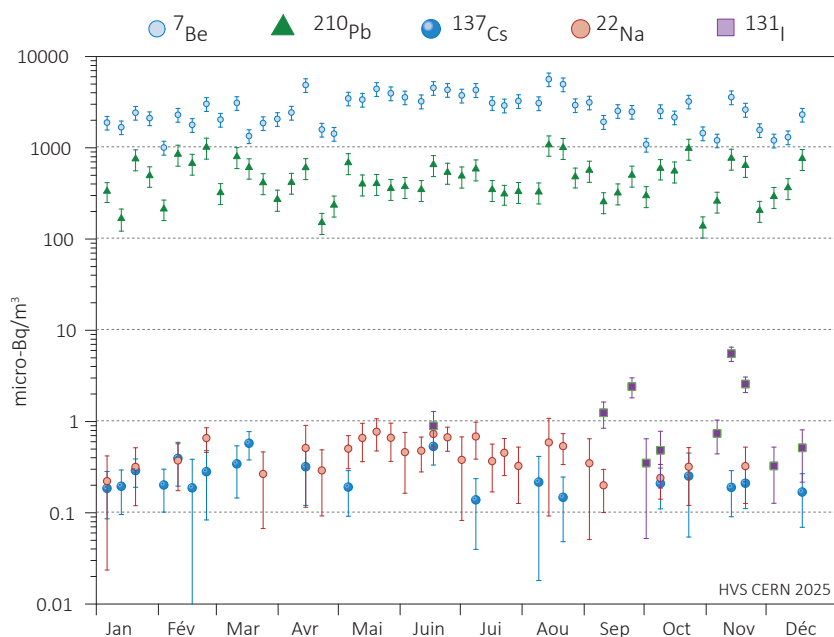


Figure 3 :
Concentrations des radionucléides d'origine naturelle et artificielle mesurées en 2025 dans les aérosols prélevés hebdomadairement à la station à haut débit du CERN.

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 4 montre que les valeurs mesurées à proximité du centre de recherche sont comparables à celles relevées sur des sites hors de son influence, comme Posieux/FR (pour plus de détails sur les mesures in situ, se référer au chapitre 3.1). L' ^{41}Ar , parfois détecté lors des campagnes précédentes, n'a pas été mesuré en 2025.

Les analyses en laboratoire d'échantillons de sol et d'herbes prélevés à proximité immédiate du centre de recherche ont confirmé l'absence de marquage du milieu par des radionucléides produits par celui-ci. Les résultats sont typiques de ceux obtenus pour des échantillons comparables du Plateau suisse. Outre la présence permanente de radioéléments d'origine naturelle, dont les concentrations prédominent, on détecte encore des traces des retombées des essais nucléaires des années 1950 et 1960 (voir chapitre 7.2), et, dans une moindre mesure, celles de l'accident de Tchernobyl.

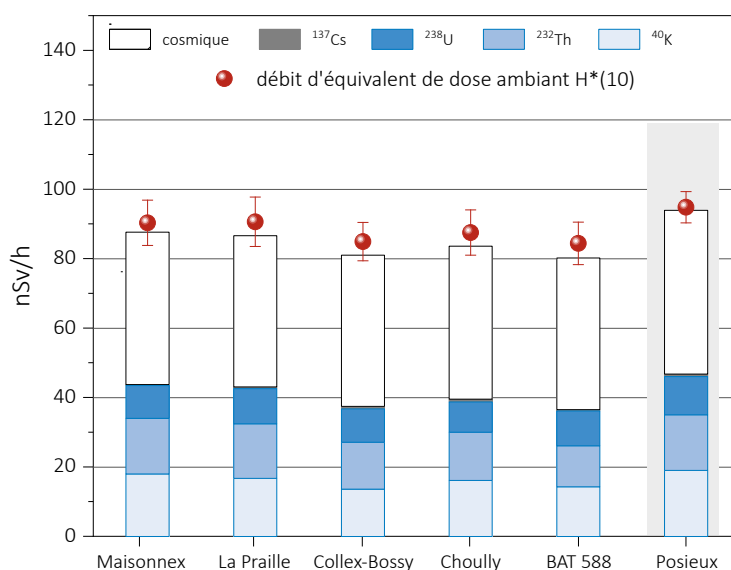


Figure 4 :
Contributions individuelles au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$, calculées à partir des spectres in situ (distribution supposée homogène des radionucléides dans le sol), mesurés au voisinage du CERN en 2025. La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$, réalisée à l'aide d'une chambre d'ionisation, est également représentée.

Mesures dans le milieu aquatique

Depuis le 25 mars 2025, la surveillance des émetteurs gamma dans les eaux du Rhône à Chancy ne s'effectue plus par prélèvement et analyse d'échantillons en laboratoire, mais au moyen d'une sonde automatique de mesure en continu. En raison de plusieurs pannes, la sonde n'était pas opérationnelle entre la mi-juillet et la mi-décembre. Pendant les quatre mois de surveillance réalisée en 2025, aucun émetteur gamma d'origine artificielle n'a été détecté dans les eaux du Rhône à Chancy. Notons encore que la sonde n'a pas pu effectuer de mesures entre le 16 et le 26 mai en raison de l'abaissement partiel de la retenue de Verbois (APAVR, voir chapitre 4.5).

Les concentrations de tritium mesurées dans les échantillons d'eaux du Rhône prélevés à Chancy sont restées inférieures à la limite de détection de 2 Bq/L.

Le programme de surveillance du Nant d'Avril, conduit par 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 font l'objet d'un rapport spécifique [1].

Au total, 25 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 21 novembre 2024 et le 2 décembre 2025, avec une durée de prélèvement moyenne de $13,2 \pm 4,4$ jours par échantillon. À noter que certaines périodes (1.6–11.6.2025 ; 9.08–15.08.2025 ; 19.08–1.09.2025 ; 27.10–30.10.2025) ne sont pas couvertes en raison de pannes de l'échantillonneur ou de la batterie.

Les échantillons d'eau sont acidifiés afin de limiter l'adsorption d'éléments à la surface des récipients, puis filtrés à $1,2 \mu\text{m}$. 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 afin d'obtenir un résultat global pour l'eau (eau brute). Les eaux ayant été acidifiées avant traitement, la répartition des radionucléides entre phase dissoute et particulaire ne correspond plus à celle existant dans la rivière.

Dans les échantillons d'eau brute, outre les radionucléides géogènes, le ^7Be est le principal radionucléide détecté (figure 5). Son activité moyenne (lorsque l'isotope est présent) pour la période considérée s'est élevée à 0,55 Bq/L. L'activité spécifique maximale de ^7Be ($2,21 \pm 0,07$ Bq/L) a été

mesurée en juillet 2025. Les concentrations restent élevées de mi-juin à fin septembre. Le ^{137}Cs , issu des essais nucléaires atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl, n'a pas été observé dans les particules en suspension au cours de cette année.

En revanche, du ^{22}Na a été mis en évidence à deux reprises, en février et en avril, toujours à des niveaux proches des limites de détection. Aucun autre radionucléide susceptible de provenir du CERN n'a été identifié dans les échantillons d'eau au cours de la période sous revue.

L'échantillonnage des eaux étant réalisé de manière proportionnelle au débit, il est possible d'estimer le flux d'un radionucléide en multipliant les débits (exprimés en $\text{m}^3/\text{période}$) par l'activité spécifique correspondante.

Le flux annuel de ^7Be écoulé dans le Nant d'Avril au point de mesure pour la période 2024 - 2025 est ainsi estimé entre 3'139 MBq/an au minimum et 3'530 MBq/an au maximum. Ces valeurs sont les plus élevées observées au cours des 25 dernières années (voir figure 6). Un test de Mann-Kendall met en évidence une tendance temporelle à la hausse du flux de ^7Be , statistiquement significative ($p\text{-value} = 0.016$), surtout marquée depuis 2012.

L'analyse des sédiments prélevés mensuellement dans le Nant d'Avril a mis en évidence la présence de ^7Be et de ^{137}Cs dans tous les échantillons, avec des activités spécifiques comprises respectivement entre 458 et 2'351 Bq/kg (moyenne : 1128 ± 695 Bq/kg) et entre 3.7 et 7.6 Bq/kg (moyenne : 5.4 ± 1.2 Bq/kg). Ces résultats sont comparables aux valeurs mesurées les années précédentes. Aucun autre radionucléide observé dans le passé (^{60}Co , ^{57}Co , ^{54}Mn) n'a été détecté dans les sédiments au cours de la période de surveillance.

Afin de mettre en évidence d'éventuelles augmentations des immissions radioactives dans le milieu aquatique liées au fonctionnement du LHC, des sédiments et des bryophytes sont prélevés une fois par an aux huit principaux points de rejet des eaux du LHC et analysés par le département F.-A. Forel. Les pièges à sédiments ont été exposés du 16 septembre au 14 octobre 2025. Des bryophytes de l'espèce *Rhynchostegium riparioides* ont été prélevées le 16 septembre 2025. En raison de l'absence de bryophytes aux points PA7 et PA8, aucune mesure de ce type d'échantillon n'a pu être effectuée pour ces sites en 2025. Les algues présentes sur les cailloux au point PA8 ont été prélevées et mesurées. Notons que le LHC était en activité pendant la période des prélèvements.

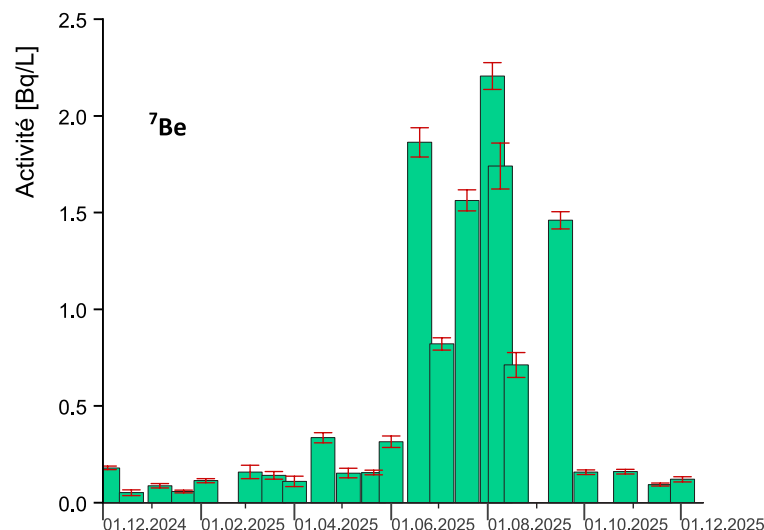


Figure 5 :
Activités du ^{7}Be mesurées dans les eaux brutes du Nant d'avril entre décembre 2024 et novembre 2025.

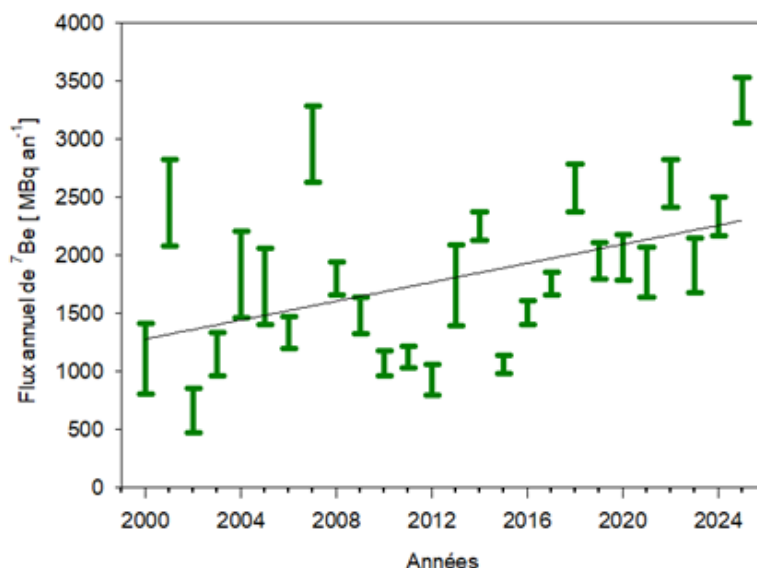


Figure 6 :
Estimation des flux annuels minimums et maximums de ^{7}Be dans le Nant d'Avril (données Département F-A. Forel)

Les activités spécifiques mesurées dans les sédiments prélevés aux points de rejet du LHC se sont échelonnées entre 579 et 4297 Bq/kg pour le ^{7}Be et entre 3.3 et 14.4 Bq/kg pour le ^{137}Cs . Dans les bryophytes, les activités spécifiques de ^{7}Be variaient entre 317 et 6'698 Bq/kg; les activités spécifiques de ^{137}Cs étaient toutes inférieures aux limites de détection. Des valeurs élevées de ^{7}Be sont observées en plusieurs points des rejets du LHC notamment aux points PA1, PA8 et en particulier au point PA6, avec une valeur de 6'698 Bq/kg dans les bryophytes, soit près du double des valeurs maximales observées depuis le début de la surveillance. Au point PA3, l'activité spécifique de ^{7}Be dans les sédiments (4'297 Bq/kg) est également proche du double des maxima mesurés depuis 2009.

la moyenne inférieure des années précédentes (voir chapitre 4.1), une origine exclusivement liée aux apports atmosphériques ne permet pas d'expliquer l'ensemble des observations. Par ailleurs, aucune corrélation n'a pu être mise en évidence entre les concentrations observées et les rejets du CERN. L'origine de l'augmentation constatée demeure donc incertaine. Une contribution de sources environnementales locales ne peut toutefois pas être exclue. En particulier, les nombreux travaux de terrassement et d'aménagement ayant été réalisés dans les secteurs concernés pourraient avoir favorisé la mobilisation de sols ou de particules contenant du ^{7}Be préalablement déposé par voie atmosphérique, contribuant ainsi à l'augmentation des concentrations constatée dans les eaux du Nant d'Avril.

Les concentrations naturelles de ^{7}Be mesurées dans l'atmosphère en Suisse en 2025 se situant plutôt dans

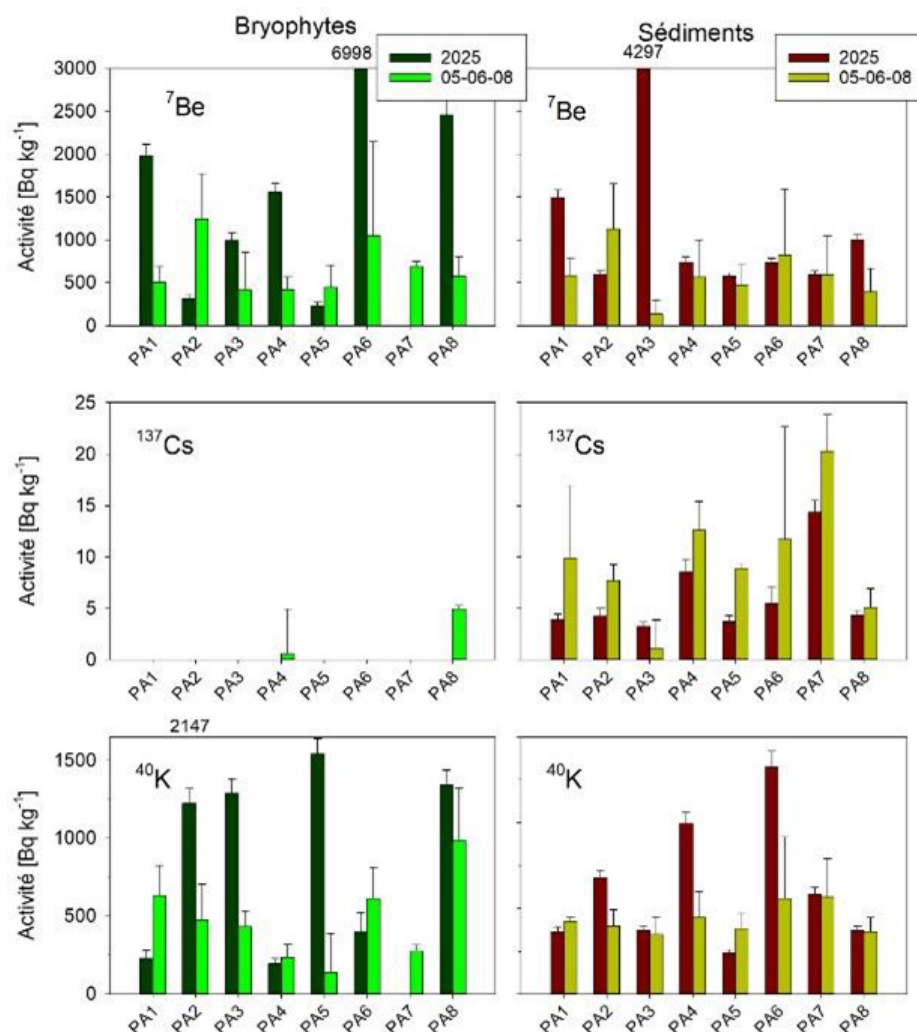


Figure 7 :

Activités des radionucléides dans les bryophytes et les sédiments aux points de rejet du LHC (PA1 à PA8, voir figure 1). Les valeurs 05-06-08 correspondent aux moyennes des résultats des campagnes de mesures effectuées en 2005, 2006 et 2008, avant la mise en service du LHC. Il n'y avait pas de bryophytes au point PA7 et PA8 en 2025, des algues ont été prélevées au point PA8.

Conclusions

Le programme de surveillance mené de manière indépendante par l'OFSP, en collaboration avec l'IRA et le département F.-A. Forel, a montré que l'impact radiologique des activités du CERN sur l'environnement et la population avoisinante est resté très faible en 2025.

Les résultats des mesures dans l'air et le milieu terrestre ne se distinguent que peu de ceux enregistrés dans les stations de référence situées hors de l'influence du centre de recherche. Si des traces de radionucléides de courte période, produits par les installations du CERN, tels que ^{131}I , ont sporadiquement pu être mises en évidence dans l'air au voisinage du CERN en 2025, elles témoignent essentiellement de la sensibilité des méthodes de mesure mises en œuvre. Les valeurs

ponctuellement plus élevées du débit d'exposition ambiant mesurées en certains points proches des installations sont très localisées et n'ont pas d'impact pour la santé de la population avoisinante.

Concernant le milieu aquatique, le programme de surveillance conduit par le département F.-A. Forel a mis en évidence un flux de ^7Be dans le Nant d'Avril parmi les plus élevés observés depuis le début de la surveillance. Des activités élevées de ^7Be ont également été mesurées dans les bryophytes et les sédiments collectés en certains points de rejet des eaux du LHC. L'origine de ces concentrations accrues en ^7Be reste incertaine. En l'absence de corrélation avec les rejets du CERN, une contribution de sources environnementales locales, notamment liée aux travaux réalisés dans les secteurs concernés, est suspectée.

9. Industries et hôpitaux

Industrien und Spitäler

9.1 Emissionen der Betriebe

Flavia Danini Fischer

SUVA, Abteilung Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz,
Bereich Chemie, Physik & Ergonomie/Strahlenschutz, Luzern

Zusammenfassung

Der Umsatz von radioaktiven Stoffen sowohl in den Produktionsbetrieben wie auch in den Forschungsbetrieben variiert im Allgemeinen stark je nach Auftragslage und Forschungsschwerpunkt. Dies trifft insbesondere für den Einsatz von mit ^3H und ^{14}C markierten Stoffen zu. Sämtliche Abgabelimits wurden im Berichtsjahr eingehalten.

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).

Forschungsbetriebe und medizinisch analytische Laboratorien (Total 55 Betriebe)

Es sind dies Unternehmungen der chemischen Industrie, die unter anderem Stoffwechseluntersuchungen mit radioaktiv markierten Stoffen durchführen sowie Laborbetriebe, welche für Hormonbestimmungen sogenannte Radioimmuno-assay Kits (Ria-Kits) mit ^{125}I einsetzen.

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

Tabelle 1 :

Umsatz radioaktiver Stoffe 2015 - 2025.

	Isotope	2025	2024	2023*	2022*	2021*	2020*	2019*	2018*	2017*	2016*	2015*	Einheit
Produktionsbetriebe	^3H	8.46	10.11	3.44	10.3	12.3	12.11	11.26	12.75	7.31	10.54	5.74	PBq
	^{14}C	0.01	0.01	0	0.37	0.19	0.26	0.26	0	0	0.07	0	TBq
	^{147}Pm	0.01	0.01	0.05	0.01	0	0.07	0	0	0	0	0	TBq
Forschungsbetriebe + Analytische Laboratorien	^3H	0.01	0.01	0.20	7.6	0.1	7.4	0.2	7.6	7.6	3.8	7.6	TBq
	^{14}C	70.78	6.37	18.9	31.7	10.4	51.1	35.4	21.3	17.1	41.3	53.9	GBq
	^{18}F	441.4	20.00										GBq
	^{32}P	0.03	0.13	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.9	0.5	0.9	GBq
	^{35}S	0.01	0.01	0	0	0.2	0	0	0	1.4	1.4	2.4	GBq
	^{51}Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.1	GBq
	$^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$	1.11	0.74										GBq
	^{125}I	0.74	0.39	0.1	0.2	0.1	0	0.2	0.5	0.3	0.3	0.1	GBq
	^{177}Lu	813.7	0.69										TBq

* die aufgeführten Werte der Jahre 2015 - 2023 beziehen sich auf den Einkauf von radioaktiven Stoffen

Resultate

Im Berichtsjahr 2025 haben sämtliche Betriebe die Abgabelimiten eingehalten. In den Tabellen 2a und 2b sind die Jahresabgabewerte der Basler Chemie an die Abluft und das Abwasser mit den entsprechenden Abgabelimiten 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. Tabelle 3 gibt die Aktivitätsmengen an, die gemäss Art. 116 der Strahlenschutzverordnung (StSV) in einem Ofen mit Zustimmung des BAG verbrannt wurden.

Die Tritium-Abgaben der drei Produktionsbetriebe, sowie die Tritium-Messungen in der Umgebung der Firma RC Tritec AG sind in den Figuren 1a, 1b, 1c und 1d graphisch dargestellt.

Der Anstieg in Figur 1b im Jahr 2023 ist durch einen erhöhten Jahresumsatz von Tritium zu erklären. Aufgrund eines Produktionsfehlers im Jahr 2024 wurden zusätzliche 2 TBq Tritium (HTO) mit der Abluft freigesetzt.

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 Abgabelimiten 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. Wegen eines Personenwechsels und Unklarheiten bei der Nachfolgeregelung wurden 2022 keine Proben in der Umgebung von RC Tritec entnommen, so dass in Figur 1d für dieses Jahr kein Messwert aufgeführt ist. Die Messserie wurde 2023 wieder aufgenommen. In Tabelle 4 sind die bewilligten Jahresabgabelimiten der drei Produktionsbetriebe zusammengefasst.

Tabelle 2a :

Abgabe radioaktiver Stoffe an die Abluft während des Jahres 2025.

	Abgaben an die Abluft (GBq)		Abgabelimiten (GBq)	
	³ H	¹⁴ C	³ H	¹⁴ C
Hoffmann-La Roche AG	26.1 GBq (org.) (Gas)	2.9 GBq	120 (org.) 2000 (Gas)	80

Tabelle 2b :

Abgabe radioaktiver Stoffe an das Abwasser während des Jahres 2025.

	Abgaben an das Abwasser (GBq)		Abgabelimiten (GBq)	
	³ H	¹⁴ C	³ H	¹⁴ C
Hoffmann-La Roche AG	4.15	0.02	80	40

Tabelle 3 :

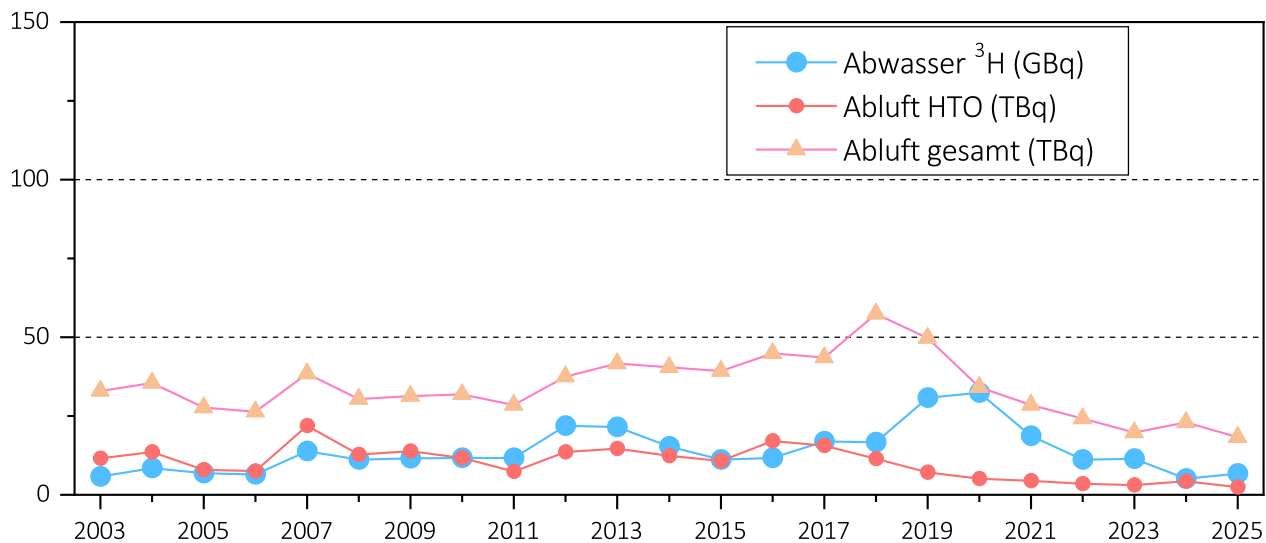
Verbrennung in einem Ofen mit Zustimmung des BAG gemäss StSV, Art. 116.

	³ H (GBq)	¹⁴ C (GBq)
SOVAG Basel	399.89	71.03
KVA St. Gallen	500.99	0
ES Dottikon	0.44	3.81
Energie Wasser Bern	6.64	0.04
Renergia Perlen	9.71	0
ZAB Bazenheid	418.79	0

Tabelle 4 :

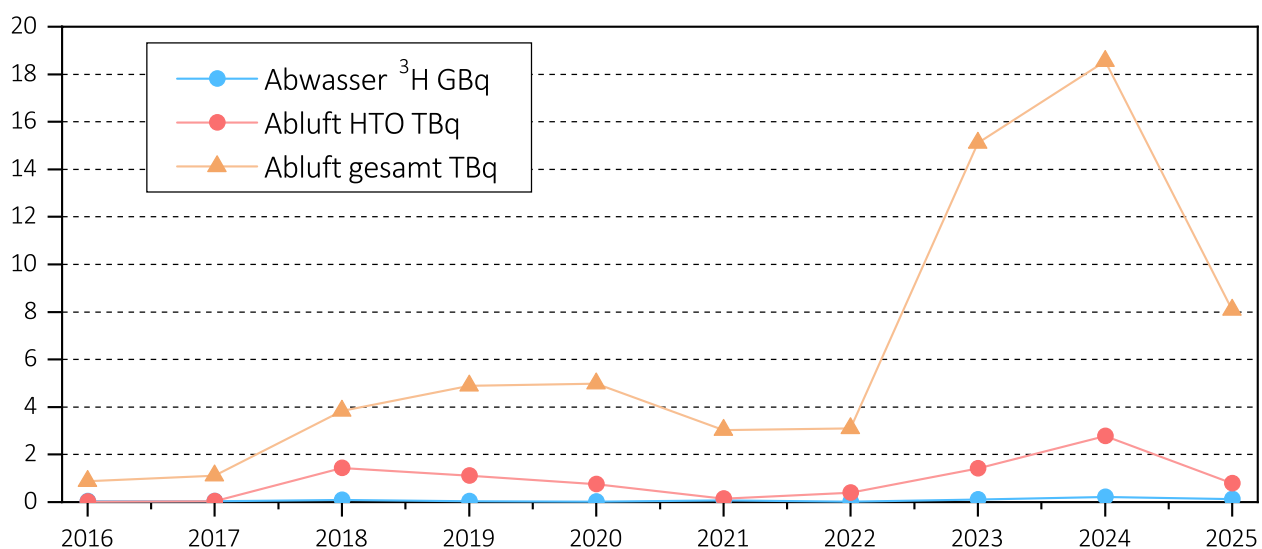
Jahresabgabelimiten der Produktionsbetriebe.

	Abwasser	Abluft	
	³ H (GBq)	³ H (HT) (TBq)	³ H (HTO) (TBq)
MB-Microtec AG, Niederwangen / BE	40	370	37
Smolsys AG, Root / LU	1.3	40	4
RC-Tritec AG, Teufen / AR	20	7.5	7.5



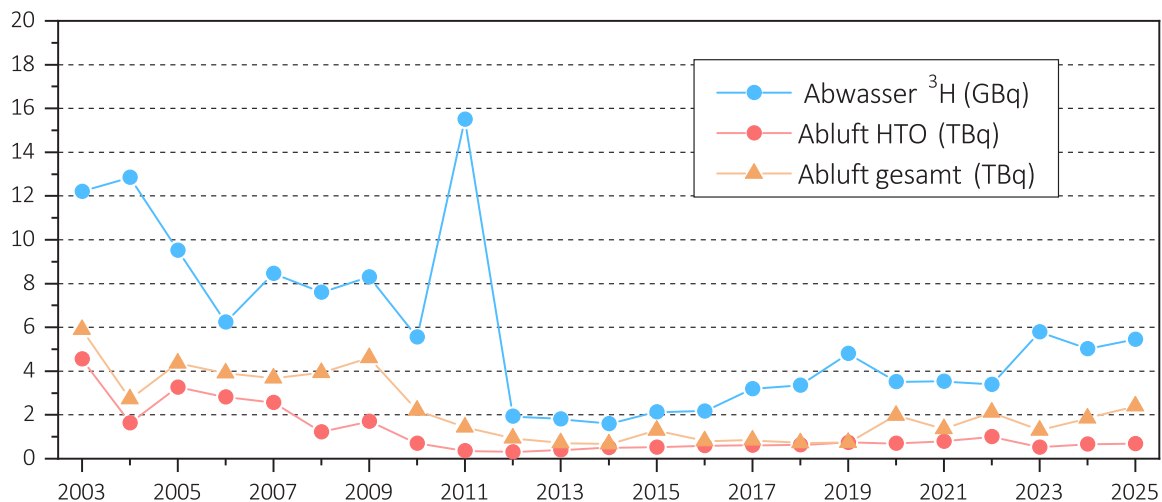
Figur 1a

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



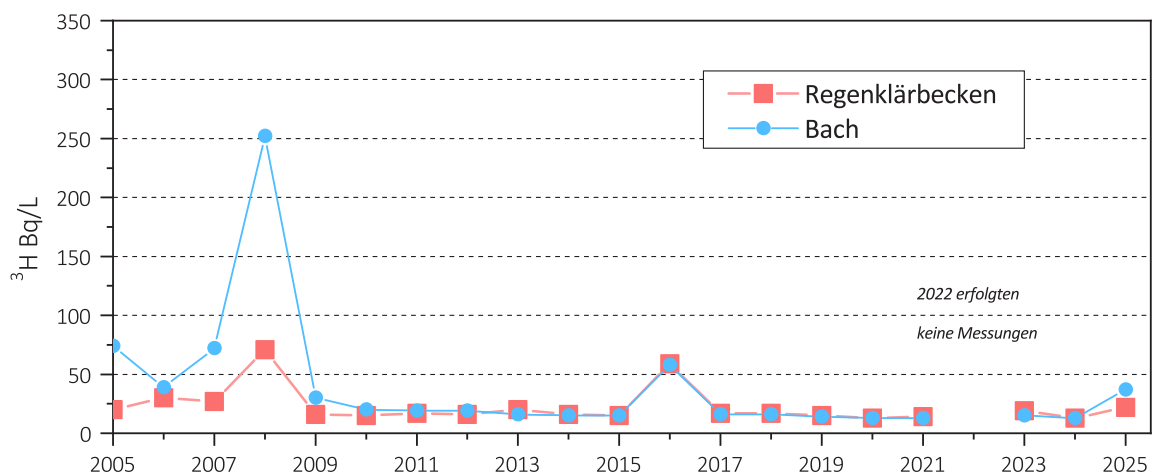
Figur 1b

smolsys AG, Root/LU: Jahreswerte der Emissionen. Die Emissionsmessungen werden durch den Betrieb durchgeführt.



Figur 1c

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



Figur 1d

RC-Tritec AG, Teufen/AR: Umgebungsüberwachung. Die Proben der Umgebungsüberwachung werden von der Suva analysiert. 2022 wurden keine Messungen gemacht.

9.2 Emissionen der Spitäler

R. Linder, N. Stritt, R. Stroude

Sektion Forschungsanlagen und Nuklearmedizin, BAG, Bern

Zusammenfassung

Der Umsatz an Radionukliden zu therapeutischen Zwecken hat sich im Berichtsjahr 2025 gegenüber dem Vorjahr insgesamt kaum verändert. Erstmals seit 2019 hat der Umsatz von ^{177}Lu für therapeutische Anwendungen gegenüber dem Vorjahr nicht mehr zugenommen. Da der Vertrieb von ^{166}Ho zur therapeutischen Behandlung von Lebermetastasen im Berichtsjahr eingestellt wurde, wird ein Teil davon mit ^{90}Y kompensiert, welches ebenfalls zu diesem Zweck verwendet werden kann. Die Abgabe von Radionukliden an die Umwelt aus der stationären Behandlung von Patienten mit ^{177}Lu und ^{131}I bleibt gegenüber dem Vorjahr praktisch unverändert. Die Abgabe von diagnostisch verwendeten Radionukliden wie $^{99\text{m}}\text{Tc}$ oder ^{18}F ins Abwasser wird nicht systematisch messtechnisch überwacht, 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 anwenden sind verpflichtet, den Umsatz, den Zweck der Applikation, sowie die Abgabemenge kontaminierter Abwässer an die Umwelt der Aufsichtsbehörde BAG jährlich zu melden. Die gemeldeten Daten werden durch das BAG ausgewertet und können zur Festlegung von Aufsichtsschwerpunkten verwendet werden.

Therapeutische Anwendung von Radionukliden

^{131}I , das zur Schilddrüsen Therapie verwendet wird, kann den Patienten bis zu einer Aktivität von 200 MBq ambulant verabreicht werden. Bei höheren Aktivitäten werden die Patienten mindestens für die ersten 48 Stunden in speziellen Therapieziimmern isoliert und dürfen erst entlassen werden, wenn eine Dosisleistung von 10 $\mu\text{Sv/h}$ in einem Abstand von 1 m zum Patienten unterschritten wird. Bei Therapien mit ^{177}Lu (zur Behandlung von neuroendokrinen- und Prostata-Tumoren) müssen Patienten bis zu ihrer Entlassung seit 2025 neu mindestens nur noch für 20 Stunden hospitalisiert werden. Dies aufgrund einer Studie des BAG, mit welcher nachgewiesen wurde, dass der Immissionsgrenzwert in öffentlich zugänglichen Gewässern sowie die Dosisgrenzwerte für Angehörige der entlassenen Therapiepatienten auch bei einer verkürzten Hospitalisierung nicht überschritten werden. Die Ausscheidungen hospitalisierter Therapiepatienten, welchen ^{177}Lu oder ^{131}I verabreicht wurde, werden in speziell dafür vorgesehenen Abwasserkontrollanlagen

gesammelt und erst nach dem Abklingen unterhalb der bewilligten Abgabelimite an die Umwelt (Kanalisation) abgegeben.

Die Radionuklide ^{90}Y und ^{223}Ra werden bei Patienten mit einer Tumorerkrankung zur Therapie verwendet, ^{169}Er , ^{186}Re und ^{90}Y zur Behandlung von rheumatischen Erkrankungen in Gelenke appliziert. Die Applikation für diese Radionuklide erfolgt in der Regel ambulant, so dass die Patienten unmittelbar nach der therapeutischen Behandlung aus dem Spital entlassen werden können. Seit 2024 wird in der Umsatzstatistik auch ^{161}Tb aufgeführt. Dieses Therapienuklid wird im Rahmen einer klinischen Studie zur Behandlung von Prostatakarzinomen und neuroendokrinen Tumoren eingesetzt.

Diagnostische Anwendung von Radionukliden

Radionuklide werden für bildgebende, diagnostische Untersuchungen in der Nuklearmedizin eingesetzt. Dabei werden den Patienten spezifische radiopharmazeutische Produkte mit kurzlebigen Nukliden verabreicht, welche sich entsprechend ihrer biochemischen Eigenschaften in bestimmten Organen, Tumoren oder Stoffwechselprozessen anreichern. Mit einer SPECT- (Single-Photon-Emission Computed-Tomography) oder PET- (Positron-Emissions-Tomography) Kamera kann die emittierte Gamma- oder Positronenstrahlung detektiert und daraus Bilder erstellt werden, welche die Funktion und Aktivität von Organen darstellen. Dies ermöglicht es dem Facharzt für Nuklearmedizin, die Verteilung des Radiopharmakons im Körper des Patienten zu beurteilen um

z.B. Durchblutung, Stoffwechsel oder Tumoraktivität zu analysieren. Die Patienten können unmittelbar nach der Untersuchung aus der Nuklearmedizin entlassen werden. Durch Ausscheidung und Abgabe dieser kurzlebigen Radionuklide ans Abwasser können die geltenden Immissionsgrenzwerte für Gewässer (IGGw) nicht überschritten werden. Aus diesem Grund ist für die Abgabe von Radionukliden, welche zu diagnostischen Zwecken verwendet wurden, weder eine messtechnische Überwachung noch eine Rückhaltung kontaminierter Abwässer erforderlich.

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 (IGGw) nicht überschreiten. Die durch das BAG bewilligte Abgabelimite beruht auf den Angaben bezüglich der gesamten Abwassermenge des jeweiligen Betriebs und der zusätzlichen Verdünnung in der Abwasserkläranlage. Die Einhaltung der bewilligten Abgabelimiten gewährleisten, dass die

Tabelle 1:

Applikationen radioaktiver Stoffe zu therapeutischen Zwecken 2025 in GBq

Spital	¹³¹ I amb.	¹³¹ I stat.	¹³¹ I Total	¹⁷⁷ Lu	¹⁸⁶ Re	¹⁶⁹ Er	⁹⁰ Y SIRT	⁹⁰ Y RSV	²²³ Ra	¹⁶⁶ Ho	¹⁶¹ Tb
Centre Hospitalier Univ. Vaudois	5.2	148.4	153.6	2'261.7	0.1	0.0	81.1	0.2	-	-	-
Clinique de Genolier	-	-	-	-	-	-	2.7	-	-	-	-
EOC Lugano (OCL)	0.2	-	0.2	-	0.1	-	-	0.2	-	-	-
EOC Bellinzona e Valli (ORBv)	-	118.8	118.8	562.4	-	-	49.5	-	-	0.2	-
Fondation La Source	1.6	-	1.6	-	-	-	-	-	-	-	-
HFR Hôpital cantonal Fribourg	-	118.4	118.4	-	0.4	-	-	0.4	-	-	-
Hirslanden Klinik Linde	0.6	-	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-
Hirslanden Klinik St. Anna	-	90.8	90.8	718.9	-	-	31.0	0.8	-	0.1	-
Hirslanden Salem-Spital	-	-	-	-	-	-	-	2.6	-	-	-
HOCH Health Ostschweiz, Standort St. Gallen	-	220.0	220.0	1'598.5	0.2	-	15.2	3.6	-	0.1	-
Hôpital Riviera-Chablais, VD-VS	-	-	-	-	-	-	37.9	0.2	-	-	-
HVS Site Sion	-	49.7	49.7	-	-	-	5.2	-	-	-	-
Insel Gruppe AG	-	246.8	246.8	2'205.2	0.1	0.5	101.1	11.2	-	0.1	-
Kantonsspital Aarau AG	-	-	-	-	0.1	-	-	0.7	-	0.1	-
Kantonsspital Baden AG	-	80.0	80.0	592.0	0.3	-	4.0	0.9	-	0.0	-
Kantonsspital BL, Bruderholz	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-	-
Kantonsspital Winterthur	-	243.2	243.2	532.8	0.1	-	55.7	1.0	-	-	-
Klinik Hirslanden AG, Zurich	-	-	-	-	-	-	93.7	0.2	-	0.0	-
Les hôpitaux univ. de Genève	-	176.4	176.4	368.4	0.1	-	87.7	1.7	-	0.0	-
LUKS Spitalbetriebe AG	-	104.6	104.6	612.9	-	-	28.1	1.4	-	0.0	-
RHNe Site de La Chaux-de-Fonds	2.2	-	2.2	-	-	-	-	-	-	0.0	-
soH AG Bürgerspital Solothurn	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	0.0	-
Kantonsspital Münsterlingen TG	-	46.7	46.7	8.2	-	-	-	-	-	0.0	-
St. Claraspital AG	-	-	-	-	-	-	2.7	-	-	-	-
Stadtspital Triemli	1.0	187.5	188.4	1'054.4	-	-	19.9	-	7.0	0.0	-
Stiftung Kantonsspital GR	-	86.5	86.5	399.6	-	0.0	-	3.1	-	-	-
Univ. Bern, Veterinärmedizin	-	3.0	3.0	-	-	-	-	-	-	-	-
Universitätsspital Basel	-	348.7	348.7	2'843.7	0.2	-	63.6	1.1	-	-	145.0
Universitätsspital Zürich	11.7	185.2	196.9	1'031.5	0.8	0.2	31.9	3.2	-	0.0	-
Gesamte Schweiz 2025	22.4	2'454.6	2'477.0	14'790.2	2.4	0.7	711.0	33.1	7.0	0.7	145.0

Tabelle 2a:

Abgabe von ¹³¹I aus Abwasserkontrollanlagen ans Abwasser 2025

Abgabe in MBq Nuklearmedizin	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Total 2025
Centre Hospitalier Univ. Vaudois	53.5	51.0	0.0	53.1	0.3	30.6	21.1	5.7	6.1	14.4	27.2	11.9	274.8
Ente Ospedaliero Cantonale	-	13.2	5.8	-	-	1.5	-	-	10.0	-	-	-	30.5
HFR Hôpital cantonal Fribourg	-	-	-	-	2.5	-	-	-	-	2.0	-	-	4.5
Hirslanden Klinik St. Anna	0.9	-	0.9	1.5	4.3	-	13.4	-	-	11.6	-	0.6	33.2
HOCH Health Ostschweiz	5.1	0.6	27.3	64.5	74.6	2.3	22.4	-	4.0	2.3	50.4	-	253.6
HVS Site Sion	2.3	2.3	0.4	0.6	1.5	0.4	0.4	-	1.2	-	2.5	-	11.6
Insel Gruppe AG	6.8	1.6	10.5	5.7	71.2	4.5	19.4	27.8	0.3	4.8	4.8	59.2	216.6
Kantonsspital Baden AG	0.3	0.1	0.0	2.2	5.9	-	-	-	-	-	-	-	8.5
Kantonsspital Winterthur	21.8	13.2	18.1	21.6	6.4	7.4	22.2	8.1	30.1	15.2	22.6	3.9	190.5
Les hôpitaux univ. de Genève	8.0	-	15.8	31.0	-	29.7	-	43.0	-	5.3	54.7	-	187.5
LUKS Spitalbetriebe AG	-	9.1	-	11.6	11.0	-	14.6	-	-	22.0	14.0	-	82.3
Kantonsspital Münsterlingen TG	-	0.0	-	11.7	-	-	-	-	-	-	-	-	11.7
Stadtspital Triemli	3.3	2.6	4.0	37.0	7.0	15.0	12.0	45.0	60.0	17.0	-	-	202.9
Stiftung Kantonsspital GR	47.6	22.7	45.4	46.9	30.6	9.2	54.7	52.1	30.2	26.9	16.5	28.5	411.3
Universitätsspital Basel	227.0	94.7	219.6	94.5	172.7	151.3	279.7	147.4	285.0	170.7	102.1	229.8	2'174.5
Universitätsspital Zürich	6.3	-	7.3	79.8	62.0	19.7	21.0	21.2	-	4.7	6.5	8.3	236.8
Gesamte Schweiz	383	211	355	462	450	272	481	350	427	297	301	342	4'331

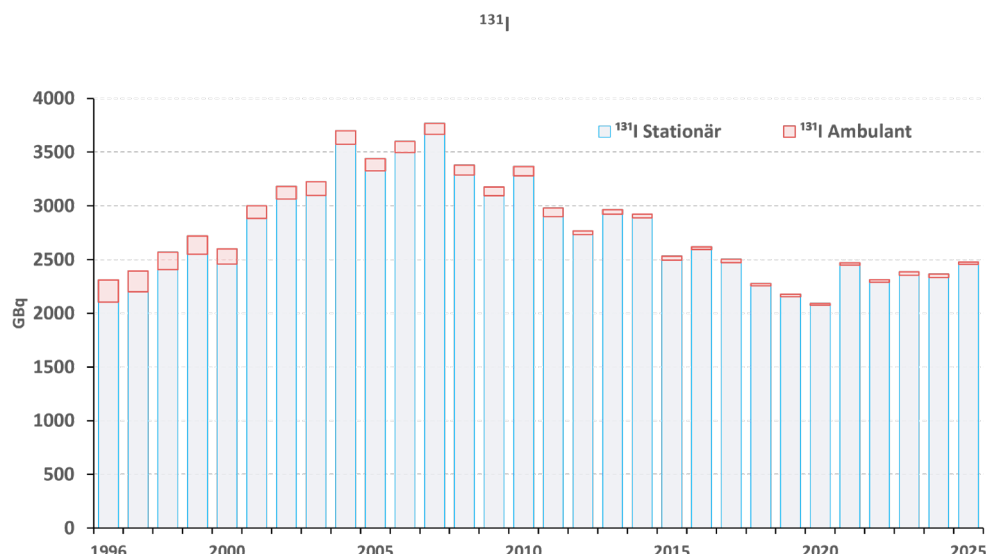
Tabelle 2b:

Abgabe von ¹⁷⁷Lu aus Abwasserkontrollanlagen ans Abwasser 2025

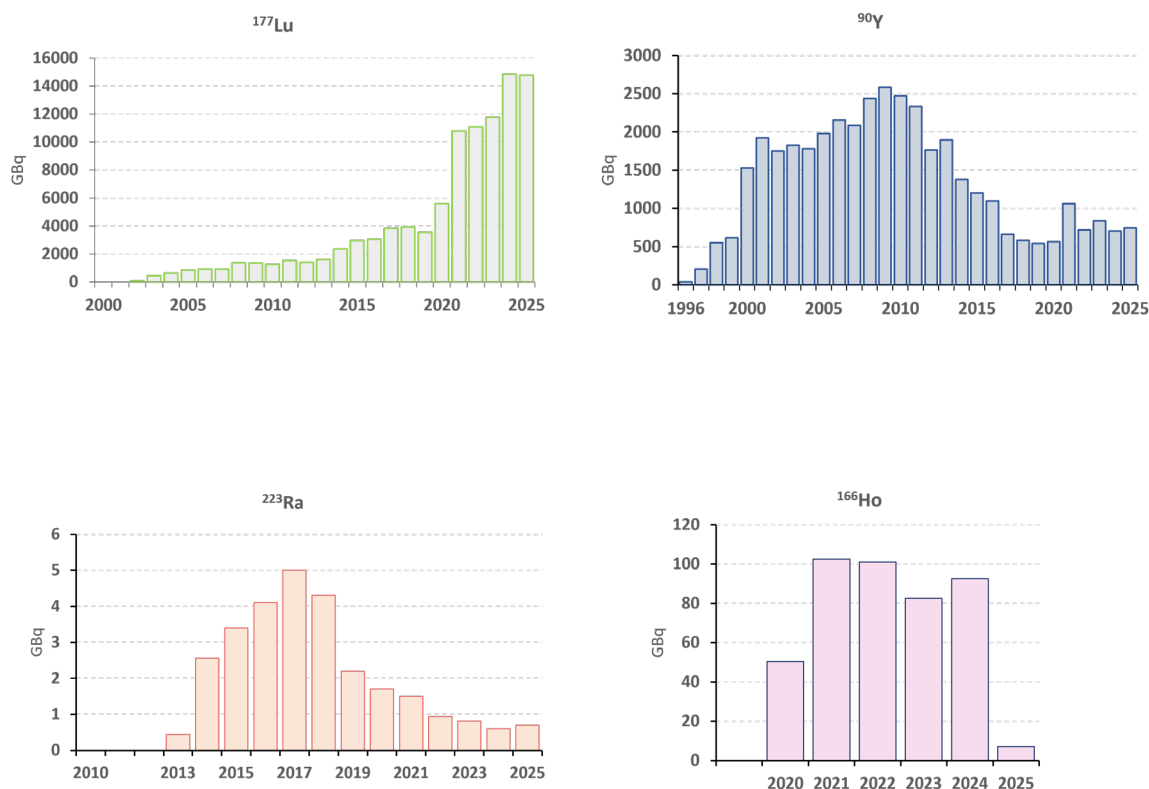
Abgabe in MBq Nuklearmedizin	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Total 2025
Centre Hospitalier Univ. Vaudois	173.5	292.9	48.4	163.8	1.7	75.1	516.0	32.1	14.7	115.0	166.9	157.0	1'756.9
Ente Ospedaliero Cantonale	2.1	0.1	10.2	-	-	0.7	-	6.4	19.0	-	-	-	38.4
HFR Hôpital cantonal Fribourg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0
Hirslanden Klinik St. Anna	1.5	-	1.5	2.2	7.5	-	18.7	-	-	18.0	-	0.8	50.2
HOCH Health Ostschweiz	1.3	8.0	81.3	113.1	28.9	15.6	133.5	-	8.2	14.4	199.9	-	604.0
HVS Site Sion	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0
Insel Gruppe AG	18.9	2.1	9.4	3.7	61.2	11.8	24.1	97.7	0.1	2.1	6.5	32.9	270.5
Kantonsspital Baden AG	0.1	0.2	0.2	6.4	16.9	-	-	-	-	-	-	-	23.8
Kantonsspital Winterthur	8.8	3.0	7.2	6.2	4.3	11.2	19.9	4.2	17.0	24.1	301.3	-	407.0
Les hôpitaux univ. de Genève	-	-	586.0	42.0	-	-	-	600.0	-	-	431.0	-	1'659.0
LUKS Spitalbetriebe AG	-	13.3	-	18.1	19.9	-	31.6	-	-	73.8	53.4	-	210.1
Kantonsspital Münsterlingen TG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0
Stadtspital Triemli	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0
Stiftung Kantonsspital GR	110.4	47.2	101.8	96.2	66.7	15.6	121.8	115.2	74.9	144.9	4.4	70.8	969.8
Universitätsspital Basel	1'675	5'773.9	437.3	6'238.5	6'545.7	4'403.8	5'400.1	1'724.1	4'999.8	4'631.7	3'539.6	3'828.7	49'198.1
Universitätsspital Zürich	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0
Gesamte Schweiz	1'992	6'141	1'283	6'690	6'753	4'534	6'266	2'580	5'134	5'024	4'703	4'090.2	55'188

geltenden Immissionsgrenzwerte in öffentlichen Gewässern zu keiner Zeit überschritten werden. Die Spitäler sind verpflichtet, die Abgaben radioaktiver Abwässer so gering wie möglich zu halten und dazu organisatorische und technische Optimierungsmassnahmen vorzunehmen. Dafür

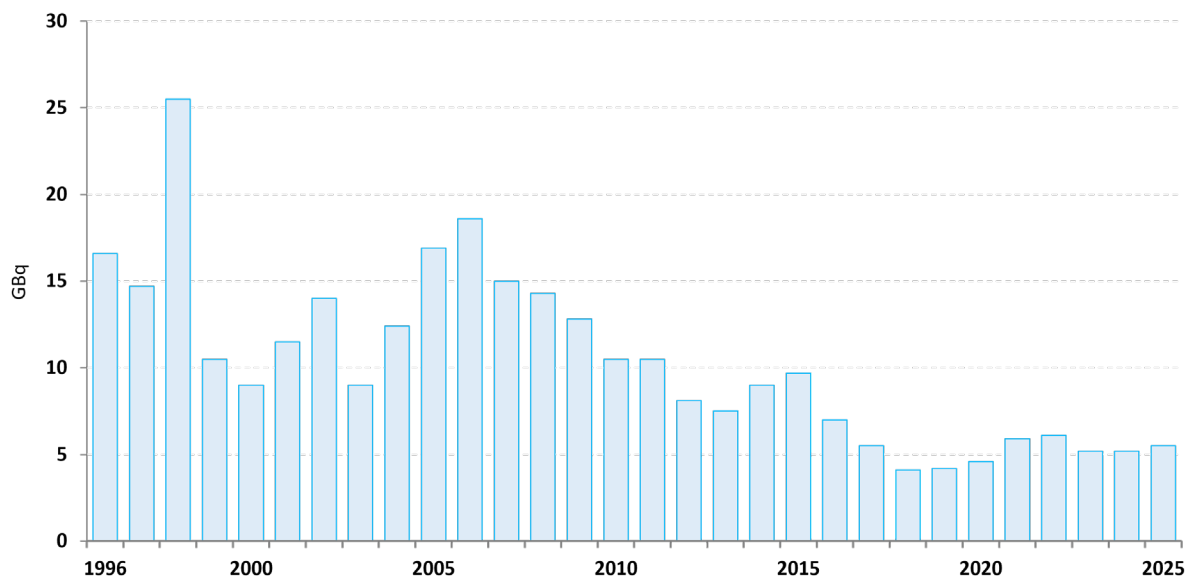
werden Abklingtankanlagen mit ausreichendem Lagervolumen betrieben, damit die kurzlebigen Radionuklide in den Abwässern aus den Therapieziimmern ausreichend lange abklingen können.



Figur 1:
Umsatz pro Jahr an ^{131}I zu therapeutischen Zwecken in GBq.



Figur 2:
Umsatz pro Jahr weiterer Therapie-Nuklide in GBq.



Figur 3:
Abgabe pro Jahr von ^{131}I Äquivalenten ans Abwasser in der Schweiz in GBq.

9.3 Surveillance de la radioactivité au voisinage des industries, stations d'épurations et usines d'incinérations des déchets

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

Section Radioactivité de l'environnement URA / OFSP Berne

A. Pregler

Kantonales Labor Basel-Stadt, Basel

Résumé

Les résultats de la surveillance effectuée en 2025 au voisinage des entreprises utilisatrices de tritium ont montré, comme par le passé, un marquage de l'environnement (précipitations, denrées alimentaires) par ce radionucléide, à proximité immédiate de ces entreprises, en particulier à Niederwangen. Les valeurs enregistrées en 2025 se situent toutefois dans la fourchette basse de celles observées au cours des 10 dernières années.

La surveillance de la radioactivité dans les eaux des stations d'épuration et dans les eaux de lavage des fumées des usines d'incinération n'a pas mis en évidence de valeurs anormales.

Introduction

Les résultats de la surveillance effectuée en 2025 au voisinage des entreprises utilisatrices de tritium ont montré, comme par le passé, un marquage de l'environnement (précipitations, denrées alimentaires) par ce radionucléide, à proximité immédiate de ces entreprises, en particulier à Niederwangen. Les valeurs enregistrées en 2025 se situent toutefois dans la fourchette basse de celles observées au cours des 10 dernières années.

La surveillance de la radioactivité dans les eaux des stations d'épuration et dans les eaux de lavage des fumées des usines d'incinération n'a pas mis en évidence de valeurs anormales.

Des échantillons d'eaux usées sont ainsi prélevés chaque semaine dans les STEP des grandes agglomérations, afin de déterminer, en laboratoire, les concentrations des émetteurs gamma tels que l'iode-131 (^{131}I) et le lutécium-177 (^{177}Lu) qui proviennent majoritairement des urines de patients traités dans les centres de médecine nucléaire. La surveillance des usines d'incinération vise à s'assurer, autant que possible, qu'aucun déchet radioactif n'a été 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, de RC Tritec à Teufen / AR et de Smolsys AG à Root / LU. Les émissions de ces entreprises sont détaillées au chapitre 9.1. Dans le cadre de la surveillance radiologique de l'environnement dans leur voisinage, l'OFSP collecte des échantillons de précipitations à Teufen, à Root ainsi qu'en 4 endroits distincts à Niederwangen. Les concentrations en tritium des échantillons de précipitations sont analysées tous les 15 jours. Le programme de surveillance comprend également la mesure de l'activité du ^3H dans l'humidité de l'air dans les échantillons bimensuels pour un site de prélèvement à Niederwangen et Teufen, et 2 sites à Root. Pour ces analyses, les échantillons sont collectés à l'aide de piègeurs passifs à filtre moléculaire.

Comme par le passé, la surveillance mise en œuvre au voisinage des entreprises utilisatrices de tritium a révélé un marquage significatif de l'environnement (précipitations, denrées alimentaires) par ce

radionucléide à proximité immédiate des entreprises en question, par rapport aux niveaux usuellement mesurés en Suisse. Le tableau 1 qui résume les résultats obtenus en 2025 dans les échantillons de précipitations illustre ce marquage, sachant que les concentrations mensuelles de tritium mesurées dans les précipitations de la station de référence de Posieux, assez éloignée de toute usine

Tableau 1 :

Tritium dans les précipitations au voisinage des entreprises utilisatrices de ^3H en 2025.

Lieu	Valeur min/ max (Bq/l)	Mediane / moyenne (Bq/l)
Root / LU ~ 250 m SO Smolsys (N=21*)	< 5 - 149	13 / -
Teufen/AR ~ 65 m E Firma RCT (N=22*)	< 5 - 128	49 / -
Niederwangen/BE (N=21*)		
Bauernhaus ~ 100 m SO de l'entreprise	8 - 209	38 / 51
Garage ~ 200 m O de l'entreprise	< 5 - 133	17 / -
Gemeinde Köniz ~ 330 m N de l'entreprise	< 5 - 255	15 / -
Firma Schär ~ 260 m NE de l'entreprise	54 - 1023	132 / 242

** la quantité d'échantillons prélevés en 2025 selon une périodicité d'environ 15 jours peut varier en raison soit de l'absence de précipitations, soit de problèmes techniques aux stations de prélèvement.*

manipulant du tritium, sont généralement inférieures ou proches de la limite de détection de 2 Bq/l.

Les niveaux de tritium mesurés dans les échantillons bimensuels de précipitations prélevés en 2025 à proximité immédiate de l'entreprise mb-microtec à Niederwangen/BE, se sont échelonnés entre 5 et 1023 (voir figure 1). Cette concentration maximale représente 5 % de la valeur limite d'immissions fixée dans l'ORaP pour le tritium dans les eaux accessibles au public. La figure 2 illustrant les valeurs moyennes et médianes des concentrations de tritium mesurées dans les précipitations collectées à la station Firma ainsi qu'à Köniz au cours des 17 dernières années, montre que mêmes si les concentrations maximales enregistrées en 2025 sont parfois plus élevées, les concentrations médianes de tritium mesurées en 2025 sont les plus basses enregistrées depuis 2008. Elles reflètent la baisse des émissions constatée ces deux dernières années par rapport aux années précédentes (voir chapitre 9.1).

Les concentrations de tritium mesurées dans l'humidité de l'air à la station Firma se sont, quant à elles, échelonnées entre 1.2 et 7.8 Bq/m³ avec une valeur moyenne de

4.3 Bq/m³. Comme le montre la figure 1, les concentrations de ^3H mesurées dans l'humidité de l'air et dans les précipitations ne sont pas toujours corrélées. En effet, les concentrations de tritium dans l'environnement (précipitations et humidité de l'air) ne dépendent pas seulement des quantités de tritium rejetées dans l'atmosphère, mais également des conditions météorologiques responsables de leur dispersion (vitesse et direction des vents, quantité de précipitations, etc). Des variations locales importantes peuvent ainsi être observées.

Dans les distillats des 13 échantillons de fruits et légumes (pommes, poires, pruneaux, courgette et salade) et des 2 échantillons de lait prélevés fin août par le canton de Berne à proximité de l'entreprise, les valeurs mesurées de tritium variaient respectivement entre 3 et 8 Bq/l et entre 3 et 5 Bq/l. Ces concentrations sont également les plus basses enregistrées au cours des 20 dernières années et confirment les résultats des mesures dans les précipitations et l'humidité de l'air.

La figure 4 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 20 dernières années. Depuis 2020, le tritium dans l'humidité de l'air est également surveillé. Les valeurs mesurées en 2025 dans les précipitations et l'humidité de l'air sont présentées dans la figure 3. Bien que supérieures aux années précédentes, elles sont généralement restées assez basses avec quelques valeurs plus élevées. Ainsi une valeur maximale de 128 Bq/l a été mesurée dans la pluie en janvier, suite à un rejet accidentel de 318 GBq de tritium gazeux dans l'air en raison d'un problème lors d'une synthèse. Cette quantité d'activité correspond à moins de 5% de la valeur limite annuelle de rejet dans l'environnement pour ce radionucléide selon l'autorisation de l'OFSP. La valeur enregistrée dans l'humidité de l'air à cette même période est restée très basse confirmant que l'impact de ce rejet non contrôlé est resté très localisé et donc négligeable pour la population avoisinante. Dans le cas de l'humidité de l'air, les valeurs maximales (7.2 Bq/m³) ont été mesurées en octobre-novembre. La valeur moyenne s'est élevée à 1.8 Bq/m³, soit 40% de plus qu'en 2023 et 2024.

Les résultats de la surveillance du tritium au voisinage de l'entreprise Smolsys, située à Root/LU, sont illustrés sur la figure 5. A l'exception des valeurs plus élevées mesurées en début d'année, dues à une incinération autorisée de déchets contenant du tritium issus de l'entreprise Smolsys par l'UIOM de Perlen, située à proximité de l'entreprise, les concentrations de ^3H dans les précipitations et l'humidité de l'air sont généralement restées très faibles en 2025.

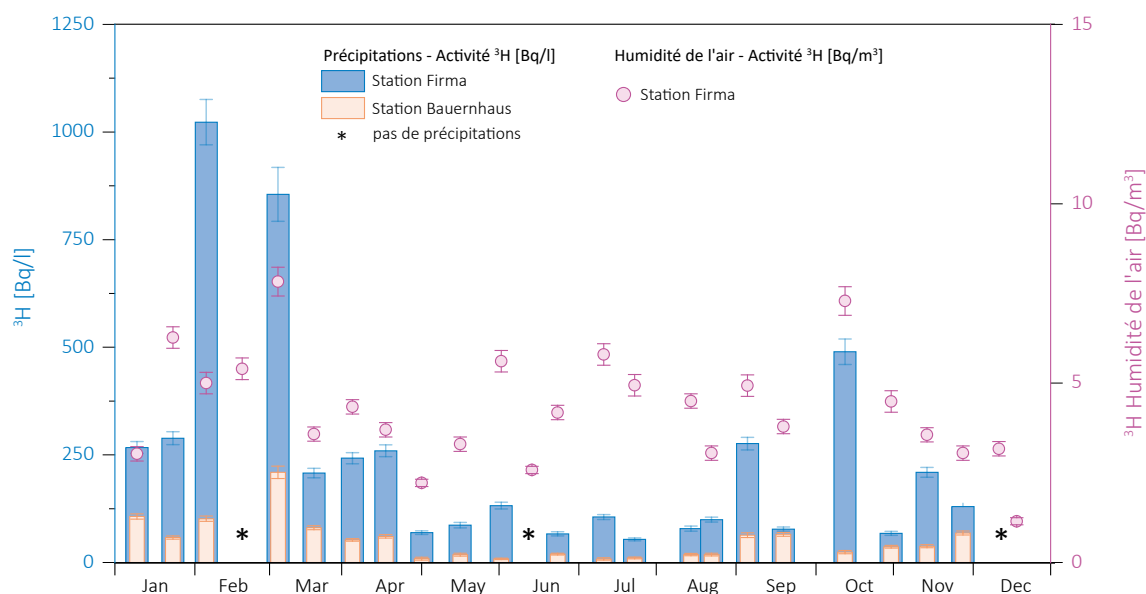


Figure 1 :
Concentrations de tritium [Bq/l] enregistrées en 2025 dans les précipitations des stations de collecte «Bauernhaus» (située à 100 m au sud de l'entreprise) et « Firma» (située à 260 m au nord-est de l'entreprise) et concentration de tritium dans l'humidité de l'air [Bq/m³] à la station de «Firma».

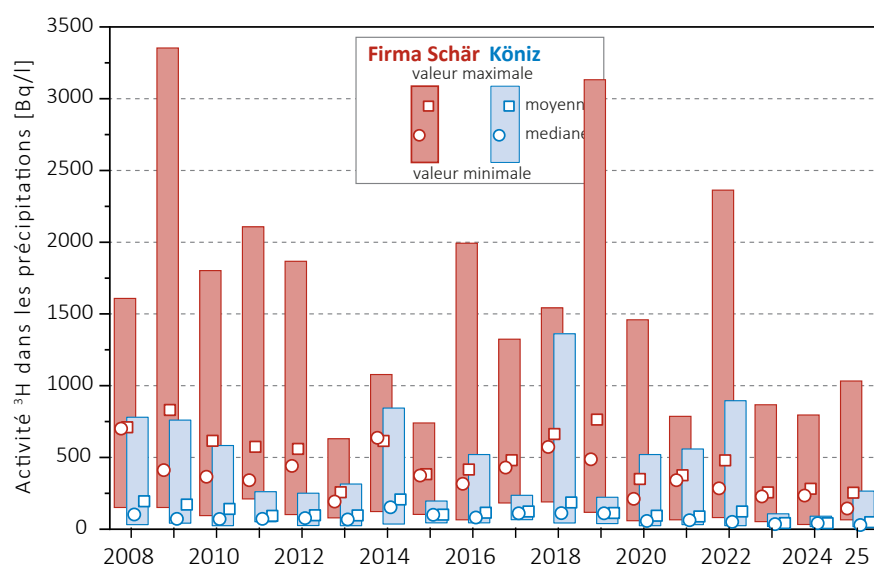


Figure 2 :
Valeurs moyennes et médianes annuelles des concentrations de tritium mesurées dans les précipitations aux stations de Firma Schär et Köniz à Niederwangen entre 2008 et 2025.

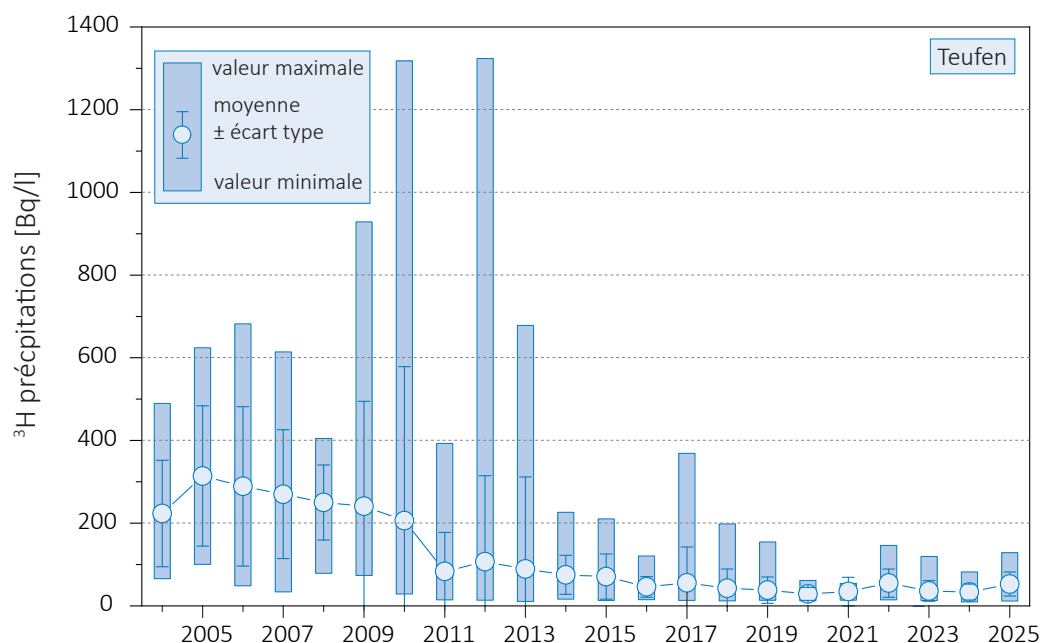


Figure 3 :

Suivi des concentrations du tritium mesurées dans les précipitations [Bq/l] de Teufen/AR de 2004 à 2025.

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

Jusqu'en 2023, plusieurs laboratoires analysaient les eaux des stations d'épuration des agglomérations de Zürich, Bâle, Bienne, Berne, Lausanne et La Chaux-de-Fonds ainsi que les eaux de lavage des fumées des usines d'incinération de Bâle-Ville, Berne et Zürich afin de détecter d'éventuelles éliminations de ^3H ou de ^{131}I dans l'environnement. Toutefois, ces programmes ont dû être réduits et cesseront en grande partie d'ici 2026 en raison des mesures d'économie décidées par le Parlement et le Conseil fédéral. Ainsi, la surveillance de la radioactivité dans les eaux de la STEP de l'agglomération de Zürich a déjà été supprimée, celles de Lausanne, Berne et Bienne suivront d'ici 2026.

Les usines d'incinération des ordures ménagères (UIM) sont quant à elles tenues de contrôler, depuis l'entrée en vigueur de l'ORaP révisée en 2018, l'éventuelle présence d'émetteurs gamma dans les déchets avant leur incinération, afin de réduire les risques pour le personnel et l'environnement. Des mesures gamma des échantillons d'eaux de lavage des fumées, n'étaient dans un tel contexte, plus jugées nécessaires et ont déjà été supprimées.

Si l'installation de portiques de détection à l'entrée de ces usines élimine le risque pour les émetteurs gamma, elle

n'empêche pas l'incinération accidentelle de tritium, un émetteur bêta pur indétectable par ces portiques. Ce type d'incident s'est produit de nombreuses fois au cours des dernières années, en particulier à Bâle, mais leur origine n'a jamais pu être élucidée. Compte tenu des moyens d'action limités en cas d'incinération accidentelle, et du coût lié au maintien d'une surveillance uniquement pour l'analyse du tritium (prélèvement et envoi des échantillons), l'OFSP a dû se résoudre à mettre fin également cette surveillance pour l'UOIM de Zürich dès 2024. Le laboratoire cantonal de Bâle continue quant à lui d'assurer cette surveillance pour l'UIM de Bâle.

Les résultats des mesures effectuées en laboratoire dans les eaux des STEP et des eaux de lavage des fumées en 2025 sont résumés dans le tableau 2.

Tritium dans les eaux des stations d'épuration

Comme les années précédentes, les concentrations de tritium mesurées par le laboratoire cantonal de Bâle dans les eaux de la STEP de Bâle sont le plus souvent restées proches ou inférieures à la limite de détection de 4 Bq/l, avec sporadiquement quelques valeurs plus élevées (maximum de 25 Bq/l).

Bien que supérieures à celles enregistrées pour la période 2021-2024, les concentrations de tritium observées à la STEP de la région de La Chaux-de-Fonds n'ont pas montré

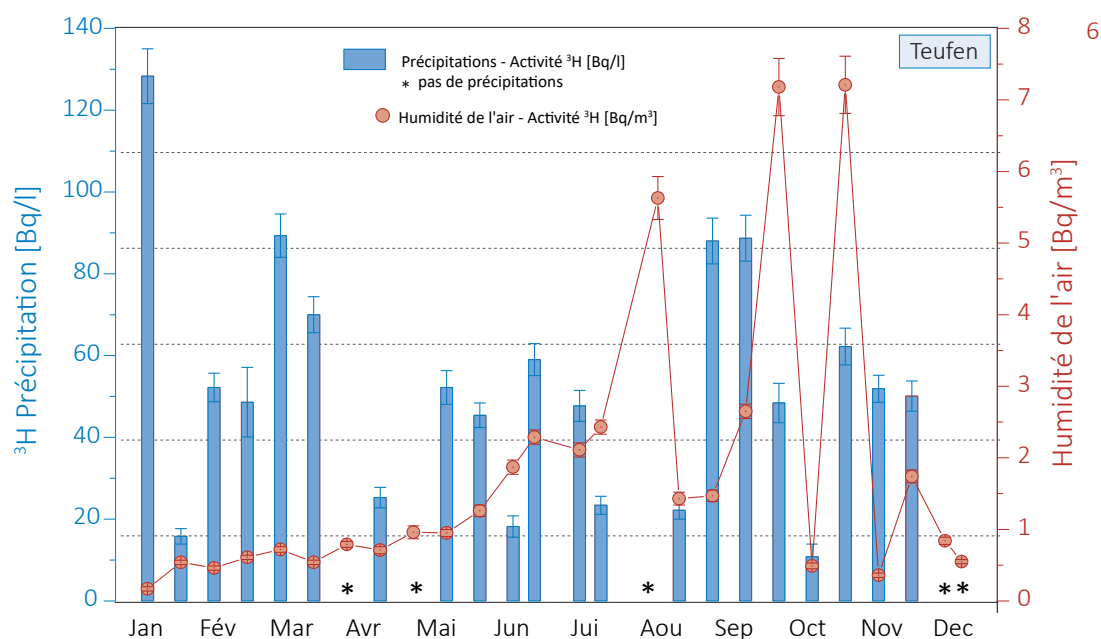


Figure 4 :
Concentrations du tritium mesurées dans les précipitations [Bq/l] et dans l'humidité de l'air [Bq/m³] à Teufen/Ar 2025.

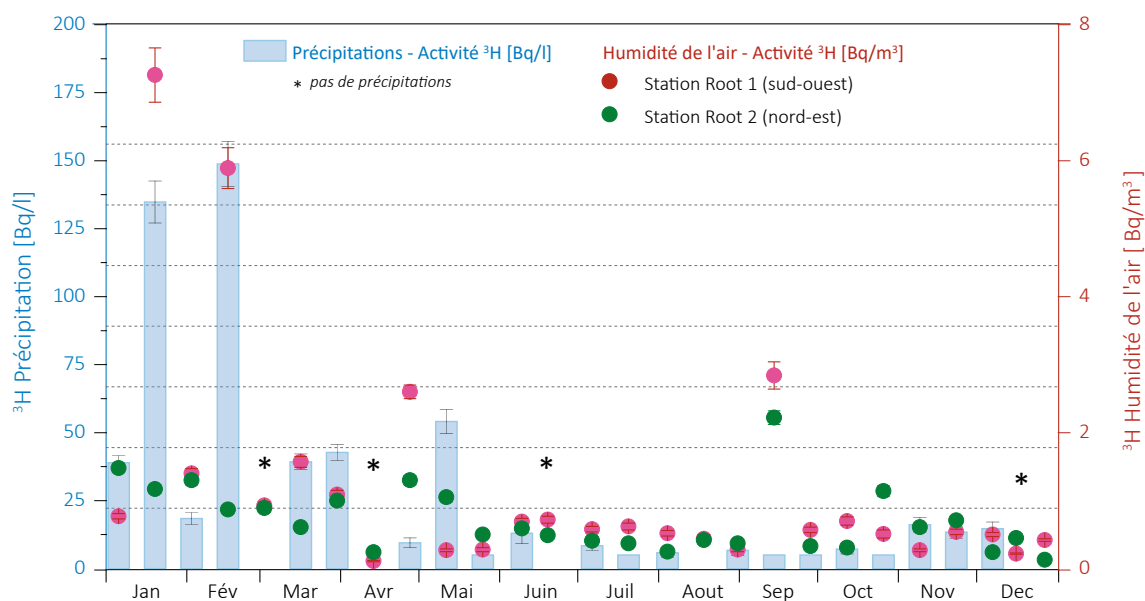


Figure 5:
Concentrations de tritium [Bq/l] enregistrées en 2025 dans les précipitations de la stations de collecte «Root 1» et concentration de tritium dans l'humidité de l'air [Bq/m³] aux stations de «Root 1 & 2».

Tableau 2 :

Tritium (^3H) et ^{131}I dans les eaux des stations d'épuration (STEP) et des usines d'incinération et en 2025.

Ville	Laboratoire	Isotope	n.	Valeur min/max (Bq/l)	Médiane (Bq/l)	Moyenne (Bq/l)
STEP Bâle	KL-BS	¹³¹ I	52	< 0.03 / 0.8	0.14	0.19
		³ H	52	< 4	<4	-
Incinération Bâle		¹³¹ I	52	< 0.04 / 4	0.36	0.57
		³ H	52	9 / 1331	108	175
STEP Berne	Labor Spiez	¹³¹ I	52	< 0.1 / 0.2	< 0.1	-
	URA/OFSP	³ H	12	< 5.0 / 12	< 5	-
STEP Bienne	URA/OFSP	³ H	52	< 5.0 / 5	< 5	
STEP La Chaux-de-Fonds	URA/OFSP	³ H	50	< 5.0 / 180	8	-
STEP Lausanne	IRA	¹³¹ I	49	< 0.3 / < 1.3	< 0.4	-
		³ H	12	< 2.0 / < 2	< 2.0	

Tableau 3 :

Radioisotopes médicaux dans les eaux usées. STEP de Giubiasco (Bellinzone) et STEP de la Ville de Lausanne, 2025.

Isotope	Utilisation	Demi-vie ¹	Présence dans les eaux usées	Max. 10min ² «Avant» ³	Max. 10min «Après» ⁴	Moy. hebdo. ⁵ max. «Avant»	Moy. hebdo. max. «Après»	LI _{eaux} ⁶
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	SPECT	6.0 h	tous les jours ouvrables	706	37	75	-	9'230
^{111}In	SPECT	2.8 d	sporadique	74	19	7.7	-	705
^{123}I	SPECT	13.2 h	sporadique	64	24	1.7	-	632
^{18}F	PET	1.8 h	tous les jours ouvrables	26	6	3.5	-	4'000
^{177}Lu	Thérapie	6.6 d	régulièrement pendant plusieurs jours	172	93	10.7	5.3	308
^{131}I	Thérapie	8.0 d	plusieurs fois pendant plusieurs jours	27	6	3.1	1.6	6.7

¹ h : heures ; d : jours² Valeur maximale d'une mesure de 10 minutes en Bq/l³ Mesure dans l'influent (arrivée des eaux) avant l'épuration, STEP Giubiasco⁴ Mesure après traitement physique et biologique, STEP Lausanne⁵ Moyenne hebdomadaire maximale en Bq/l⁶ Limite d'immission dans les eaux (ORaP annexe 7) en Bq/l; s'applique à la moyenne hebdomadaire

de valeurs anormales ; elles sont généralement restées basses avec quelques valeurs plus élevées (maximum de 180 Bq/l en mars). Depuis l'arrêt complet des activités de posage de peinture luminescente au tritium en 2008 dans les ateliers de La Chaux-de-Fonds, les concentrations de tritium dans les eaux de la STEP de la Chaux-de-Fonds se sont stabilisées à des niveaux bas.

A la STEP de Bienne, les concentrations hebdomadaires de tritium dans les échantillons d'eau sont restées inférieures ou voisines de la limite de détection de 5 Bq/l en 2025. Il en va généralement de même pour les échantillons mensuels d'eaux de la STEP de Berne.

Mesure en continu à la STEP de Giubiasco (Bellinzone)

Depuis mai 2019, une sonde de spectrométrie gamma est en service à l'entrée de la station d'épuration de Giubiasco (Bellinzone). La STEP de Giubiasco compte 80 000 habitants raccordés, dont l'hôpital régional de Bellinzone. La sonde est installée en amont du bassin de décantation primaire et mesure ainsi les eaux avant le processus d'épuration. L'appareil détecte le rayonnement gamma à l'aide d'un cristal NaI(Tl) de 3 pouces et fournit une valeur de mesure toutes les 10 minutes. Cette méthode permet de détecter les radionucléides utilisés en médecine nucléaire pour les examens d'imagerie

(SPECT et TEP). Par ailleurs, les radionucléides ^{131}I et ^{177}Lu , utilisés en thérapie, émettent également des rayonnements gamma facilement mesurables (tableau 3).

La présence typique des radionucléides médicaux dans les eaux usées de la STEP est résumée dans le tableau 3. Les observations pour l'année 2025 concordent avec celles des années précédentes. Aucun dépassement des valeurs limites d'immission n'a été constaté, même à ce point de mesure situé à l'entrée de la STEP.

La limite d'immission de ^{131}I dans les eaux est faible ($L_{\text{eaux}} = 6,7 \text{ Bq/l}$). Les eaux usées contenant cet isotope sont donc stockées temporairement dans des cuves de rétention dans les hôpitaux avant leur rejet dans les égouts. Après leur sortie de l'hôpital, les patients peuvent toutefois encore excréter une partie de l'activité résiduelle, qui se retrouve alors dans les eaux usées à leur domicile. A la STEP de Giubiasco, la concentration maximale d' ^{131}I mesurée sur 10 minutes en 2025 a atteint 27 Bq/l . La valeur limite d'immission s'applique toutefois à la moyenne hebdomadaire, qui n'a jamais dépassé $3,1 \text{ Bq/l}$ en 2025.

En termes d'activité administrée, le ^{177}Lu est actuellement le radionucléide le plus utilisé pour la thérapie en Suisse. Comme pour ^{131}I , les eaux usées provenant des chambres de thérapie sont collectées dans des cuves de rétention avant leur rejet. A la STEP de Giubiasco, le ^{177}Lu est détecté régulièrement. La moyenne hebdomadaire la plus élevée observée en 2025 s'est élevée à $10,7 \text{ Bq/l}$, soit nettement en dessous de la valeur limite d'immission de 308 Bq/l .

L'indium-111 a été détecté un peu plus fréquemment que l'année précédente, à savoir à quatre reprises sur plusieurs jours. La figure 6 présente un spectre de 10 minutes mettant en évidence les raies gamma caractéristiques de ^{111}In . La moyenne hebdomadaire maximale s'est élevée à $7,7 \text{ Bq/l}$, nettement en dessous de la valeur limite d'immission de 705 Bq/l . L' ^{123}I n'a été détecté que pendant quelques jours. Même la concentration maximale mesurée sur 10 minutes, soit 64 Bq/l , est restée nettement inférieure à la valeur limite d'immission (632 Bq/l).

Le $^{99\text{m}}\text{Tc}$, produit de désintégration du ^{99}Mo , est un radionucléide fréquemment utilisé pour les examens SPECT. En raison de sa demi-vie courte de 6 heures, une hospitalisation n'est pas nécessaire. Il est ainsi détecté dans les eaux usées de la STEP presque tous les jours ouvrables. Même les concentrations maximales observées sur 10 minutes (700 Bq/l) demeurent nettement inférieures à la valeur limite d'immission.

En tomographie par émission de positons (TEP) des radionucléides à très courte demi-vie sont utilisés. Les demi-vies du ^{18}F (1,8 heure) et du ^{68}Ga (1,13 heure) sont néanmoins suffisantes pour que ces isotopes atteignent la STEP, où leur présence se manifeste par un pic d'annihilation à 511 keV résultant de leur désintégration β^+ . Les radionucléides utilisés en TEP sont détectés presque quotidiennement dans la STEP en semaine. La valeur limite d'immission est déjà largement respectée à l'entrée de la STEP.

La sonde de Bellinzzone est hors service depuis novembre 2025. La réduction de la surveillance dans les STEP, liée aux mesures d'économie actuelles, affecte également la poursuite de cette série de mesures : la sonde Nal de Bellinzzone ne sera pas remplacée.

Mesure en continu du ^{177}Lu à la STEP de Lausanne

En 2024, le CHUV de Lausanne a participé à une étude pilote visant à permettre une sortie plus précoce des patients après un traitement au ^{177}Lu . C'est pourquoi les mesures effectuées à la station de traitement des eaux usées de la ville de Lausanne, avec 240 000 habitants raccordés, se concentrent sur la détection de ce radionucléide. À Lausanne, la sonde Nal est installée après les traitements mécanique et biologique, mais avant le traitement chimique. L'eau analysée a donc déjà subi une importante étape de traitement.

La figure 7 présente l'évolution des concentrations de ^{177}Lu , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ et ^{18}F mesurées à la STEP de Lausanne sur plusieurs semaines. Comme à Bellinzzone, le ^{177}Lu est détecté régulièrement. L'une des périodes de plusieurs jours présentant des concentrations plus élevées en ^{177}Lu est montrée sur la figure 7 (à partir du 7 août). Les concentrations mesurées à Lausanne, après deux étapes de traitement des eaux usées, sont nettement plus faibles qu'à Bellinzzone, où la sonde est installée à l'entrée de la STEP (tableau 1). En 2025, la moyenne hebdomadaire la plus élevée mesurée pour le ^{177}Lu à la STEP de Lausanne s'est élevée à 6 Bq/l , valeur largement inférieure à la valeur limite d'immission.

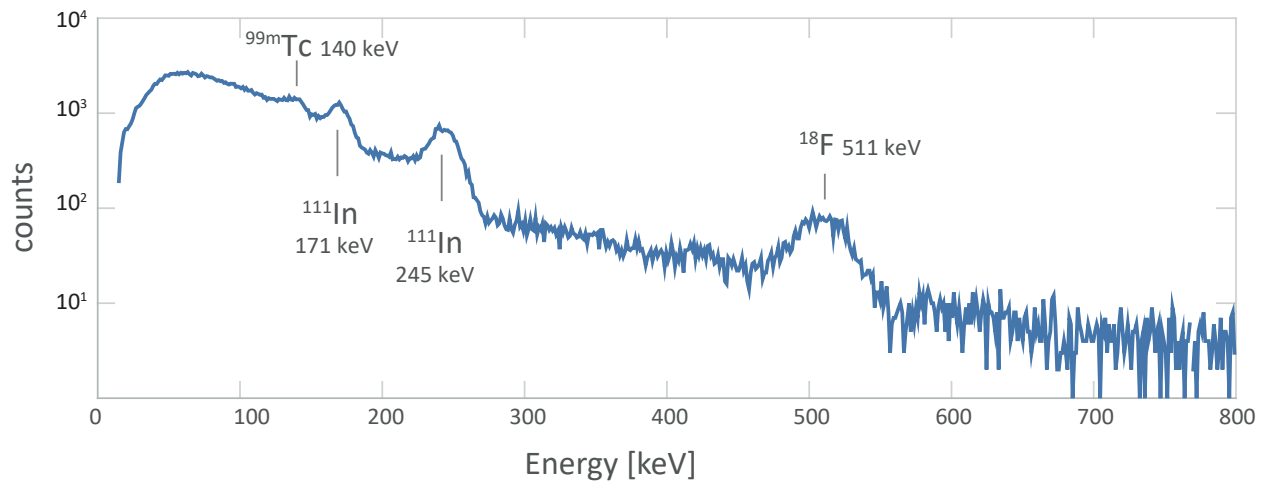


Figure 6:
Exemple d'un spectre 10-minutes contenant de l' ^{111}In ; Step de Giubiasco (Bellinzone).

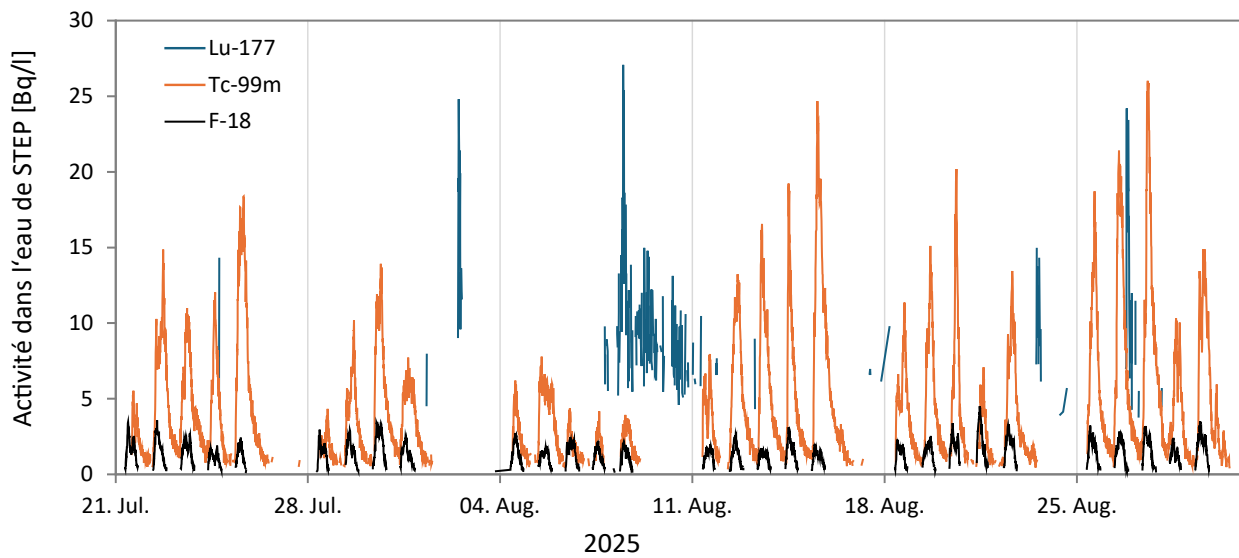


Figure 7:
Exemple de l'évolution des concentrations du ^{177}Lu , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ et du ^{18}F dans les eaux usées de la STEP de Lausanne sur une période de six semaines.

Eaux de lavage des fumées des usines d'incinération

Contrairement aux années précédentes, le laboratoire cantonal de Bâle Ville n'a pas mis en évidence de niveau anormalement élevé de tritium dans les échantillons hebdomadaire d'eaux de lavage des fumées de l'UIOM de Bâle en 2025. Avec une concentration maximale de ^3H de 1331 Bq/l et une valeur moyenne de 175 Bq/l, ces valeurs étaient en effet bien inférieures à celles mesurées au cours des 5 années précédentes.

Conclusions

Comme par le passé, les résultats des mesures effectuées en 2025 aux environs des entreprises utilisatrices de tritium ont montré un marquage significatif de l'environnement par ce radionucléide dans leur voisinage immédiat, en particulier à Niederwangen. Les concentrations de tritium

enregistrées dans l'environnement à proximité de cette entreprise en 2025 sont toutefois parmi les plus faibles mesurées depuis le début de la surveillance et les doses qui en résultent pour la population avoisinante sont restées très faibles. L'impact radiologique du rejet non contrôlé de tritium dans l'environnement par l'entreprise RC Tritec en janvier 2025, correspondant à 5 % de la valeur limite annuelle de rejet autorisée, est resté très localisé et négligeable pour la population avoisinante.

Les mesures du tritium réalisées dans les eaux des stations d'épuration ainsi que dans les eaux de lavage des fumées des usines d'incinération n'ont pas révélé de valeurs anormales en 2025. Les mesures en continu réalisées à l'aide de sondes NaI dans les STEP ont montré que la valeur d'immission dans les eaux LI_{eaux} est respectée dès l'entrée de la STEP (Giubiasco) et que les concentrations des radionucléides diminuent après les étapes de traitement (STEP de Lausanne).

9.4 Überwachung von Deponien

A.-C. Senn,

Sektion Forschungsanlagen und Nuklearmedizin FANM / BAG Bern

P. Steinmann, G. Ferreri, S. Estier

Sektion Umweltradioaktivität URA / BAG Bern

Zusammenfassung

Radioaktive Abfälle mit geringer Aktivität können gemäss Artikel 114 der Strahlenschutzverordnung (StSV) unter bestimmten Voraussetzungen auf einer Deponie abgelagert werden. Dies gilt insbesondere für Abfälle aus bestehenden Expositionssituationen (radiologische Altlasten). Das BAG ist verpflichtet, Deponien zu überwachen, auf welchen solche Abfälle abgelagert wurden. Dies erfolgt durch die Analyse von Sicker- und/oder Grundwasser. Die Messungen stellen sicher, dass durch die Abgabe zu keiner Zeit eine effektive Dosis von 10 μSv pro Kalenderjahr akkumuliert werden kann und keinerlei eine Gefährdung für Personen und die Umwelt besteht. Die Resultate dieser Überwachung zeigen, dass diese Anforderung stets eingehalten wurde.

Einführung

Artikel 114 der Strahlenschutzverordnung (StSV) erlaubt im Einzelfall unter bestimmten Bedingungen die Deponierung von radioaktiven Abfällen mit geringer Aktivität mit Zustimmung der Bewilligungsbehörde. Diese Möglichkeit gilt insbesondere für Abfälle, die ^{226}Ra enthalten und vor dem Inkrafttreten der StSV angefallen sind, sogenannte radiologische Altlasten.

Ebenfalls gemäss Artikel 114 muss das BAG eine Überwachung der Deponien durchführen, in denen solche Abfälle endgültig abgelagert wurden, um sicherzustellen, dass durch die Abgabe zu keiner Zeit eine effektive Dosis von 10 μSv pro Kalenderjahr akkumuliert werden kann. Die Überwachung erfolgt durch Messungen von ^{226}Ra im Sickerwasser und/oder im Grundwasser. Die Berechnung der Dosis wird in Anhang 3 der Wegleitung des BAG «Deponierung von radioaktiven Abfällen mit geringer Aktivität auf einer Deponie» erläutert. Bei einem konservativen Szenario (Tabelle A3-1) geht man von 100 mBq/l ^{226}Ra im Sickerwasser aus, was zu einer Jahresdosis von 7 μSv führen würde.

Liegen die tatsächlich gemessenen Radiumkonzentrationen im Sickerwasser der Deponie unter den in der Tabelle A3-1 der Wegleitung angegebenen Werten, ist die Einhaltung der in der Gesetzgebung festgelegten Dosisgrenzwerte gewährleistet. Ein weiterer konservativer

Ansatz stellt die Vorbereitung der Proben, welche ohne vorherige Filtration gemessen wurden. Ein Vergleich von ungefilterten und gefilterten Proben hat gezeigt, dass ein grosser Teil des ^{226}Ra in gelöster Form vorliegt und somit potenziell ausgewaschen werden könnte

Ergebnisse 2025

Aufgrund der niedrigen erforderlichen Nachweisgrenze (in der Grössenordnung von 1 mBq/l) und der Schwierigkeiten, die mit der Beschaffenheit der Sickerwasserproben aus Deponien verbunden sind, wurden die Proben mit einer vom Institut de Radiophysique (IRA) in Lausanne entwickelten Methode analysiert. Diese Methode umfasst die Zugabe des Tracers ^{229}Th (^{225}Ra), gefolgt von einer chemischen Trennung, einer Elektroabscheidung des Ra-Anteils auf einer Silberscheibe und der Messung mittels Alphaspektrometrie mit einem PIPS-Detektor.

Die mit dieser Methode vom IRA durchgeführten Messergebnisse im Berichtsjahr sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Sie zeigen, dass die Konzentrationen von ^{226}Ra im Sickerwasser der Deponien, in denen in den letzten Jahren Abfälle mit ^{226}Ra abgelagert wurden, sehr niedrig sind und deutlich unterhalb der in der Wegleitung angegebenen Werte liegen.

Tabelle 1 :
Konzentrationen von ^{226}Ra im Sickerwasser von Deponien im Jahr 2025.

Typ der Probe	Ort	Datum	Bemerkung	^{226}Ra (mBq/l)
Deponien, Sickerwasser	Härkingen (SO)	17.12.2025	ungefiltert	6.4 ± 0.9
	Lufingen (ZH)	29.11.2025	ungefiltert	2.1 ± 0.5
	Tambrig (ZH)	20.01.2026	ungefiltert	2.6 ± 0.6
	Teufthal (BE)	19.12.2025	ungefiltert	12.9 ± 1.3

Schlussfolgerung

Eine Deponierung radioaktiver Abfälle mit geringer Aktivität nach Artikel 114 StSV ermöglicht es, diese Abfälle mit einem vertretbaren (finanziellen) Aufwand zu entsorgen. Die Resultate der langjährigen Überwachung der Deponien, auf welchen mit

Radium kontaminierte Abfälle abgelagert werden, bestätigen zudem, dass dieser Entsorgungsweg für die Bevölkerung und die Umwelt keine Gefährdung darstellt.

10. Plan d'action Radon

Aktionplan Radon (2021 – 2030)

F. Barazza, E. Christen, M. Palacios, D. Storch

Radiologische Risiken, Abteilung Strahlenschutz, Bern

Resumé

Avec l'arrivée à mi-parcours du Plan d'action radon 2021-2030, l'OFSP a organisé un congrès national sur le radon en collaboration avec la Ligue suisse contre le cancer en 2025. Il a par ailleurs élaboré un rapport intermédiaire du plan d'action, avec l'état de la mise en œuvre des objectifs et les perspectives jusqu'en 2030. La plupart des objectifs sont en bonne voie de réalisation, p. ex. l'amélioration de la protection contre le radon dans les bâtiments, mais certains ont dû être reportés en raison de mesures d'économie. Le Conseil fédéral a pris connaissance du rapport le 12 novembre 2025.

Congrès national sur le radon à Berne

Après une première édition en 2014, l'OFSP a organisé une nouvelle édition du Congrès national sur le radon en 2025, en collaboration avec la Ligue suisse contre le cancer. Avec plus de 120 participants, la journée a suscité un vif intérêt. Un large éventail de thèmes actuels liés au radon a été abordé, allant de la médecine à la communication, en passant par l'épidémiologie et les techniques de construction. La table ronde finale a permis d'ouvrir la discussion sur l'avenir de la protection contre le radon en Suisse. Il en est ressorti que de nombreuses avancées ont déjà été réalisées. Toutefois, il demeure essentiel de poursuivre activement les efforts de sensibilisation auprès de la population et des professionnels de la construction, sans quoi la thématique du radon risquerait de perdre rapidement en visibilité et en importance. Un troisième Congrès national sur le radon est d'ores et déjà prévu en 2030, afin de marquer la clôture du plan d'action.

Rapport intermédiaire du Plan d'action radon 2021-2030

Le Plan d'action radon arrivant à mi-parcours, l'OFSP a présenté un rapport intermédiaire au Conseil fédéral le 12 novembre 2025. Ce document, disponible sous Plan d'action sur le radon 2021-2030, dresse un état des lieux de la réalisation des objectifs et introduit plusieurs indicateurs appelés à être relevés régulièrement à l'avenir, tels que le nombre de mesures effectuées par an et l'évolution du taux d'assainissement. La carte du radon a été actualisée en parallèle et étendue au Liechtenstein (voir figure 2).

Selon le rapport, la plupart des objectifs sont en bonne voie de réalisation, notamment l'amélioration de la protection contre le radon dans les nouvelles constructions et les bâtiments existants, le développement d'une nouvelle compétence par un seul prestataire ainsi que la mise en place de mesures visant à protéger les travailleurs.



Figure 1

Beat Glogger, journaliste scientifique et animateur, Andrea Arz de Falco, vice-directrice de l'OFSP (lors du congrès) et Mirjam Lämmle, CEO de la Ligue suisse contre le cancer (de gauche à droite) ouvrent le congrès national sur le radon à Berne.

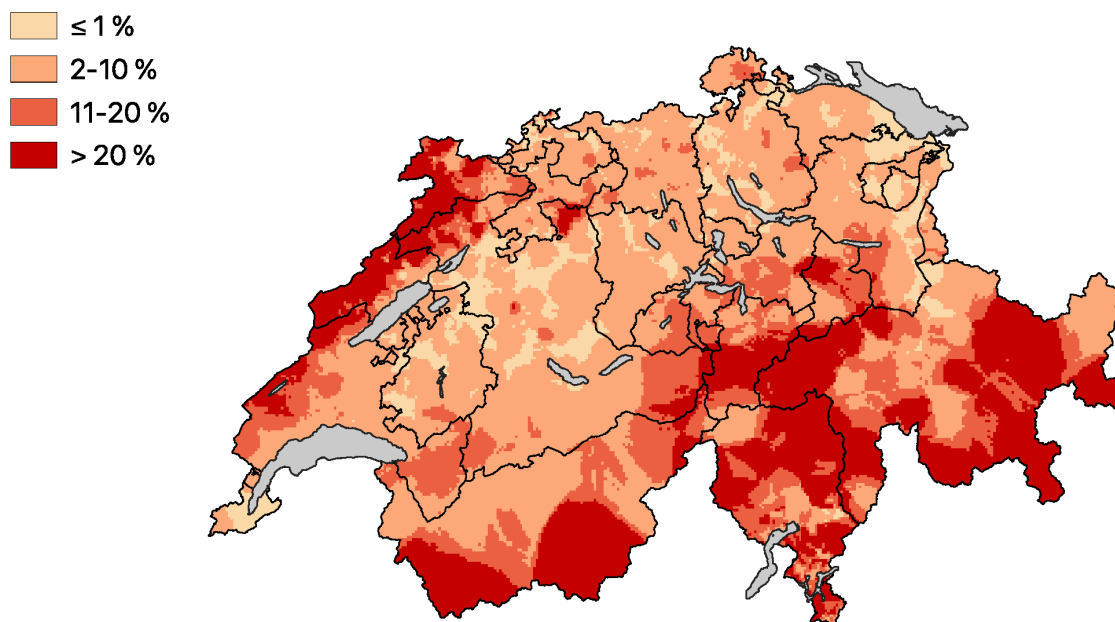


Figure 2

Carte du radon (état 2025) présentant la probabilité de dépasser le niveau de référence de 300 Bq/m³ dans les bâtiments

Les campagnes de mesures du radon initiées par les cantons dans les écoles et les jardins d'enfants ont été partiellement réalisées : depuis l'introduction de l'obligation de mesurer en 2018, environ 36 % de ces établissements ont fait l'objet d'un contrôle.

En revanche, certains objectifs – en particulier dans le champ d'action « Renforcement de la perception et détermination du risque sanitaire » – ne peuvent pas être poursuivis en raison de la réduction des financements fédéraux. Ces restrictions budgétaires ont notamment entraîné l'abandon du projet d'élaboration d'un outil prédictif du radon fondé sur l'intelligence artificielle. Le contenu des contrats conclus avec les trois services techniques régionaux a aussi dû être sensiblement revu à la baisse. Il convient toutefois de relever un point positif : ces services techniques continuent de proposer des formations dans le domaine du radon et la collaboration dans le cadre du plan d'action se poursuit, malgré la limitation des prestations de soutien. À l'avenir, les personnes ayant besoin de renseignements techniques devront davantage recourir aux services des consultants en radon dans le cadre de prestations payantes.

Radon aux postes de travail

L'OFSP a institué le groupe de travail « Radon au poste de travail » avec des représentants du Département fédéral de la défense, de la protection de la population et des sports, de l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) et de la Suva. En 2025, ce groupe a élaboré un nouveau protocole de mesure du radon relative à la personne, permettant d'estimer la dose efficace liée au radon des travailleurs mobiles. En outre, l'ordonnance sur la dosimétrie révisée ne mentionnera plus de coefficient de dose spécifique au radon à compter du 1er mars 2026, mais renverra à la Publication 137 de la Commission internationale de protection radiologique. Pour cette raison, le groupe « Radon au poste de travail » a précisé dans une nouvelle directive, qui sera publiée à la même date, les coefficients à appliquer pour l'estimation de la dose efficace liée au radon chez les travailleurs.

Portail du radon 3.0

Mis en exploitation en décembre 2025, le portail du radon 3.0 a remplacé l'ancienne base de données du radon. L'application a fait l'objet d'une mise à jour technologique complète, y compris le renouvellement de l'interface utilisateur. Grâce à son lien direct avec le Registre des bâtiments et des logements (RegBL) de l'Office fédéral de la statistique (OFS), le portail du radon dispose en permanence des données les plus récentes concernant les bâtiments mesurés, en particulier les nouvelles constructions. Il est en outre possible de sélectionner un logement spécifique directement à partir des données du RegBL. De nouvelles fonctionnalités sont prévues en

2026, notamment des analyses statistiques, des outils de recherche et de filtrage des données, ainsi que de nouveaux modèles de rapports de mesure. À l'avenir, l'inventaire des biens-fonds potentiellement contaminés au radium sera également intégré au Portail du radon.

Bureau « Énergie et santé »

En 2025, l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) a relancé l'appel d'offres OMC pour la création d'un Bureau « Énergie et santé » en collaboration avec l'OFSP, afin d'ancrer plus largement la thématique de la santé dans les secteurs de l'énergie et de la construction. Ce bureau a pour objectif de transmettre de manière ciblée les connaissances relatives aux effets des mesures énergétiques sur la qualité de l'air intérieur, le radon et les légionelles, notamment au moyen d'une communication claire et d'offres de formation continue axées sur la pratique. Dans ce contexte, les défis liés à la planification d'une nouvelle construction ou d'une transformation ne doivent pas être perçus comme des obstacles, mais comme des opportunités de développer des solutions intégrées et durables, tout en créant des synergies. C'est l'association professionnelle suissetec qui a obtenu le mandat pour la création du bureau à partir de fin 2025. L'OFSP cofinancera ce projet par le biais du plan d'action radon jusqu'en 2030.

Révision des dispositions légales relatives au radon

Dans le cadre du projet de révision partielle des ordonnances en matière de radioprotection (VO@STR, voir en page X du présent rapport), l'OFSP examine actuellement les nécessités d'adaptation des dispositions légales pour le radon avec les autorités concernées, notamment la Suva, l'IFSN et les cantons. L'un des enjeux centraux consiste à créer les bases légales permettant d'introduire la nouvelle compétence par un seul prestataire mentionnée plus haut. La compatibilité avec les exigences européennes pour la protection des travailleurs est également étudiée.

11. Annexes

Anhänge

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	D. Storch, M. Palacios
BAG FANM	Forschungsanlagen und Nuklearmedizin, Bundesamt für Gesundheit	Bern	N. Stritt, R. Linder, R. Stroude
BAG URA	Umweltradioaktivität, Bundesamt für Gesundheit	Bern	S. Estier, P. Steinmann., J. Beuret, G. Ferreri, A. Gurtner, D. Lienhard, M. Müller
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz	Freiburg im Breisgau /D	A. Bollhöfer, M. Konrad, S. Schmid
BAFU	Abteilung Hydrogeologie, Bundesamt für Umwelt	Bern	Robert Lukes
CERN	CERN, Occupational Health & Safety and Environmental Protection (HSE) unit	Genève	F. Malacrida, I. Brunner
EAWAG	Wasserressourcen & Trinkwasser	Dübendorf	M. Brennwald, P. Rünzi
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat	Brugg / AG	R. Sardella, B. Bucher, M. Meshkian et M. Arnold, M. Schibli, R. Habegger, D. Wittwer
IFAF	Département F.-A- Forel, Université de Genève	Versoir	J.-L. Loizeau, H. Mayor
IRA	Institut de Radiophysique, CHUV	Lausanne	M. Straub, R. Cusnir, P. Froidevaux, C. Pilloud, P.A. Pittet
LS	LABOR SPIEZ, Bundesamt für Bevölkerungsschutz des VBS	Spiez/BE	S. Rölli, J.A. Corcho Alvarado, R. Althaus, R. Gosteli, H. Sahli, C. von Gunten, S. Kradolfer, M. Stauffer
LUBW	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, Baden-Württemberg	Karlsruhe / D	R. Bechtler
NAZ	Nationale Alarmzentrale, Bundesamt für Bevölkerungsschutz des VBS	Zürich	A. Hess, F. Stoffel, C. Poretti
PSI	Abteilung für Strahlenschutz und Sicherheit, Paul Scherrer Institut	Villigen / AG	M. Heule, M. Jäggi, P. Kramer, H. Hauswirth, E. G. Yukihara
Suva	Bereich Physik, Abt. Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz	Luzern	F. Danini
Uni-BE	Physikalisches Institut, Abt. Klima- und Umweltphysik, Universität	Bern	R. Purtschert, T. Wagner,
	Departement für Chemie, Universität	Bern	S. Szidat

2. Kantonale Laboratorien - Laboratoires cantonaux

AG	A. Breitenmoser	Amt für Verbraucherschutz Obere Vorstadt 14, 5000 Aarau
BE	O. Deflorin, F.Stöth	Kantonales Laboratorium Muesmattstr. 19, 3000 Bern
BL	P. Brodmann	Kantonales Laboratorium Gräubernstrasse 12, 4410 Liestal
BS	Y. Parrat, A. Pregler	Kantonales Laboratorium Kannenfeldstr. 2, Postfach, 4012 Basel
FR	X. Guilaume	Laboratoire Cantonal Impasse de la Colline 4, 1762 Givisiez
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 Ringstrasse 10, 7001 Chur
JU	L. Monnerat, L. Babst	Laboratoire Cantonal Fbg des Capucins 20, CP 272, 2800 Delémont 1
LU	S. Arpagaus, R. Brogioli	Kantonales Amt für Lebensmittelkontrolle und Verbraucherschutz Vonmattstr. 16, Postfach, 6002 Luzern
NE	P.-F. Gobat	Service de la consommation Rue Jehanne-de-Hochberg 5, 2001 Neuchâtel
SG	J. Daniel	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	P. Huber	Kantonale Lebensmittelkontrolle Greibenhof, Werkhofstr. 5, 4509 Solothurn
TG	C. Spinner	Kantonales Laboratorium Spannerstr. 20, 8510 Frauenfeld
TI	N. Forrer	Laboratorio Cantonale Via Mirasole 22, 6500 Bellinzona
NW / OW / SZ / UR	D. Imhof	Laboratorium der Urkantone Postfach 363, 6440 Brunnen
VD	C. Richard	Service de la consommation et des affaires vétérinaires 155, ch. des Boveresses, 1066 Epalinges
VS	L. Bapst	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	W. Burtcher	Amt für Lebensmittelkontrolle Postplatz 2, Postfach 684, 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: 75 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 Vier 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	11 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; 4 Stellen: 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 : 4 automatische Messstationen in Aare und Rhein	γ - und α -Spektrometrie Tritium-Messung URAnet Aqua: Gammaspektrometrie 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	Mitarbeiter PSI Zahnärzte, Schulzahnkliniken und pathologische Institute aus verschiedenen Gegenden	Ganzkörpermessungen 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 Spitälern, Deponien, Kehrlichtverbrennungsanlagen, Abwasserreinigungsanlagen γ -, α - und ⁹⁰ Sr-Messung

4. Überwachungsbereiche und Kompetenzzentren

Bereich:	überwacht wird:	Kompetenzzentren ¹⁾ :
Atmosphäre	Aerosole, Niederschläge ¹⁴ C, Edelgase	URA (BAG) inkl. URAnet 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, LABOR SPIEZ 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 Strahlen-Wichtungsfaktor 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.

Nachweisgrenze

Die Nachweisgrenze ist der kleinste Wert einer Messgrösse die mit einem gegebenen Messverfahren und einer gegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit (typischerweise 5 %) noch ermittelt werden kann.

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: <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2017/502/de>

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 efficace 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.

Limite de détection

La limite de détection est la plus petite valeur de la grandeur mesurée qui peut être détectée, avec un certain degré de confiance (typiquement 95 %), avec le procédé de mesure en question.

Adresse Internet des définitions de l'ORaP : <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2017/502/fr>



Impressum

@ Bundesamt für Gesundheit (BAG)
Herausgeber : Bundesamt für Gesundheit
Publikationszeitpunkt : August 2026

Weitere Informationen und Bezugsquelle :
BAG, Direktionsbereich Gesundheitsschutz, 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
Date de publication : Août 2026

Informations supplémentaires et diffusion :
OFSP, Unité de direction Protection de la santé, 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